

令和3年度環境省委託業務

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)
委託業務

成果報告書

令和4年3月

株式会社 J E R A

要約

1. 背景

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、今後大量の使用済み電池が発生すると見込まれている。使用済み電池の発生予測を図1.1、次世代車の販売台数及び保有台数を図1.2、図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、使用済み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み電池の回収実績を図1.4、図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
- ・異種電池混合状態における安全で安定した制御技術
- ・PCSを不要とする車載品活用技術及び電池制御技術

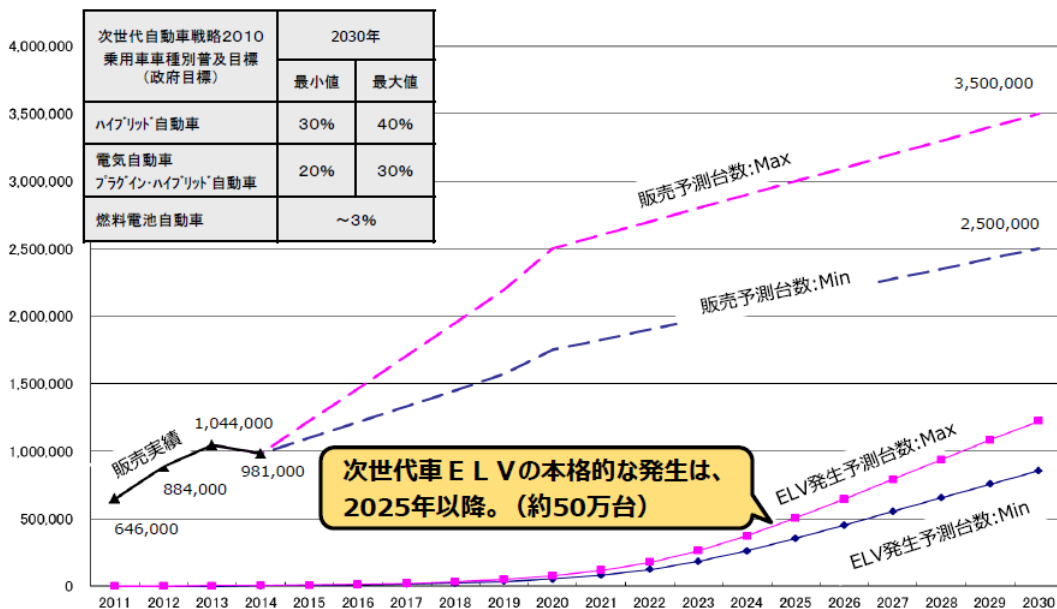
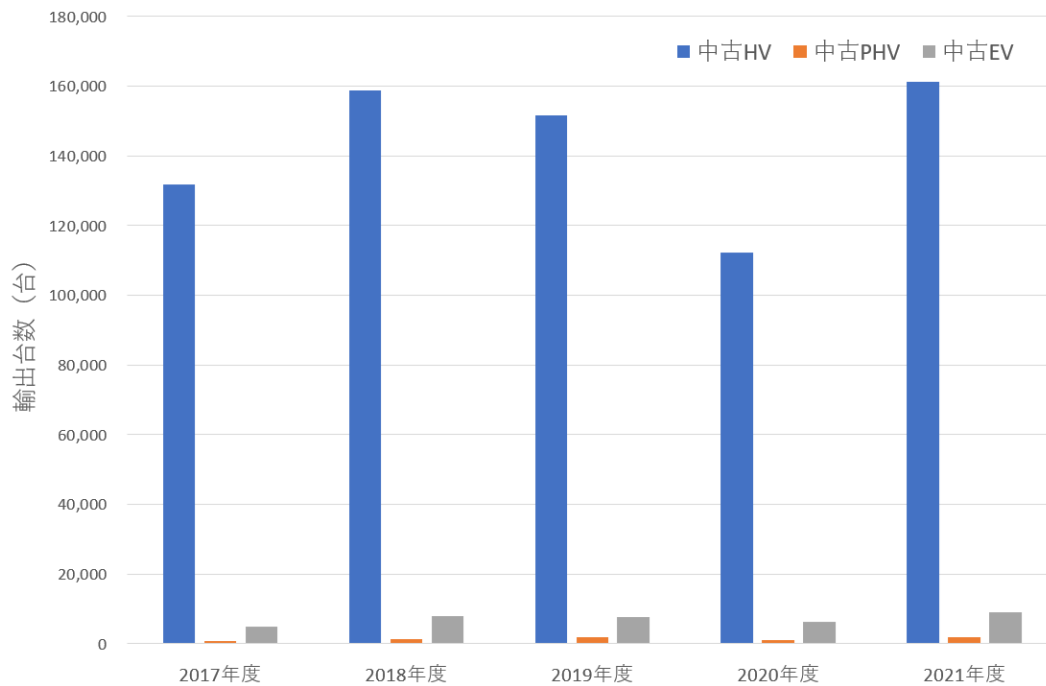


図 S1.1 次世代車普及見通し・ELV（使用済み自動車）発生台数予測

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) マツダ(株) 三菱ふそうトラック・バス(株) UDトラック(株)	川崎重工業(株) (株)SUBARU トヨタ自動車(株) 本田技研工業(株) 三菱自動車工業(株) ヤマハ発動機(株)	(株)SUBARU トヨタ自動車(株) 日産自動車(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	2020年度：3,648個 (2019年度：3,014個) (2018年度：2,364個) (2017年度：943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)	

(注) ELVからの発生の各社合計値

図S1.3 使用済み電池の回収実績

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

2. 実証事業の実施

2025 年度以降に大量に発生が予測されている使用済み電池を大量に循環させるバッテリーエコシステムの構築を行うため、リユース電池を活用した設備構成の大容量・最適化を行う必要がある。そこで実運用を想定した大容量蓄電システムの最小単位をパイロット設備として開発し、各制御システムや機器を組み合わせて動作試験を実施した。開発した設備で使用する主な機器を表 S2.1 に、システム構成図を図 S2.1 に示す。

今回の実証設備は、Ni-MH 電池カートリッジ（モジュール 6 直：43.2V）を 22 直列接続し、ストリングとして構成したものを 2 ストリング、LiB カートリッジ（セル 12 直：44.4V）を 14 直列接続し、ストリングとして構成したものを 3 ストリング組合せた 67kW/202.3kWh の蓄電システムとして構築した。Ni-MH 電池のストリングには、PCS 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 のストリングは、3 ストリングの位相を 120 度ずらして接続することで、交流の U、V、W 相に見立てた正弦波制御を行う

表 S2.1 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、蓄電システムの放電エネルギーを消費するための抵抗器
データサーバー	GCU から各種試験データを収集
試験設定 PC	長周期応動試験等、複雑な電力指令を設定可能 1 秒毎の充放電電力指令を事前に登録し、試験時に PMU へ指示を送信
Power Management Unit (PMU)	試験設定 PC、及び GCU との双方向通信により下記を実施 <ul style="list-style-type: none"> 試験設定 PC へ試験条件／開始指令発信、電力設定値を逐次受信 タッチパネルとの通信（指令設定、モニター） 充放電制御指令を GCU に発信、GUC から各種モニター値を受信 GCU 各種情報、及び分電盤電力測定値を収集し充放電制御を実施
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 <ul style="list-style-type: none"> 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 (SCU)	GCU との双方向通信により下記を実施 <ul style="list-style-type: none"> GCU から指令を受けた電力を実現する様に SU へ接続/切断信号を発信

	<ul style="list-style-type: none"> • SU からのカートリッジ情報（電池状態）に応じて切離す SU を決定 • SCU 配下の各 SU の状態を統合して GCU に通知
Sweep Unit (SU)	<p>SCU との双方向通信により下記を実施</p> <ul style="list-style-type: none"> • SCU 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 に通知 <p>正弦波制御を行うため LiB カートリッジに設置された SU を「交流スイープ」という</p>
Reuse Inverter (RI)	ハイブリッド車のインバータを DC スtring 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ー AC スtring の波形平滑化（リップル、高調波低減）

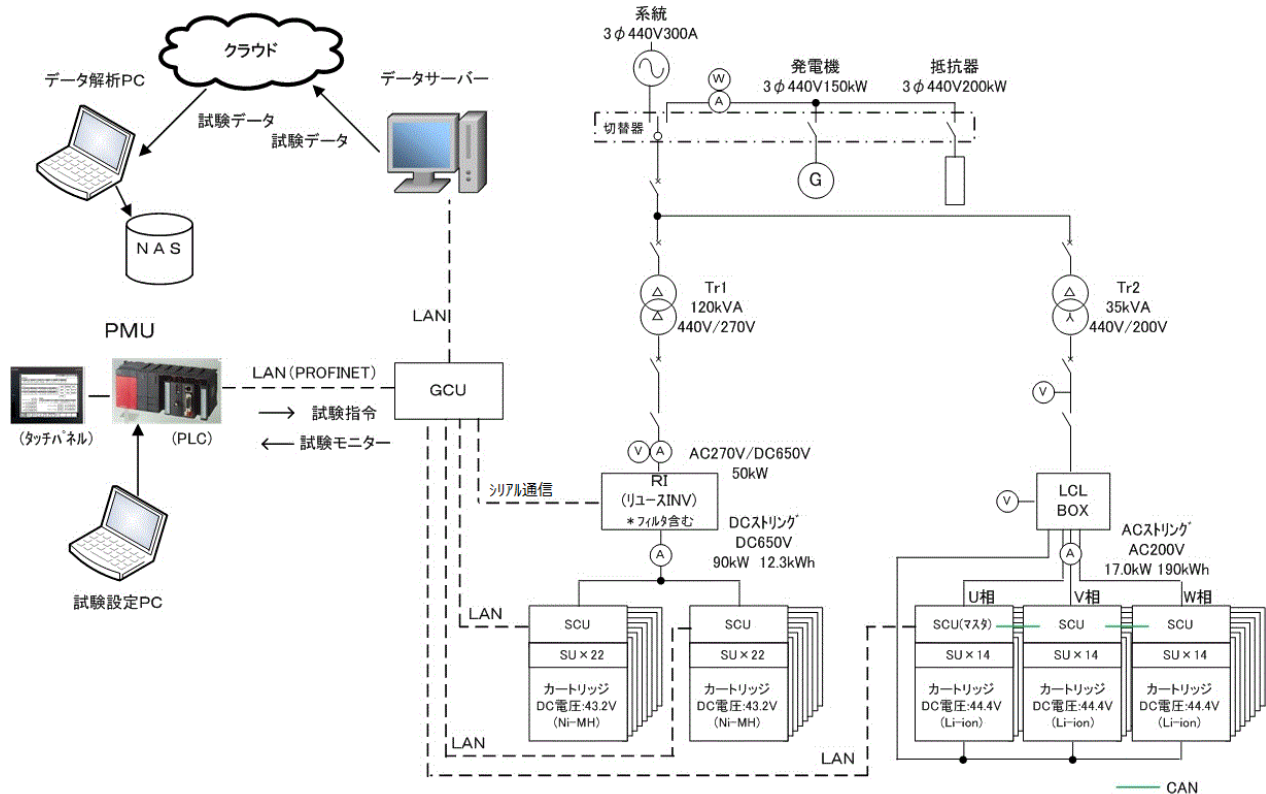


図 S2.1 実証設備システム構成図

実証試験では、系統連系を想定した場合における RI 及び交流スイープのフィルタ設計・評価に加えて、蓄電システムの基本特性を確認するための PCS 応動試験、電力システムにおける需給調整市場及び容量市場の各要件への適合を確認するための一定出力・一定時間の充放電試験及び短周期応動試験、RI 及び交流スイープの組み込み検討を実施した。

(1) 交流スイープ LCL フィルタ設計

交流スイープ装置の回路構成を図 S2.2 に示す。定格 100% の単体動作及び 20 台、40 台並列動作におけるシミュレーションを実施し、波形特性に問題ないことを確認。フィルタ評価項目と評価方針及び各試験条件における評価結果のまとめを表 S2.2、表 S2.3 に示す。

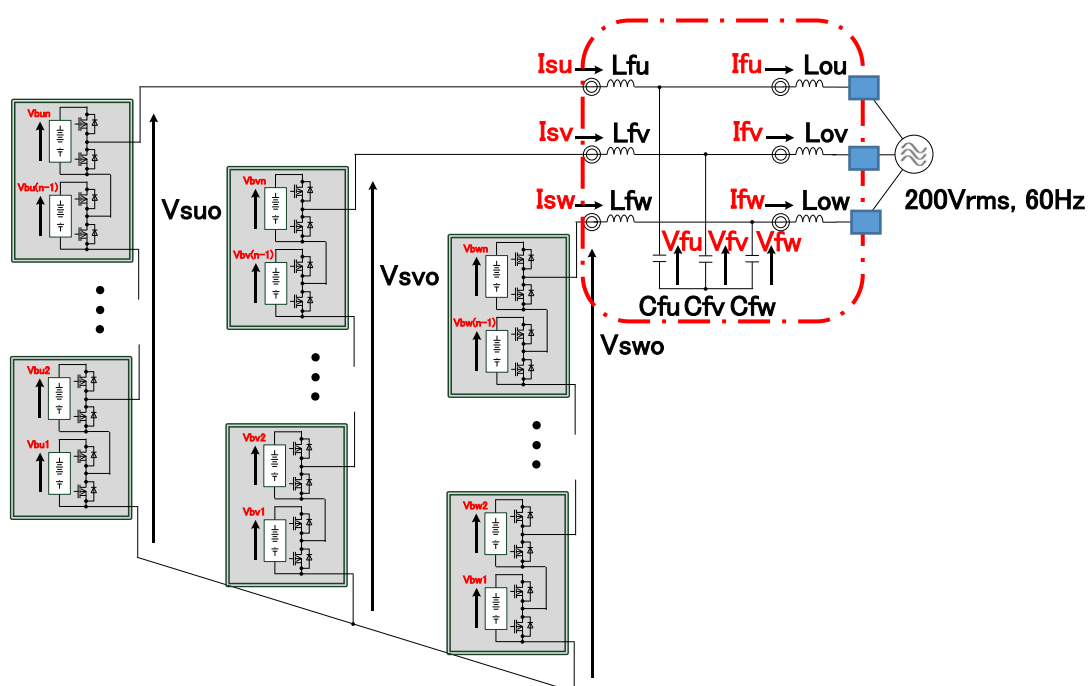


図 S2.2 AC スイープ装置の回路構成

表 S2.2 フィルタ評価項目と評価方針

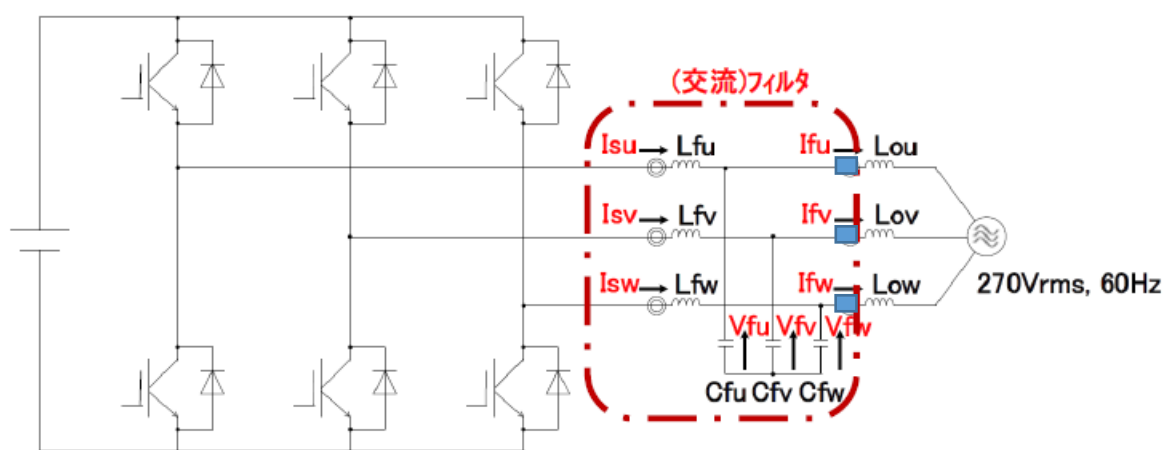
評価項目	評価方針
FRT 要件	残電圧 0% 瞬低時の電流を確認：過電流レベル以内が基準
出力電流 THD	定格 50%, 100% の特性を確認： 各次 3% 以内、総合 5% 以内が基準 (JET 認証相当)
並列台数	20 台と 40 台条件のコンデンサ電流を確認：傾向確認のみ

表 S2.3 評価構成ごとの評価結果まとめ

評価構成			評価結果		
並列台数	システムインピーダンス	出力電力条件	過渡電流： 120A 以下で○	電流歪率： 各次 3%，総合 5% 以内で○	C 電流： 部品選定に係る ため確認のみ
1 (単体)	なし	定格 50%	68.6 A : ○	各次 0.1% 以下、 総合 1% 未満 : ○	1.13 Arms
		定格 100%	111.0 A : ○	各次 0.1% 以下、 総合 1% 未満 : ○	1.13 Arms
20	あり (10 uH)	定格 50%	62.5 A : ○	各次 0.1% 以下、 総合 1% 未満 : ○	1.14 Arms
		定格 100%	104.3 A : ○	各次 0.1% 以下、 総合 1% 未満 : ○	1.15 Arms
定格 50%		61.2 A : ○	各次 0.1% 以下、 総合 1% 未満 : ○	1.15 Arms	
40		定格 100%	103.1 A : ○	各次 0.1% 以下、 総合 1% 未満 : ○	1.17 Arms

(2) RI LCフィルタの評価

RIの回路構成を図S2.3に示す。定格100%の単体動作及び20台、40台並列動作における動作試験を実施した結果、現行のLCフィルタではFRT要件の基準値は全条件で満足できないため、スイッチング回路側L値の大型化、もしくはC値の小型化等の対策が必要であることを確認。フィルタ評価項目と評価方針及び各試験条件における評価結果のまとめを表S2.4、表S2.5に示す。



スイッチング回路側L： Lfu, Lfv, Lfw
 フィルタC(コンデンサ)： Cfu, Cfv, Cfw

※装置内に系統側 Lou, Lov, Low は無しの指定のため
 配線寄生のL値として1uHを想定

図 S2.3 RI の回路構成

表 S2.4 フィルタ評価項目と評価方針

評価項目	評価方針
FRT 要件	残電圧 0%瞬低時の電流を確認：過電流レベル以内が基準
出力電流 THD	定格 50%, 100% の特性を確認： 各次 3%以内、総合 5%以内が基準 (JET 認証相当)
並列台数	20 台と 40 台条件のコンデンサ電流を確認：傾向確認のみ

表 S2.5 RI フィルタ評価結果まとめ

評価構成			評価結果		
並列台数	システムインピーダンス	出力電力条件	過渡電流： 250 A 以下で○	電流歪率： 各次 3%、総合 5% 以内で○	C 電流： 部品選定に係る ため確認のみ
1 (単体)	なし	定格 50%	251.4 A : ×	2 次 2.0%、 総合 2.0% : ○	非公開
		定格 100%	329.7 A : ×	2 次 2.0%、 総合 2.0% : ○	非公開
20	あり (10 uH)	定格 50%	285.1 A : ×	2 次 2.3%、 総合 2.3% : ○	非公開
		定格 100%	362.4 A : ×	2 次 2.4%、 総合 2.4% : ○	非公開
定格 50%		254.9 A : ×	2 次 2.9%、 総合 2.9% : ○	非公開	
40		定格 100%	332.9 A : ×	2 次 3.1%、 総合 3.1% : ×	非公開

(3) PCS 応動試験

(1)停止→充電、(2)充電→停止、(3)停止→放電、(4)放電→停止、(5)充電→放電、(6)放電→充電の6パターンで指令値出力～指令値到達の時間を計測した結果、全て0.2秒以内という短時間で応動速度で動作することを確認した。試験方法を図 S2.4 に示す。

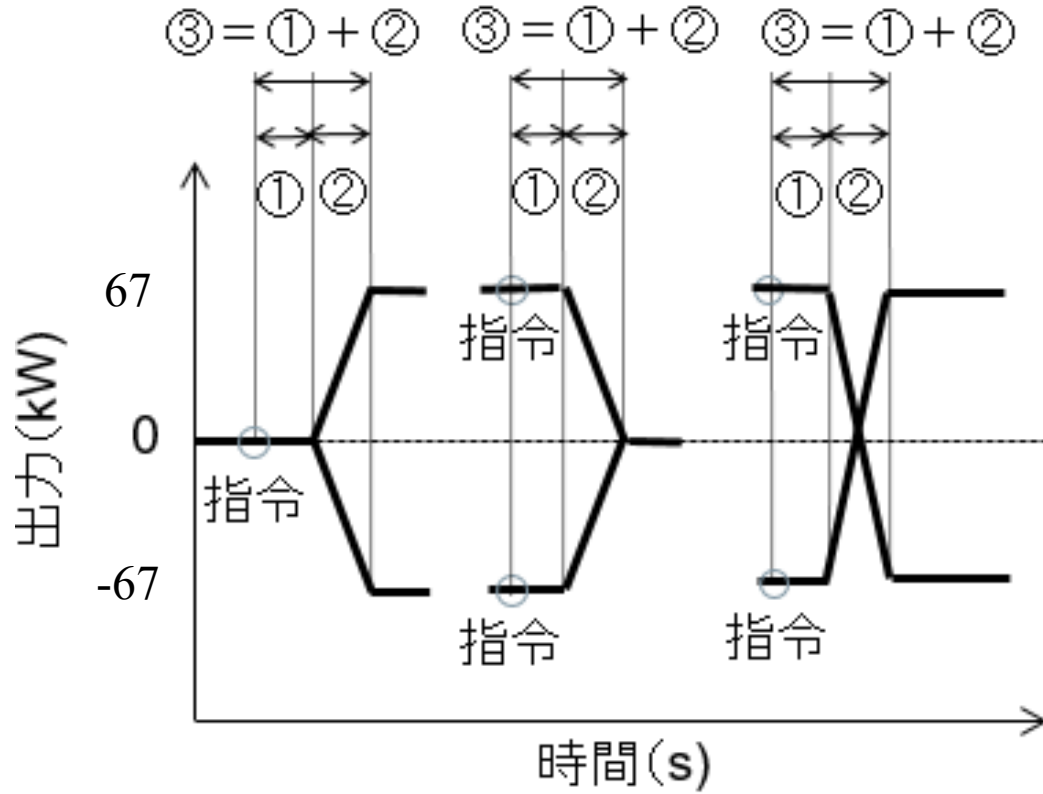


図 S2.4 PCS 応動試験波形イメージ

(4) 一定出力・一定時間の充放電試験

需給調整市場及び容量市場にて要求される各要件への適合を確認するため、一定出力・一定時間で充放電を繰り返す試験を実施した。試験方法を表 S2.6、図 S2.5 に示す。

表 S2.6 一定出力・一定時間の充放電試験

条件	継続時間[s]	充電[kW]	放電[kW]
(1)	300	41	39.5
(2)	1800	20	19.8
(3)	10800	17.5	17.3
(4)	39600	7	6
(5)	57600	5	4.3

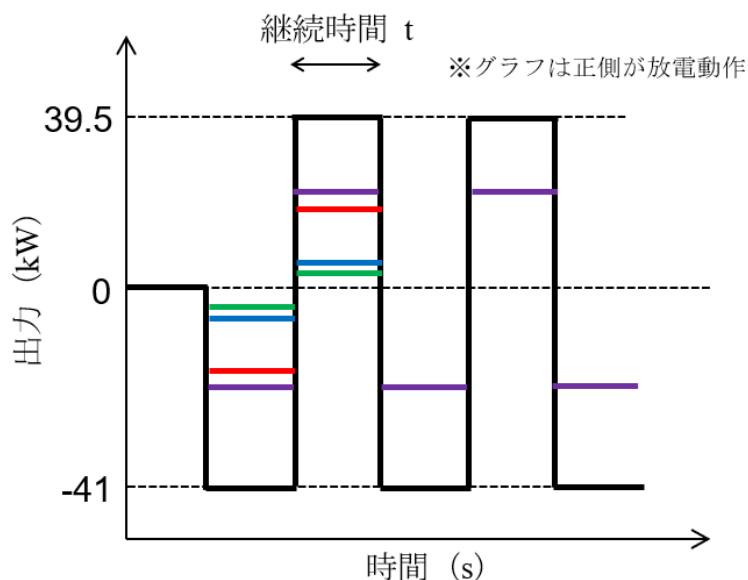


図 S2.5 一定出力・一定時間の充放電試験波形イメージ

試験結果を図 S2.6～図 S2.10 に示す。充電側に 4～12%程度 SOC の偏りが生じたものの、(1)～(5) すべて試験条件において充放電が可能であることを確認した。

試験条件(3)～(5)のように、出力電力を LiB のみで対応可能な場合、RI の指令値は 0kW となるが、Ni-MH 電池の SOC50%保持制御により充放電を繰り返していることから、Ni-MH 電池不使用時における 0kW 保持指令の設定等、今後運用性改善が必要である。

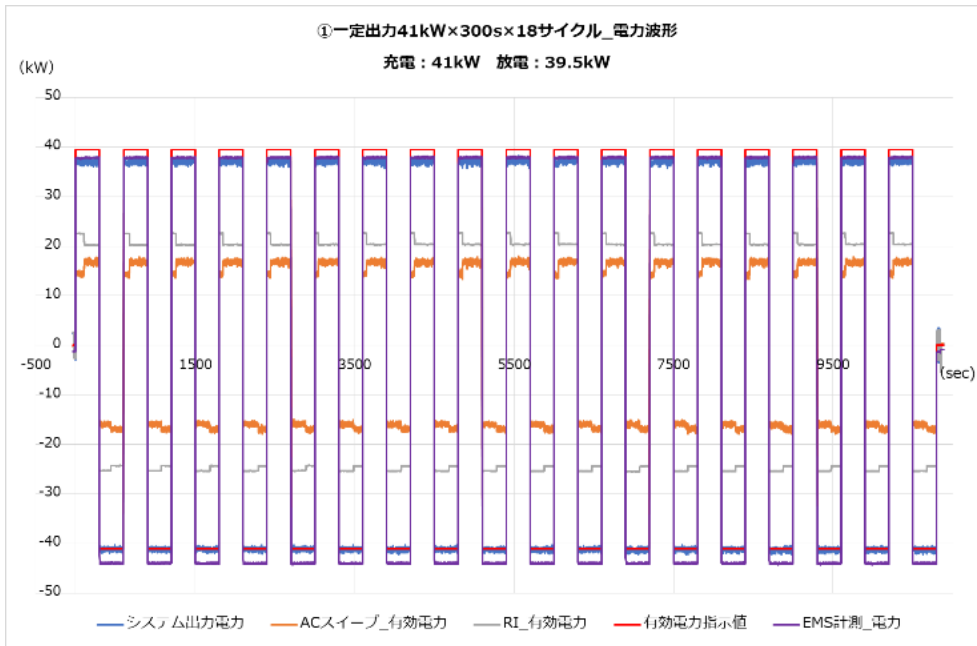


図 S2.6 試験条件 (1) 測定波形 (出力電力、SOC)

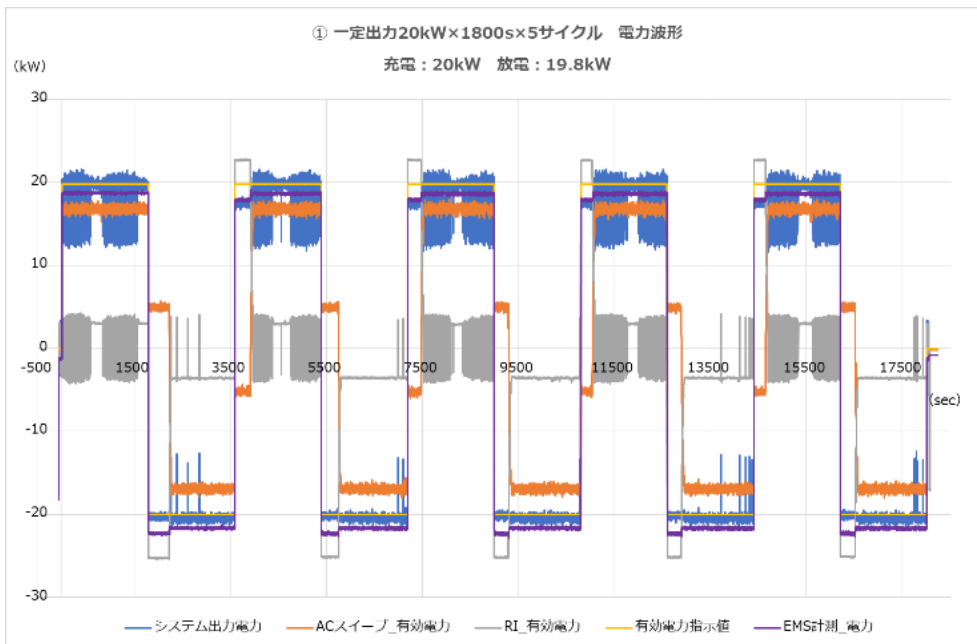


図 S2.7 試験条件 (2) 測定波形 (出力電力、SOC)

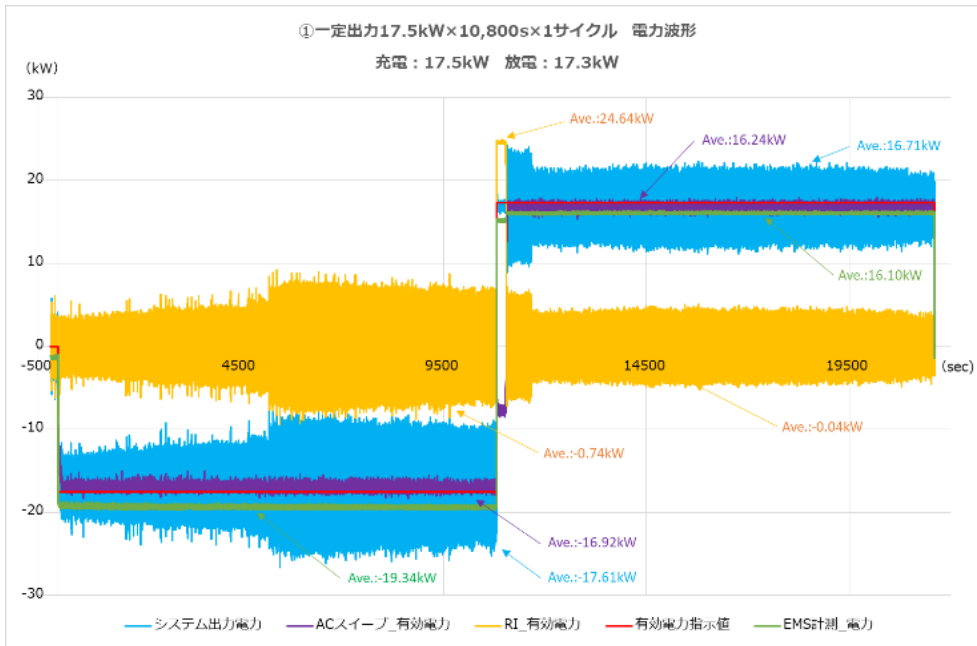


図 S2.8 試験条件 (3) 測定波形 (出力電力、SOC)

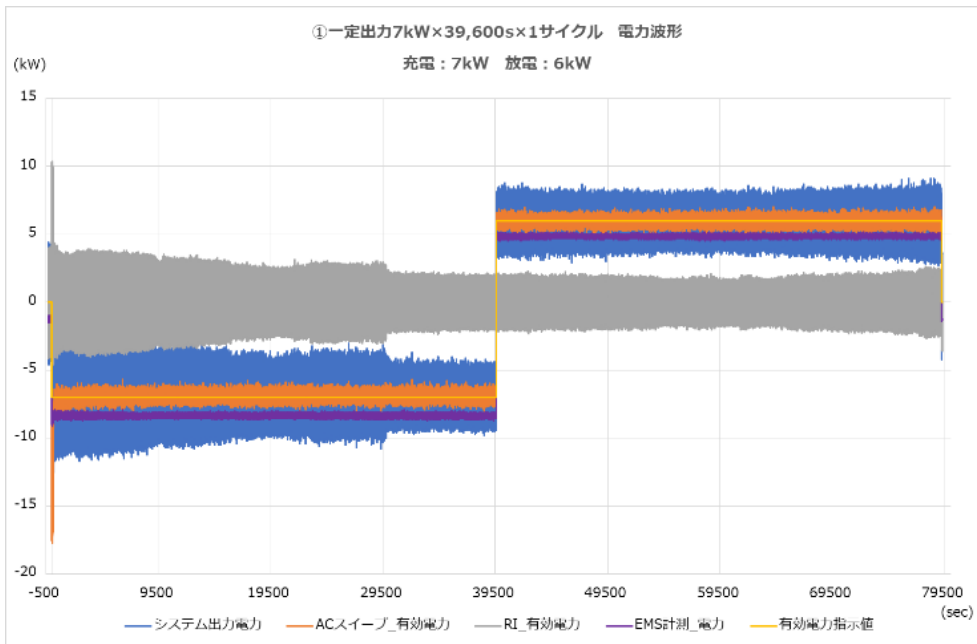


図 S2.9 試験条件 (4) 測定波形 (出力電力、SOC)

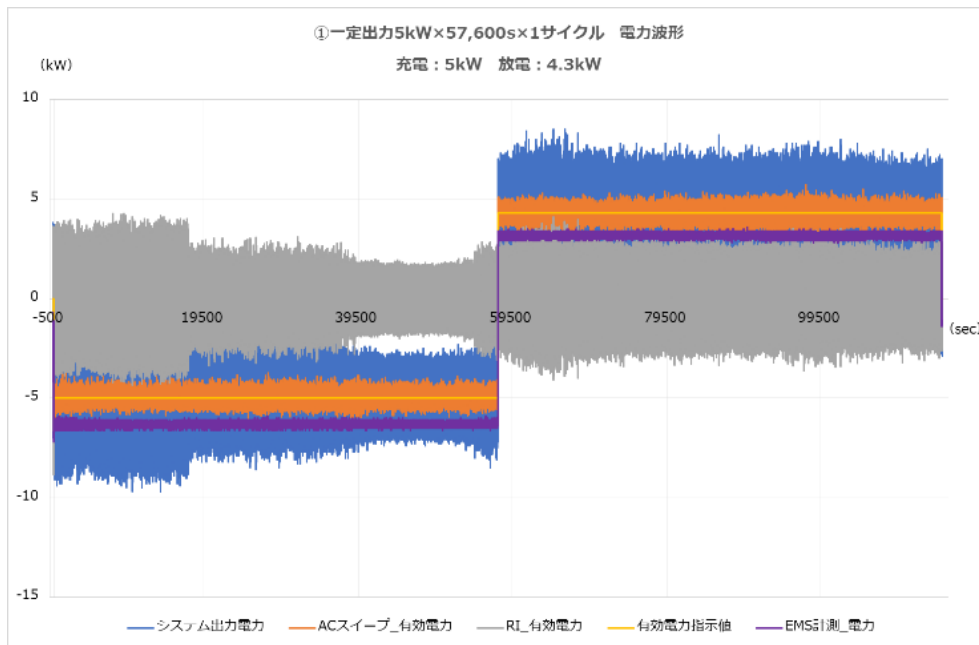


図 S2.10 試験条件 (5) 測定波形 (出力電力、SOC)

(5) 短周期応動試験

需給調整市場及び容量市場にて要求される各要件への適合を確認するため、短周期（2秒）で充放電を繰り返す試験を実施した。試験方法を表 S2.7、図 S2.11 に示す。

表 S2.7 短周期応動試験

条件	継続時間[s]	充電[kW]	放電[kW]
(1)	300	50	48
(2)	1800	38	36.7
(3)	39600	13	11.2

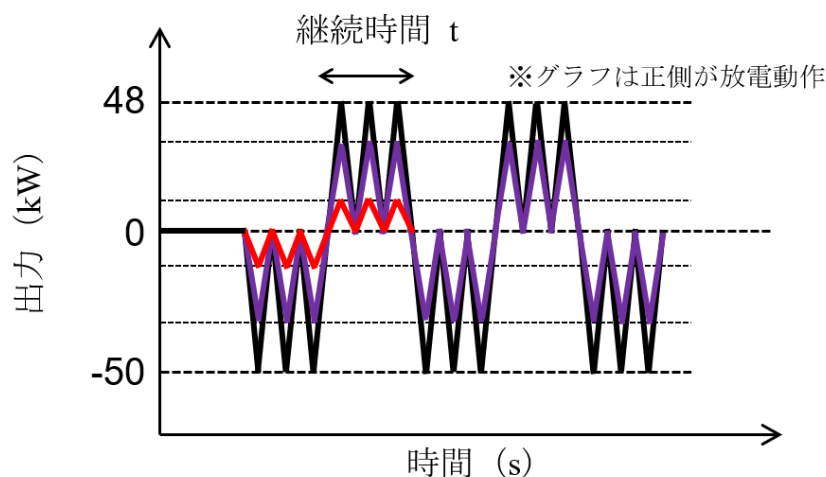


図 S2.11 短周期応動試験波形イメージ

試験結果を図 S2.12～図 S2.14 に示す。充電側に 5%程度 SOC の偏りが生じたものの、(1) ～ (3) すべて試験条件において短周期での充放電繰り返しが可能であることを確認した。

試験条件(3)のように、出力電力を LiB のみで対応可能な場合、RI の指令値は 0kW となるが、Ni-MH 電池の SOC50%保持制御により充放電を繰り返していることから、Ni-MH 電池不使用時における 0kW 保持指令の設定等、今後運用性改善が必要である。

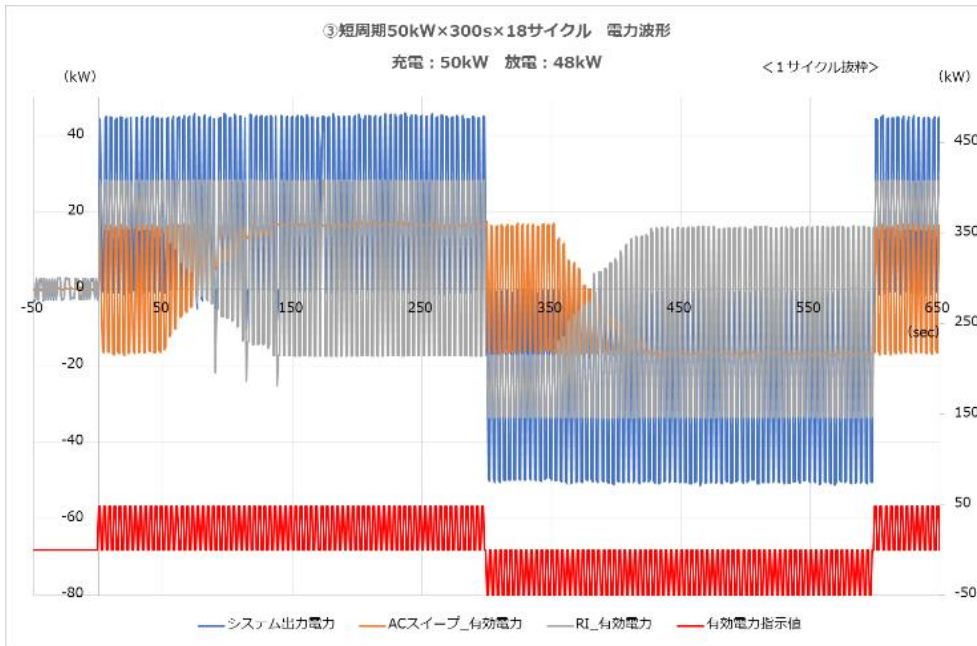


図 S2.12 試験条件 (1) 測定波形 (出力電力、SOC)

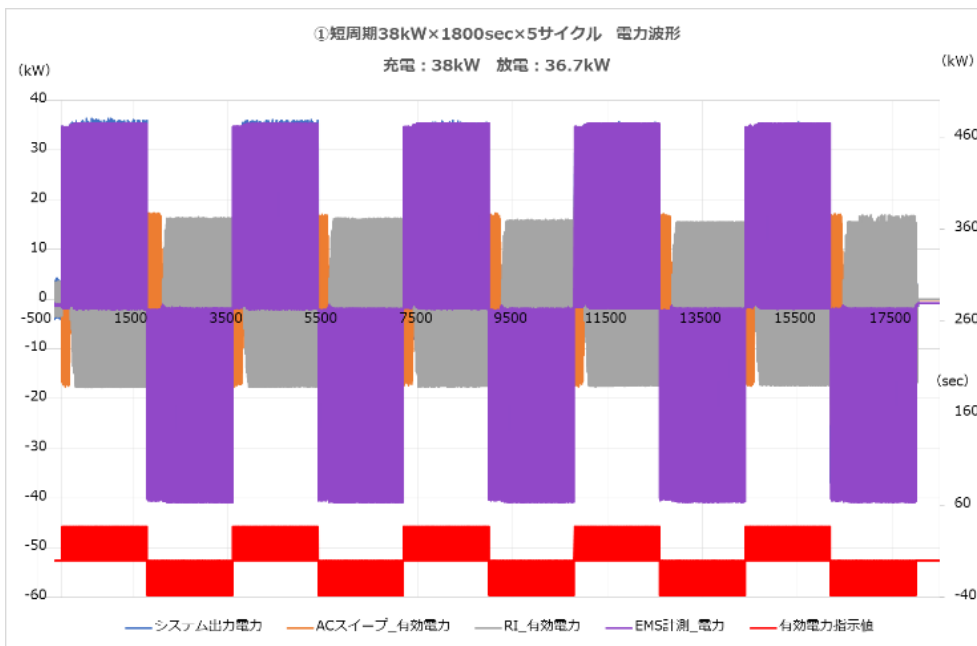


図 S2.13 試験条件 (2) 測定波形 (出力電力、SOC)

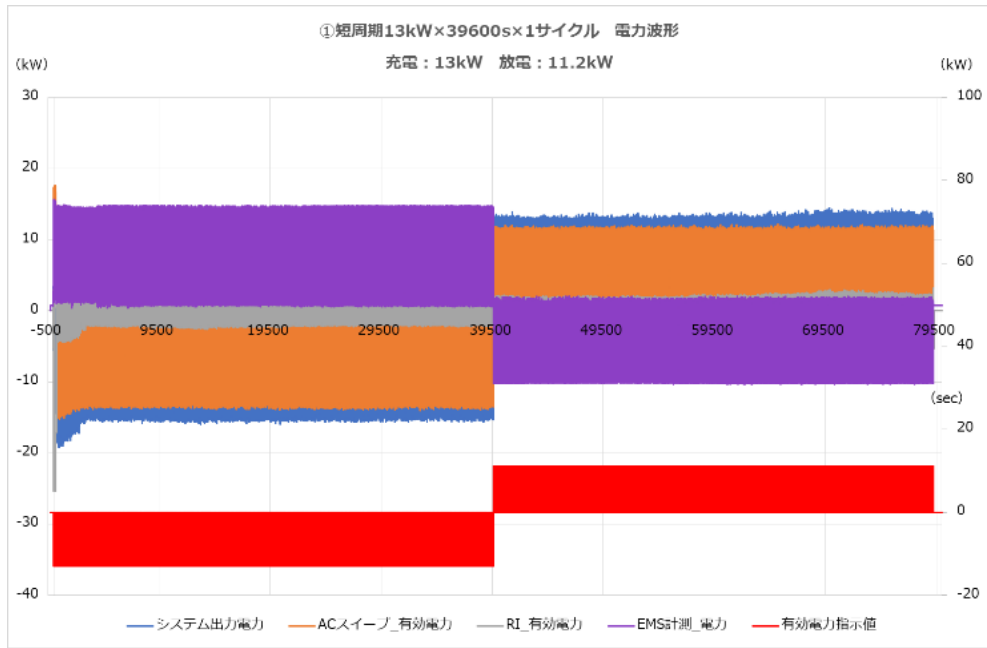


図 S2.14 試験条件 (3) 測定波形 (出力電力、SOC)

(6) 系統連系に必要となる主な機能要件

RI 及び交流スリーブ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、RI 及び交流スリーブに系統連系規定（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が必要な事項について表 S2.8 に示す。

表 S2.8 系統連系に必要となる主な機能要件

項目	要件	条件	来年度設備への反映事項
1 力率	力率 $\geq 95\%$ で進み力率にならないこと	定格出力 100%,50%	現状設備にて対応可
2 高調波	①総合歪率：5%以下 ②2次～40次高調波：3%以下	定格出力 100%,50%	最適な高調波対策フィルターを設置する (交流スリーブのフィルター設計は今年度実施済)
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		系統連系用保護継電器を設置する
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		本機能(能動的検出)を実装する 受動的検出機能については系統連系用保護継電器にて対応する
5 FRT機能	事故時の運転継続機能 (Fault Ride Through機能)	定格出力 100% (協議可能)	本機能を実装する
6 系統電圧保持	受電点の電圧を監視し、電圧が適正値を逸脱する場合は自動的に電圧調整を実施する。		現状設備にて対応可

3. 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製造と今回のリユース事業である回収電池再利用の主な工程を図 S3.1 に示す。

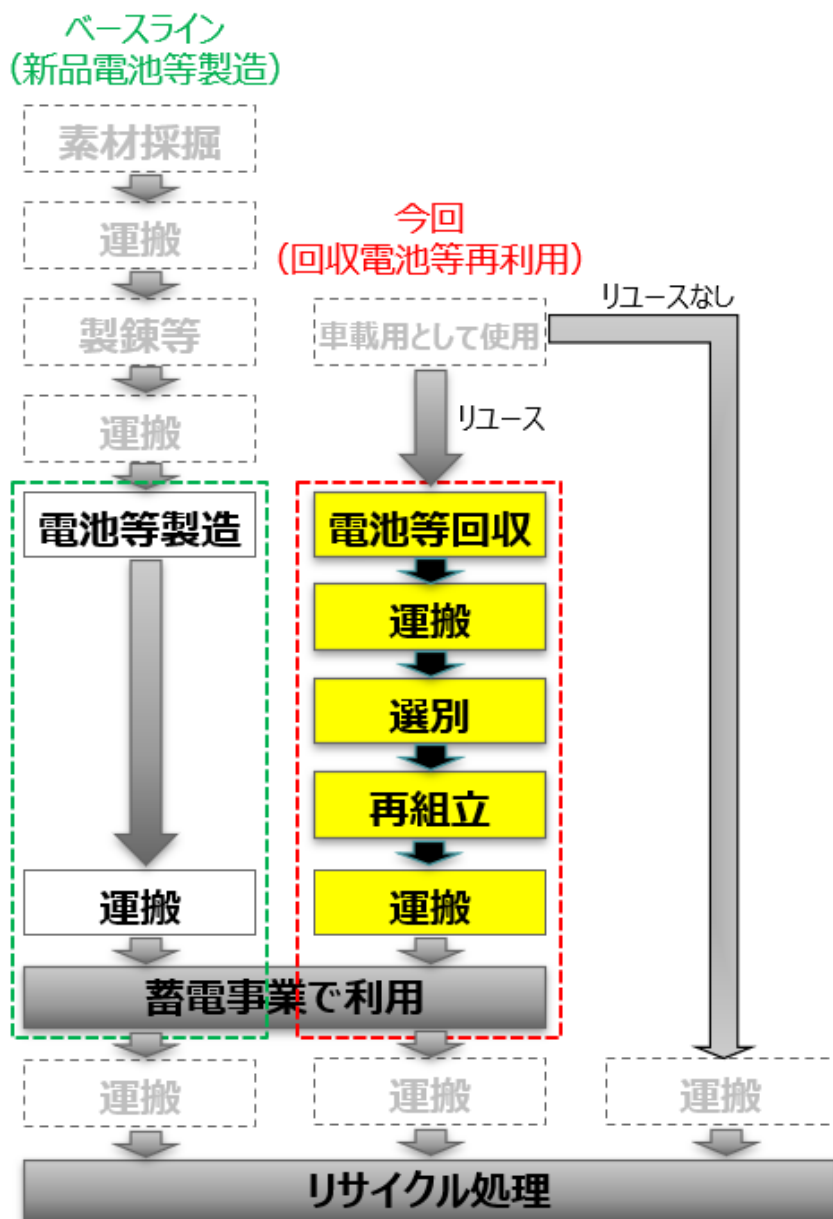


図 S3.1 新品電池製造及びリユース事業の各工程

(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

環境改善効果の評価にあたり、系統接続を想定した蓄電システムとして10MW、10MWhと仮定し、10年間稼働した場合を想定した。

ベースラインにおけるCO2排出量を試算した結果、3,513.0tのCO2排出量となる。一方、今回事業でのCO2排出量を試算した結果454.8t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。

4. 今後の経済性向上に向けた取り組み

(1) 経済性向上の可能性

本実証事業を通じて、リユース蓄電システムの電力システムにおける有用性を確認できたとともに、劣化状態の異なる電池の制御技術を確立できたことから、技術面での課題を解決できた。

一般的な蓄電システムは主に新品電池及びPCS、BMS、筐体等で構成される。筐体等はリユースにかかわらず共通となるため、残りの新品電池、BMS、PCSの部分に対してリユース蓄電システムが価格競争力を有する必要がある。

車載用電池をリユースすることにより新品電池に対する価格競争力が得られる。また、BMSについても車載用電池のBMSを流用可能であるため、価格競争力が得られる。一方、PCSについては、今回構築したSweep機能の活用及び機能検証した車載インバータの適用により既存PCS機能を同等水準で構築可能と考えられる。新品蓄電システムとリユース蓄電システムの構築コストについて図S4.1に示す。

事業化にあたっては、コスト削減等更なる設備設計の最適化を図ることにより新品蓄電システムに対する価格競争力の確保が必要である。

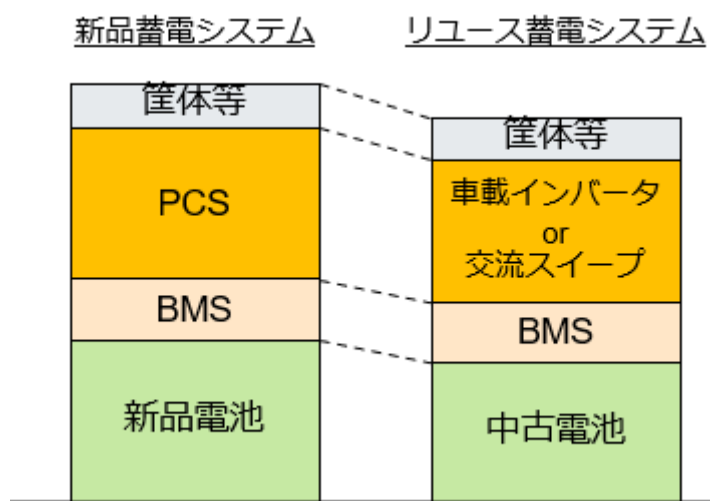


図 S4.1 新品蓄電システムとリユース蓄電システムの構築コスト（イメージ）

(2) 事業の展開可能性

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ため、2025年度以降に大量に発生する使用済み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、今後再エネ導入量の拡大により生じ得る電力システムの課題解決に対して有用であると考えられることから、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 S4.2 に示す。

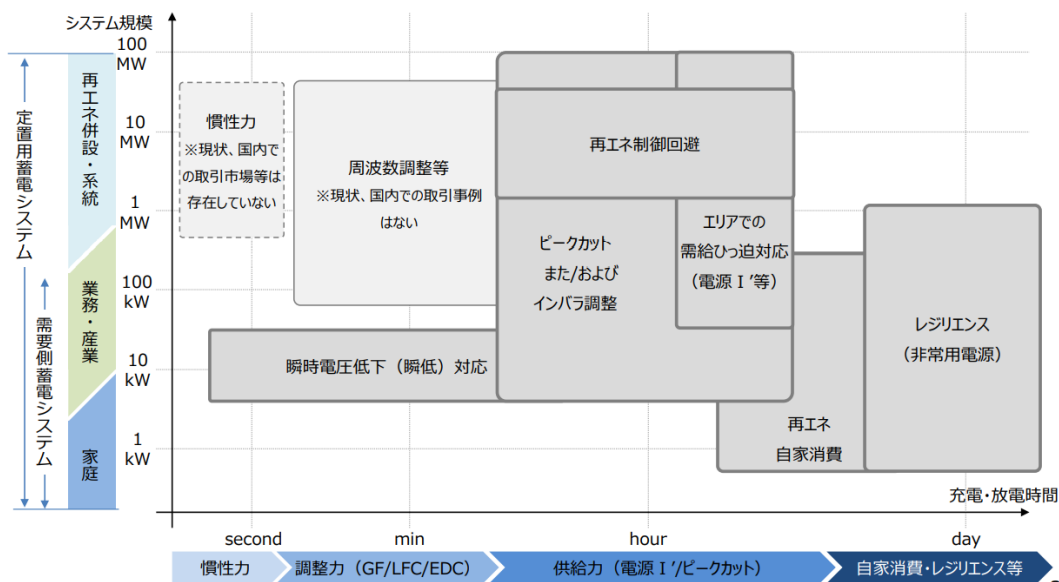


図 S4.2 定置用蓄電システムの設置場所とユースケース

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

(3) 今後の事業化の見通し

一方、リユースを大規模に事業化するためには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リチウムイオン電池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。現在の使用済み車のリサイクルシステムフローを図 S4.3 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>

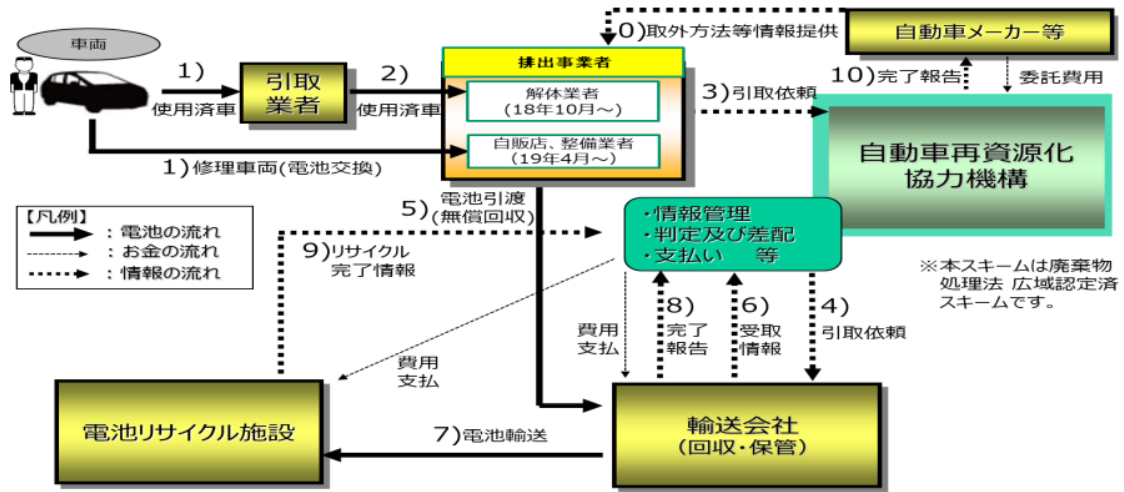


図 S4.3 使用済み車のリサイクルプロセスフロー

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

Summary

1. Background

Due to the popularization of electric motor cars including electric vehicles in recent years, we expect a large volume of used batteries to be produced in the future. Figure 1.1 shows the estimated production of used batteries, and Figures 1.2 and 1.3 show the number of next-generation vehicles sold and the number of next-generation vehicles owned, respectively.

The current secondary usage technology for on-vehicle batteries is small-scaled and restricted such that the type of batteries and the remaining capacity are provided. Most of the on-vehicle batteries are exported as remained in used cars, and the number of batteries domestically collected as used ones is limited. Figures 1.4 and 1.5 show the number of exported used-cars and the performance of collection of used batteries, respectively.

In addition, the recycling technology focuses on collecting materials from residues and slag left behind after incinerated, from the viewpoint of convenience, which has led to low purity of collected materials containing valuable metals and low collect rate of materials, and arisen a problem of CO2 emissions from incineration.

This demonstration project carried out the following technological development, aiming to achieve a significant reduction of CO2 emissions throughout the lifecycle, and realize an extensive second usage by improving safety, reliability and price competitiveness of used batteries:

- Optimization technology of a storage system adapted to the power system
- Control technology to make the mixed condition with different types of batteries safe and stable
- On-vehicle product usage technology and battery control technology not requiring PCS

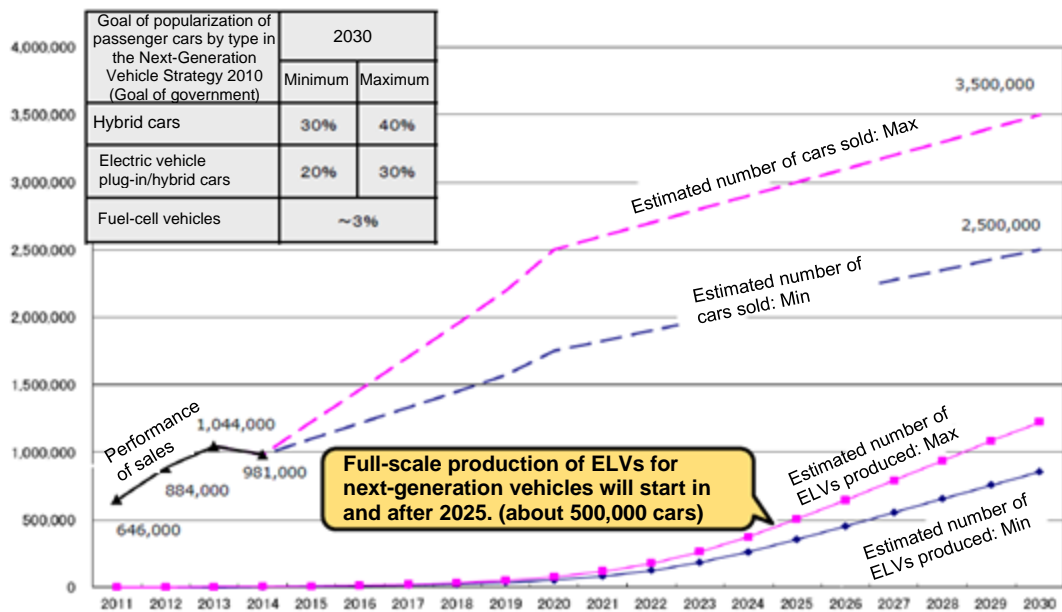


Fig. S1.1 Outlook on Popularization of Next-Generation Vehicles / Estimated Number of ELVs (Used Cars) Produced

Source: Material for FY2019 Joint Session of Industrial Structure Council and Central Environment Council, Japan Automobile Manufacturers Association, Material 6-2

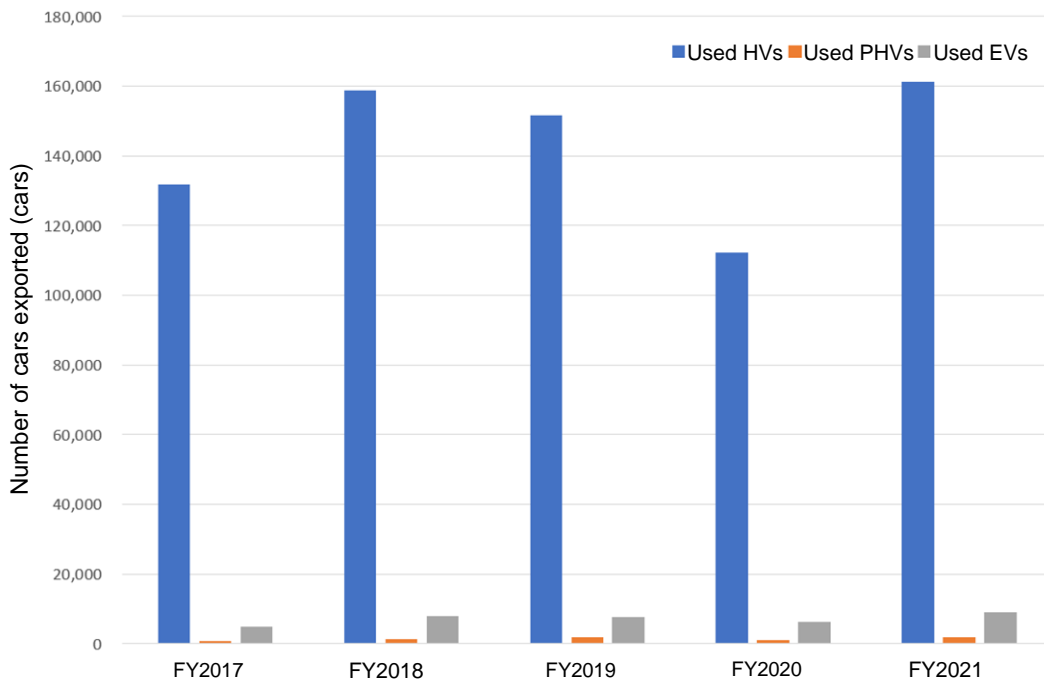


Fig. S1.2 Number of Exported Used Cars (Hybrid, Plugin Hybrid, EVs)

Source: Trade Statistics, Ministry of Finance

	Li-ion Battery		Nickel-Hydrogen Battery
Name of Manufactures	Isuzu Motors, Ltd. Suzuki Motor Corp. Daihatsu Motor Co., Ltd. Nissan Motor Co., Ltd. Mazda Motor Corp. Mitsubishi Fuso Truck and Bus Corp. UD Trucks Corp.	Kawasaki Heavy Industries, Ltd. Subaru Corporation Toyota Motor Corp. Honda Motor Co., Ltd. Mitsubishi Motors Corp. Yamaha Motor Co., Ltd.	Subaru Corporation Toyota Motor Corp. Nissan Motor Co., Ltd. Hino Motors, Ltd. Honda Motor Co., Ltd. Mazda Motor Corp. Mitsubishi Motors Corp.
Performance of Collection	FY2020: 3,648 pcs. (FY2019: 3,014 pcs. FY2018: 2,364 pcs. FY2017: 943 pcs.)		FY2020: 6,251 pcs. (FY2019: 6,694 pcs. FY2018: 7,214 pcs. FY2017: 6,140 pcs.)
(Note) Total of production from ELVs by manufacturer			

Fig. S1.3 Performance of Collection of Used Batteries

Source: Material for the 56th Joint Session of Industrial Structure Council and Central Environment Council, Japan Automobile Manufactures Association, Material 6

2. Implementation of Demonstration Project

To build a battery ecosystem for circulating a large amount of used batteries which are expected to be produced in large quantities in and after 2025, a facility with a large capacity that utilizes reused batteries must be established and also optimized. In this regard, a smallest unit of the storage system with a large capacity was developed as a pilot facility, assuming the real operation, and operation tests were conducted by combining various control systems and equipment. Major equipment to be used in the developed facility is shown in Table S2.1, and a system configuration diagram is shown in Fig. S2.1, respectively.

The demonstration facility was structured as a storage system of 67 kW/202.3 kWh, by combining 22 series connections of Ni-MH battery cartridge (module 6 series: 43.2 V), 2 strings configured as a string, 14 series connections of LiB cartridge (cell 12 series: 44.4 V), and 3 strings configured as a string. One reuse inverter (hereinafter referred to as “RI”) of a hybrid vehicle was connected to the string of Ni-MH battery, instead of PCS, and it operated as an interactive AC/DC converter. Strings for LiB were installed to perform sine wave control by connecting the phases of 3 strings that were shifted by 120 degrees and deeming them as U, V, and W phases in the alternate current.

Table S2.1 Roles of Equipment

Name of Equipment	Role
Generator	To supply power to the storage system, when conducting a test with an independent system that was separated from on-site systems
Resistor	To consume discharged energy of the storage system, when conducting a test with an independent system that was separated from on-site systems
Data server	To collect various test data from GCU
PC for test setting	Capable of setting up complicated power commands such as for long-period reaction tests. A command is sent to PMU when testing, by registering the charge and discharge power commands of each second in advance.
Power Management Unit (PMU)	To conduct the following through interactive communications between the PC for test setting and GCU. <ul style="list-style-type: none"> • Transmit test conditions and a start command to the PC for test setting, and successively receive power settings • Communications with the touch panel (command setting, monitor) • Transmit charge and discharge control commands to GCU. Receive various monitor values from GUC • Collect the GCU information and power measurements of the distribution panel, and perform the charge and discharge control
Group Control Unit (GCU)	To conduct the following through interactive communications between host systems (data server, PMU) and subordinate units <ul style="list-style-type: none"> • Transmit the state of the entire group to PMU and data server • Transmit the commands from PMU to each SCU and RI • Collect details about cartridges and strings, as well as various power information
String Control Unit (SCU)	To conduct the following through interactive communications with GCU <ul style="list-style-type: none"> • Transmit connection/disconnection signals to SU so that the power system that received commands from GCU can be realized • Make a decision on which SU to be separated in response to the cartridge information (about the state of the battery) sent from SU

	<ul style="list-style-type: none"> Integrate the state of each SU under the control of SCU and notify it to GCU
Sweep Unit (SU)	<p>To conduct the following through interactive communications with SCU</p> <ul style="list-style-type: none"> Perform connection/disconnection of cartridges in response to the connection/disconnection signals sent from SCU Monitor the cartridge information (the state of the battery) Notify the cartridge information (the state of the battery) to SCU <p>The SU that is installed in the LiB cartridge for the sine wave control is called “AC sweep”.</p>
Reuse Inverter (RI)	<p>Reuse the inverter of a hybrid vehicle instead of PCS of the DC string</p> <p>An interactive AC/DC converter that converts the system AC 270V to the battery voltage DC 650V</p>
LCL Filter BOX (LCL)	<p>A filter combining a reactor and a condenser</p> <p>Waveform smoothing of the AC string (ripple, harmonic reduction)</p>

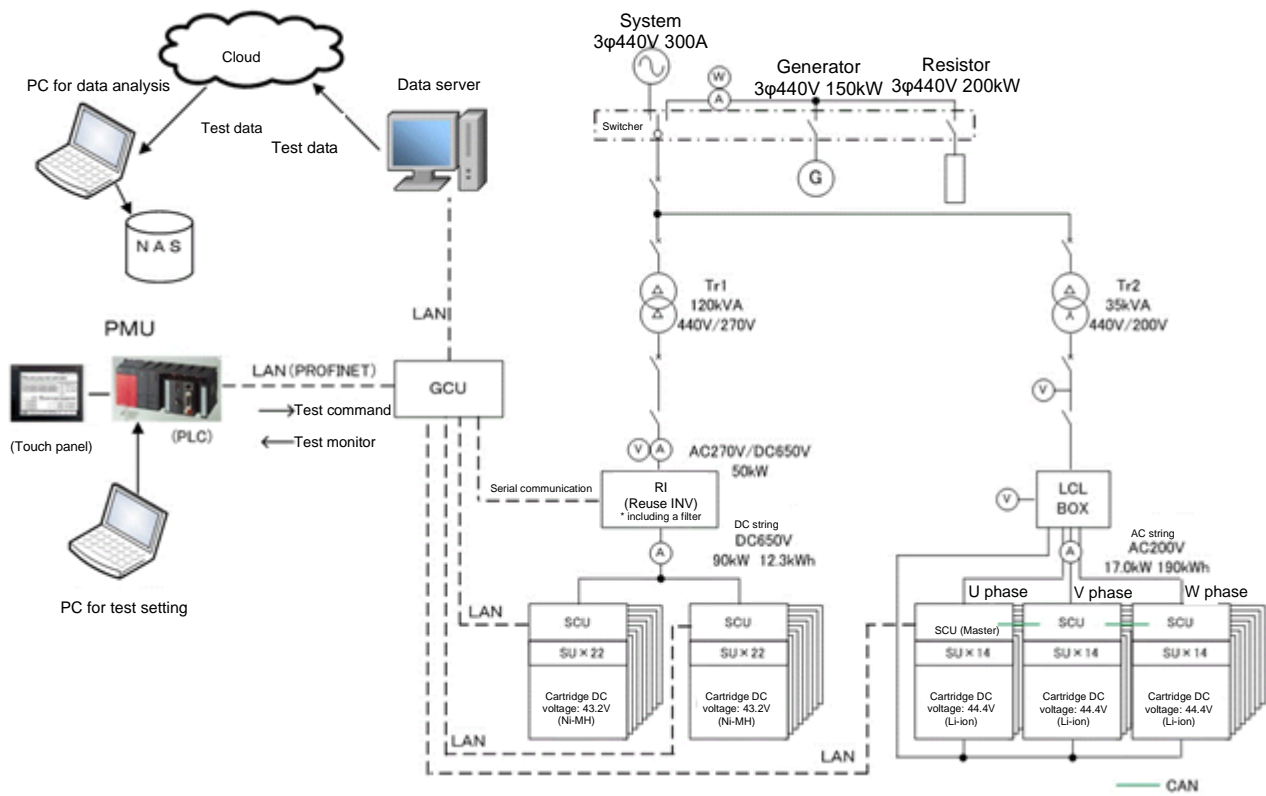


Fig. S2.1 System Configuration Diagram of Demonstration Facility

In the demonstration test, in addition to the filter design and evaluation of RI and AC sweep when system interconnection is assumed, the following was conducted: PCS reaction tests to confirm the basic characteristics of the storage system, charge and discharge tests and short-period reaction tests at a constant output and in a constant duration to confirm the conformance to requirements of the demand and supply adjustment market and the capacity market of the power system, and consideration on incorporating RI and AC sweep.

(1) AC sweep, LCL filter design

The circuit structure of the AC sweep device is shown in Fig. S2.2. A simulation was conducted for the single-unit operation at 100% rated and the parallel operation of 20 units and 40 units, and no problems were observed in the waveform characteristics. Filter evaluation items, evaluation policies, and evaluation results for test conditions are shown in Table S2.2 and Table S2.3.

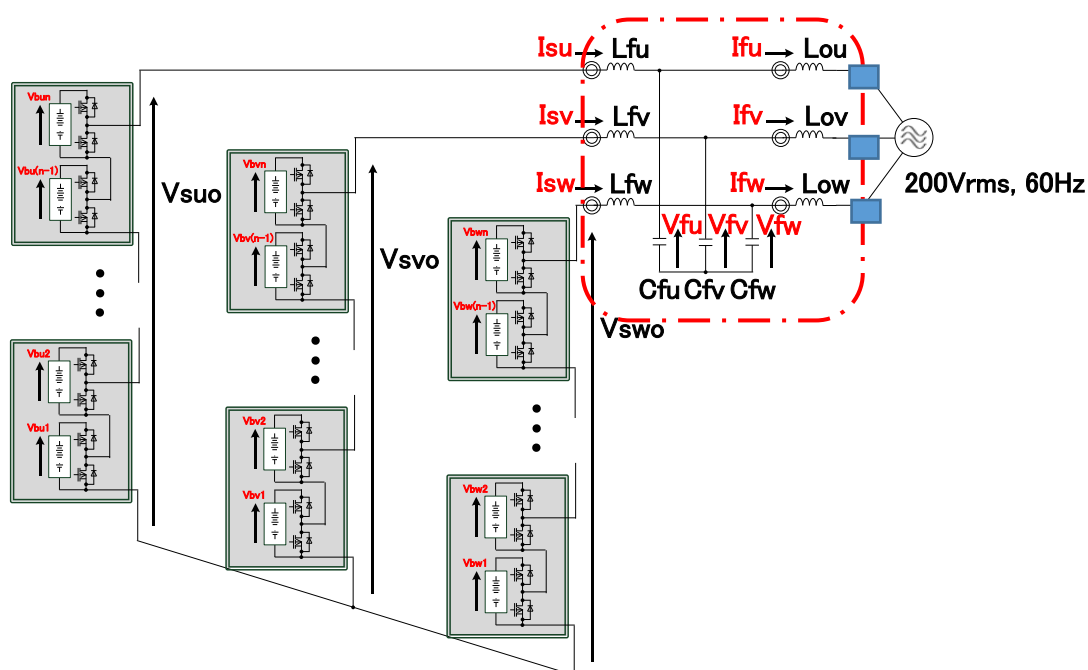


Fig. S2.2 Circuit Structure of AC Sweep Device

Table S2.2 Filter Evaluation Items and Evaluation Policy

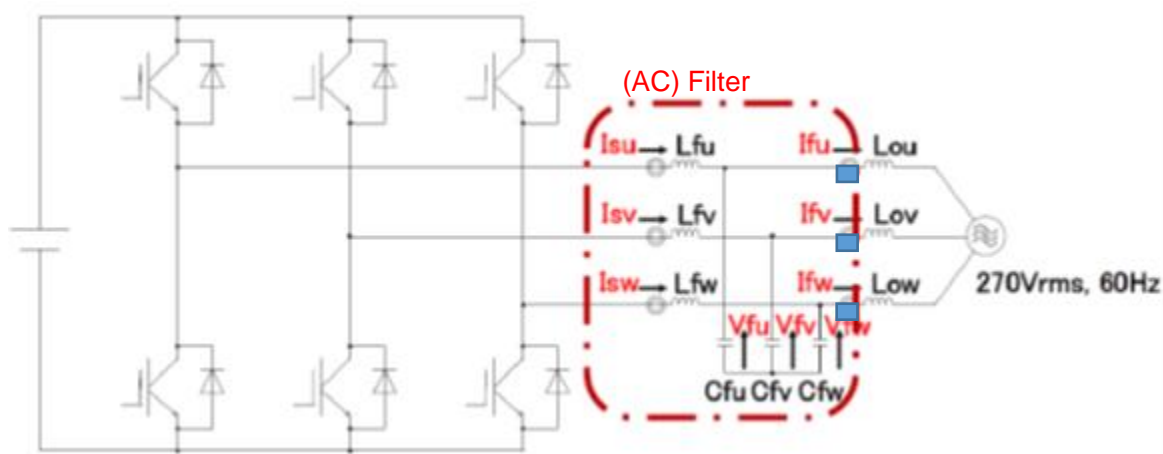
Evaluation Item	Evaluation Policy
FRT requirements	Current at the instantaneous voltage drop with remaining voltage 0% was confirmed: the reference is within the overcurrent level
Output current THD	Characteristics at 50% rated and 100% rated were confirmed: The reference is within 3% for each evaluation, within 5% for total (equivalent to JET certification)
Number of units in parallel	Condenser current under the condition of 20 units and 40 units was confirmed: Confirmed the tendency only

Table S2.3 Summary of Evaluation Results for Each Configuration of Evaluation

Configuration of Evaluation			Evaluation Results		
Number of units in parallel	System Impedance	Output Power Condition	Transient Current: When 120 A or less: OK	Current Distortion: When within 3% for each and within 5% for all: OK	C Current: Only for confirmation, since this is related to the selection of parts
1 (single unit)	No	Rated 50%	68.6 A: OK	When 0.1% or lower for each and under 1% for all: OK	1.13 Arms
		Rated 100%	111.0 A: OK	When 0.1% or lower for each and under 1% for all: OK	1.13 Arms
20	Yes (10 uH)	Rated 50%	62.5 A: OK	When 0.1% or lower for each and under 1% for all: OK	1.14 Arms
		Rated 100%	104.3 A: OK	When 0.1% or lower for each and under 1% for all: OK	1.15 Arms
40		Rated 50%	61.2 A: OK	When 0.1% or lower for each and under 1% for all: OK	1.15 Arms
		Rated 100%	103.1 A: OK	When 0.1% or lower for each and under 1% for all: OK	1.17 Arms

(2) RI, Evaluation of LC filter

The circuit structure for RI is shown in Fig. S2.3. As the result of operation tests conducted for single unit operation and for parallel operation of 20 units and 40 units at 100% rated, the reference values of FRT requirements were not satisfied under all conditions when the current LC filter was used, and it was confirmed that measures must be taken, such as setting a larger L value at the switching circuit side, or setting a smaller C value. Filter evaluation items and evaluation policies, as well as evaluation results for test conditions are summarized in Tables S2.4 and S2.5.



L at the switching circuit side: L_{fu} , L_{fv} , L_{fw}
 Filter C (Condenser): C_{fu} , C_{fv} , C_{fw}

* As L_{ou} , L_{ov} , L_{ow} of the system side were not specified in the device
 1 μ H was assumed as the wiring parasitic L value

Fig. S2.3 Circuit Structure for RI

Table S2.4 Filter Evaluation Item and Evaluation Policy

Evaluation Item	Evaluation Policy
FRT requirements	Current at the instantaneous voltage drop with remaining voltage 0% was confirmed: the reference is within the overcurrent level
Output current THD	Characteristics at 50% rated and 100% rated were confirmed: The reference is within 3% for each evaluation, within 5% for total (equivalent to JET certification)
Number of units in parallel	Condenser current under the condition of 20 units and 40 units was confirmed: Confirmed the tendency only

Table S2.5 Summary of Evaluation Results for RI Filter

Configuration of Evaluation			Evaluation Results		
Number of units in parallel	System Impedance	Output Power Condition	Transient Current: When 250 A or less: OK	Current Distortion: When within 3% for each and within 5% for all: OK	C Current: Only for confirmation, since this is related to the selection of parts
1 (single unit)	No	Rated 50%	251.4 A: X	2.0% for second, 2.0% for all: OK	Not open
		Rated 100%	329.7 A: X	2.0% for second, 2.0% for all: OK	Not open
20	Yes (10 uH)	Rated 50%	285.1 A: X	2.3% for second, 2.3% for all: OK	Not open
		Rated 100%	362.4 A: X	2.4% for second, 2.4% for all: OK	Not open
40		Rated 50%	254.9 A: X	2.9% for second, 2.9% for all: OK	Not open
		Rated 100%	332.9 A: X	3.1% for second, 3.1% for all: X	Not open

(3) PCS Reaction Test

As the result of measuring the time from when a command value was output to when it arrived, using 6 patterns of (1) Stop -> Charge, (2) Charge -> Stop, (3) Stop -> Discharge, (4) Discharge -> Stop, (5) Charge -> Discharge, and (6) Discharge -> Charge, operations at a short-period reaction speed of less than 0.2 seconds were confirmed for all measurements. Method of testing is shown in Fig. S2.4.

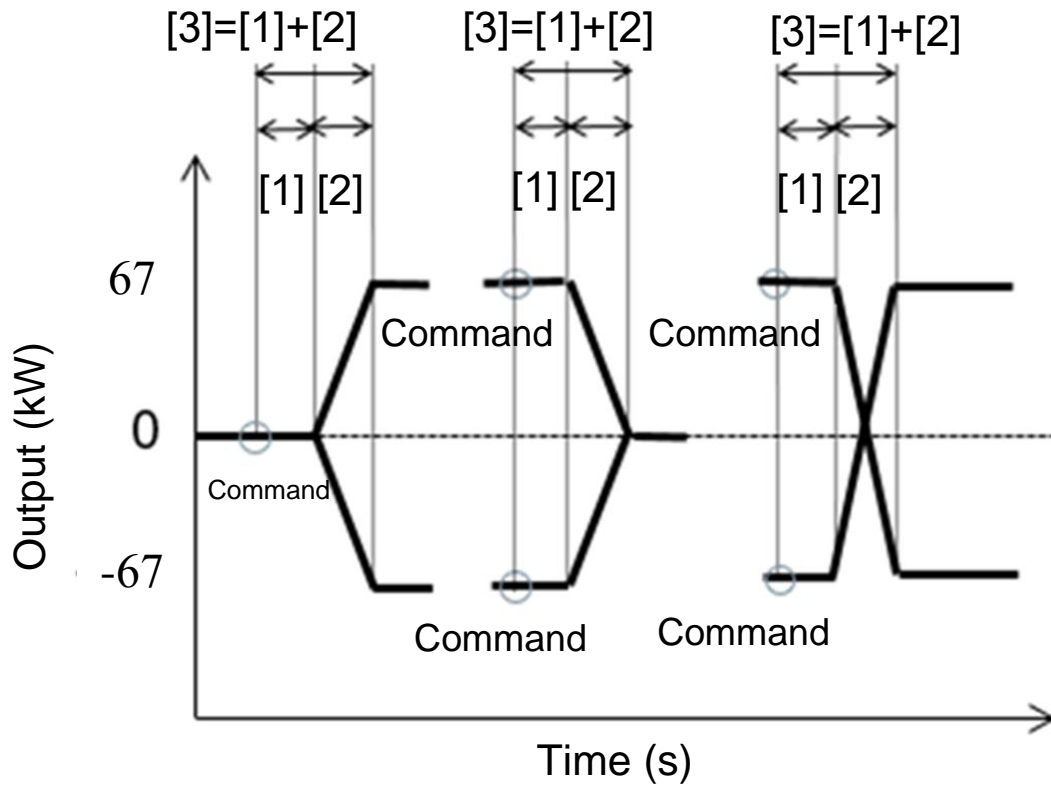


Fig. S2.4 Waveform Image of PCS Reaction Test

(4) Charge and Discharge tests at a constant output and in a constant duration
 To confirm the conformance to requirements, which is requested at the demand and supply adjustment market and the capacity market, tests of repeating charge and discharge at a constant output and in a constant duration were conducted. Method of testing is shown in Table S2.6 and Fig. S2.5.

Table S2.6 Charge and Discharge Test at Constant Output and Constant Duration

Condition	Duration [s]	Charge [kW]	Discharge [kW]
(1)	300	41	39.5
(2)	1800	20	19.8
(3)	10800	17.5	17.3
(4)	39600	7	6
(5)	57600	5	4.3

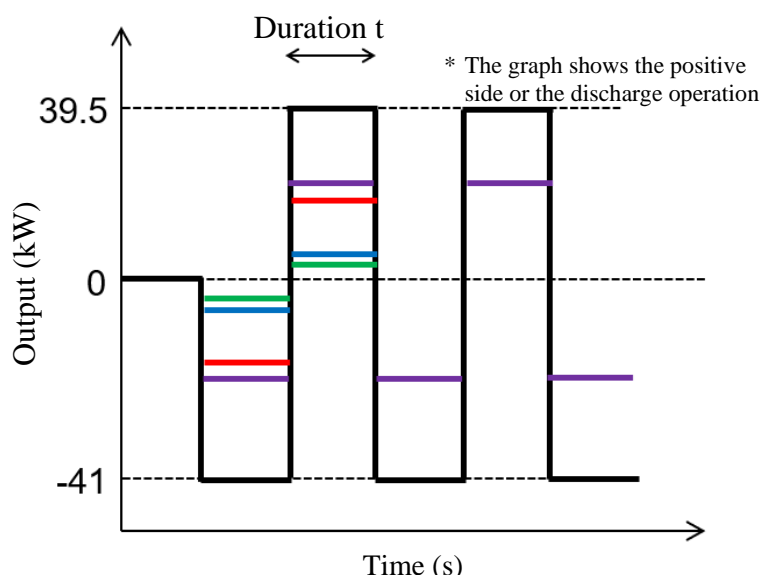


Table S2.5 Waveform Image of Charge and Discharge Test at Constant Output and Constant Duration

Test results are shown in Figures S2.6 to S2.10. Although a deviation in SOC of about 4% to 12% was produced at the charge side, it was confirmed that charge and discharge were operable under all test conditions of (1) to (5).

As seen in the test conditions (3) to (5), when output power can be handled only with LiB, the command value of RI becomes 0 kW. However, since charge and discharge operations were repeated due to the control of holding 50% of SOC for the Ni-MH battery, operability should be improved in the future, for example, by setting a command of holding 0 kW when the Ni-MH battery is not used.

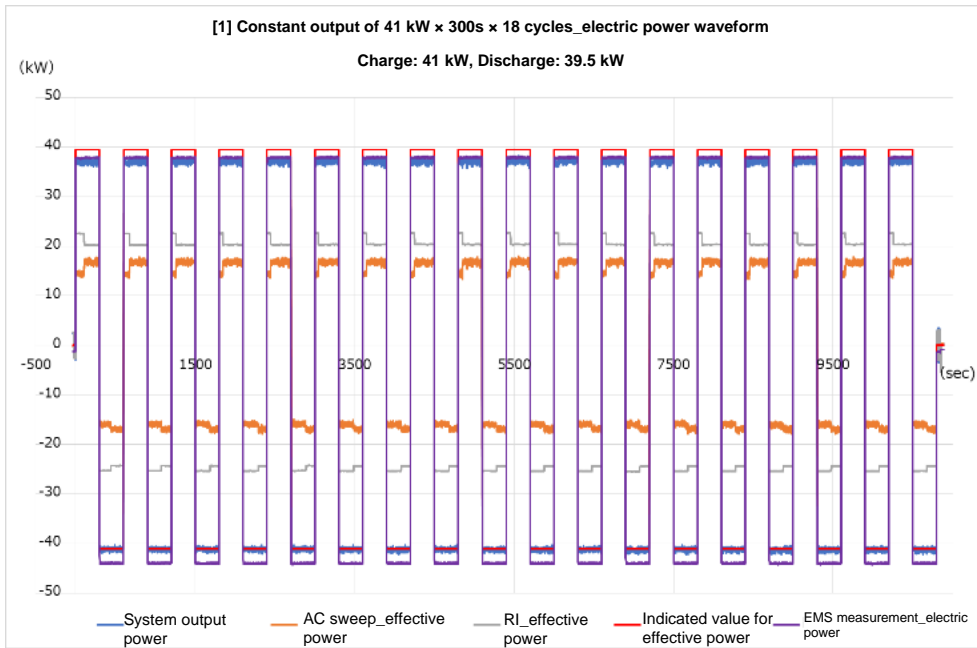


Fig. S2.6 Test Condition (1) Measurement Waveform (Output power, SOC)

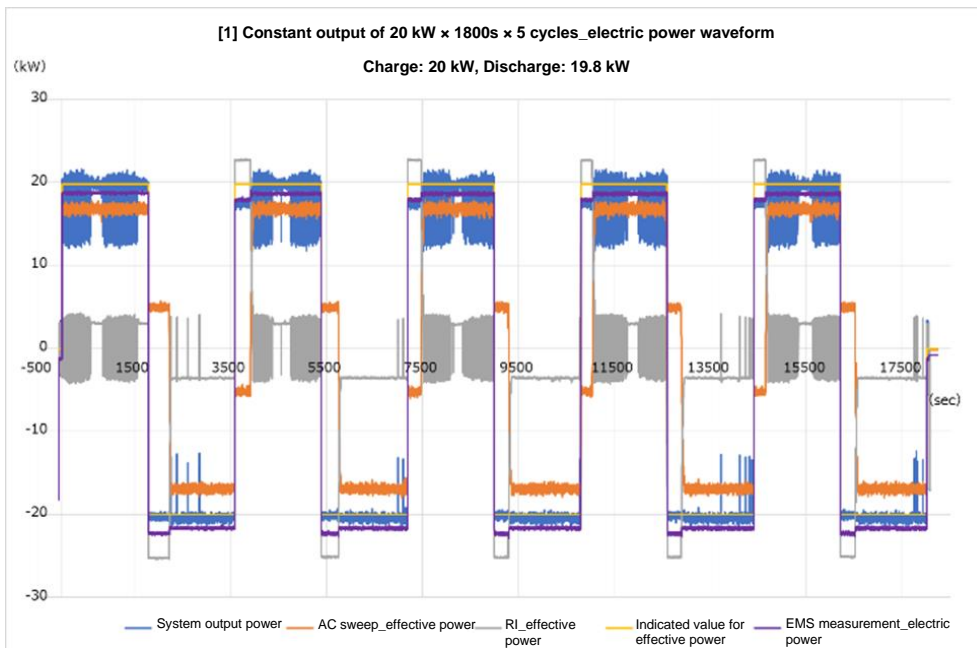


Fig. S2.7 Test Condition (2) Measurement Waveform (Output power, SOC)

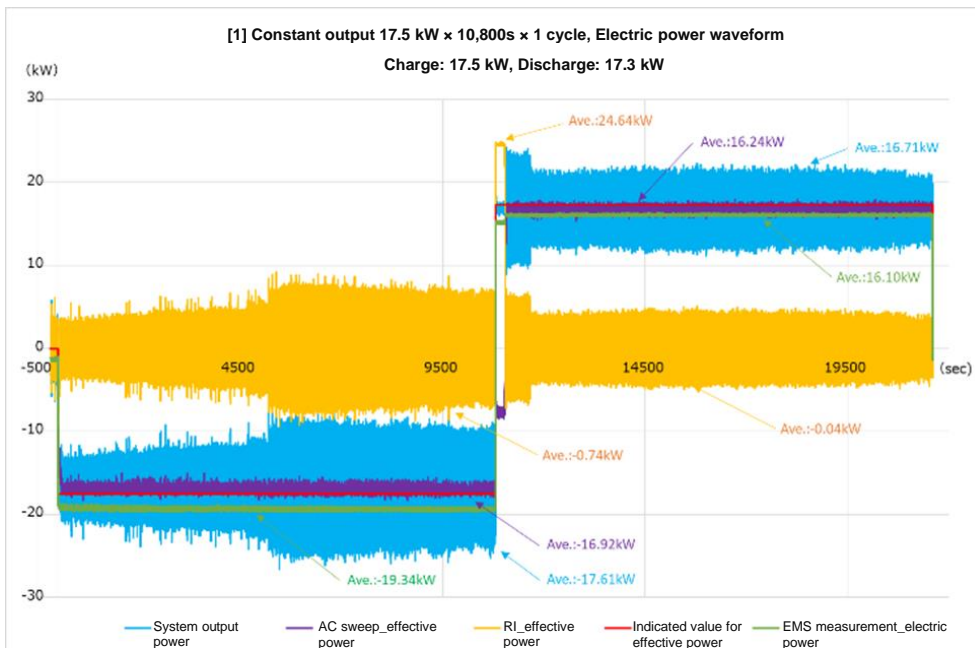


Fig. S2.8 Test Condition (3) Measurement Waveform (Output power, SOC)

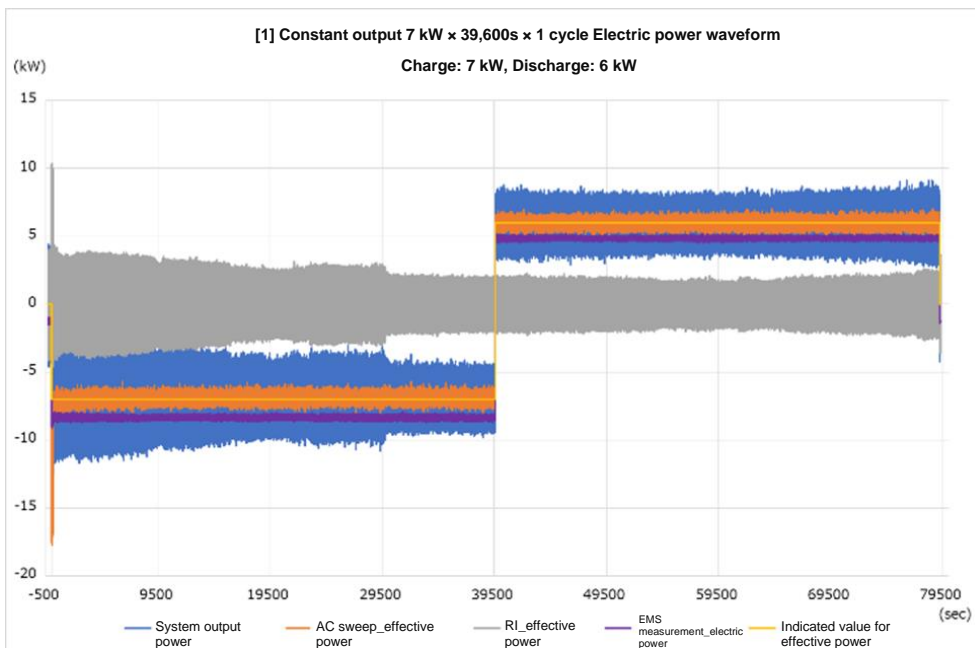


Fig. S2.9 Test Condition (4) Measurement Waveform (Output power, SOC)

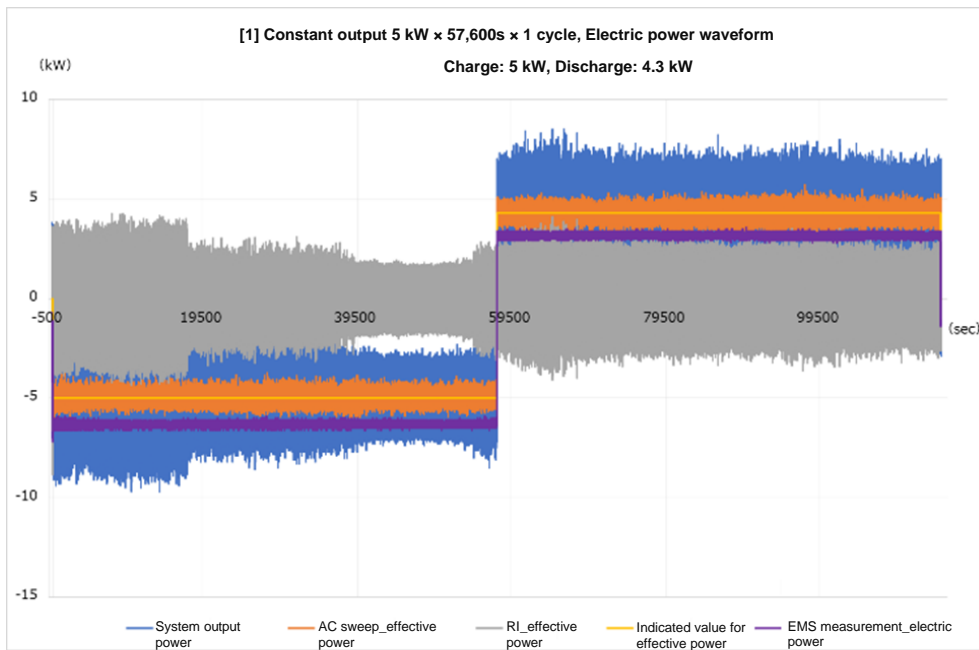


Fig. S2.10 Test Condition (5) Measurement Waveform (Output power, SOC)

(5) Short-period Reaction Test

To confirm the conformance to requirements, which is requested at the demand and supply adjustment market and the capacity market, tests of repeating charge and discharge in a short period (2 seconds) were conducted. Method of testing is shown in Table S2.7 and Fig. S2.11.

Table S2.7 Short-period Reaction Test

Condition	Duration [s]	Charge [kW]	Discharge [kW]
(1)	300	50	48
(2)	1800	38	36.7
(3)	39600	13	11.2

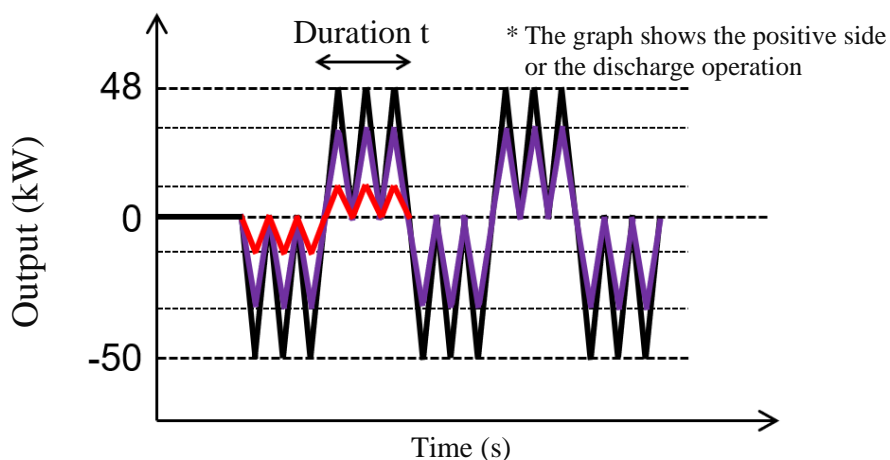


Fig. S2.11 Waveform Image of Short-period Reaction Test

Test results are shown in Figures S2.12 to S2.14. Although a deviation in SOC of about 5% was produced at the charge side, it was confirmed that charge and discharge operations in a short period were repeatable under all test conditions of (1) to (3).

As seen in the test condition (3), when output power can be handled only with LiB, the command value of RI becomes 0 kW. However, since charge and discharge operations were repeated due to the control of holding 50% of SOC for the Ni-MH battery, operability should be improved in the future, for example, by setting a command of holding 0 kW when the Ni-MH battery is not used.

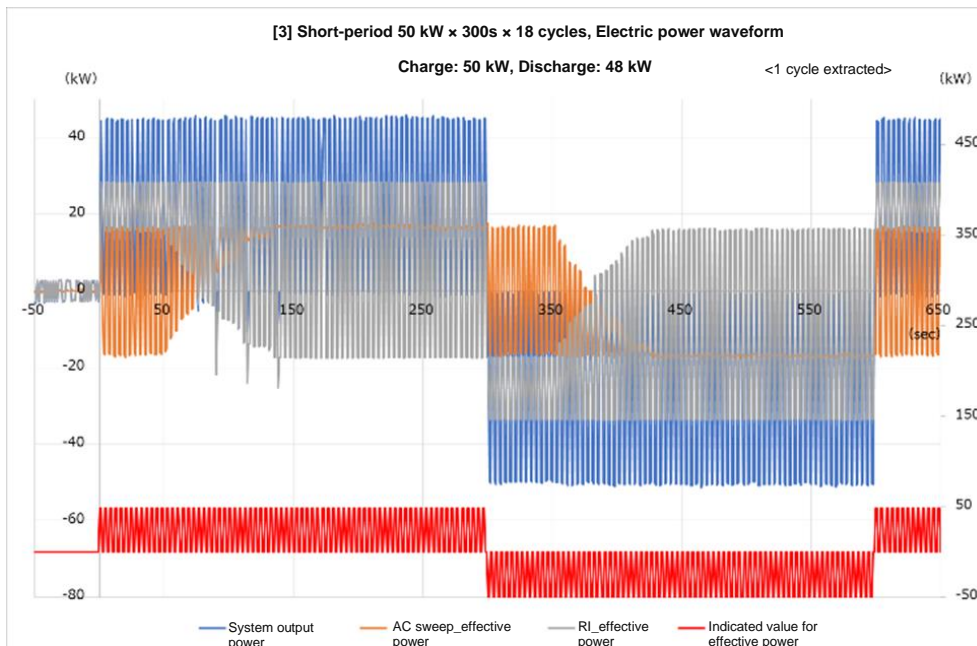


Fig. S2.12 Test Condition (1) Measurement Waveform (Output power, SOC)

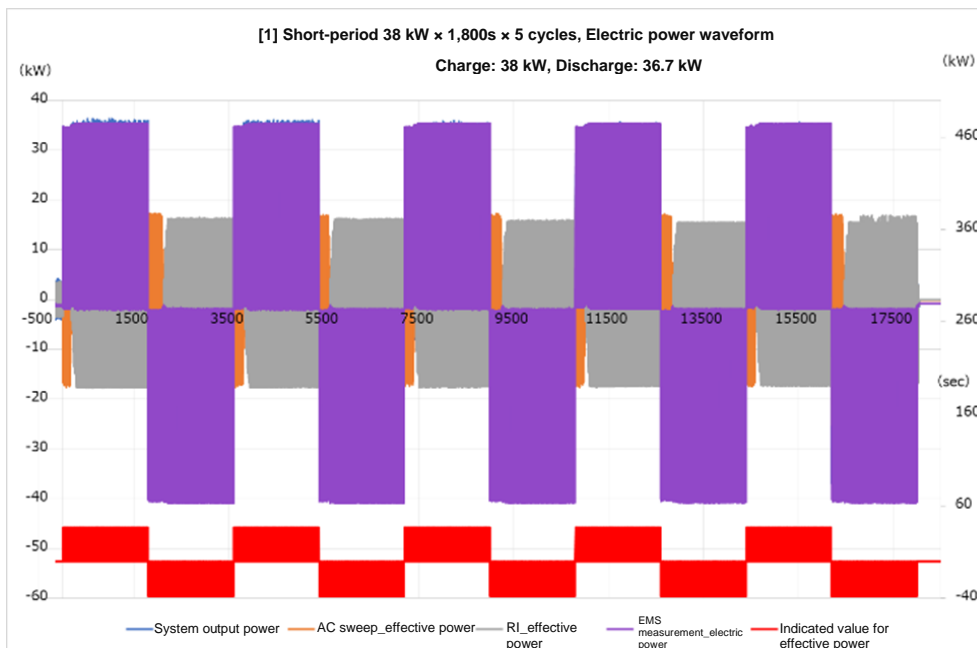


Fig. S2.13 Test Condition (2) Measurement Waveform (Output power, SOC)

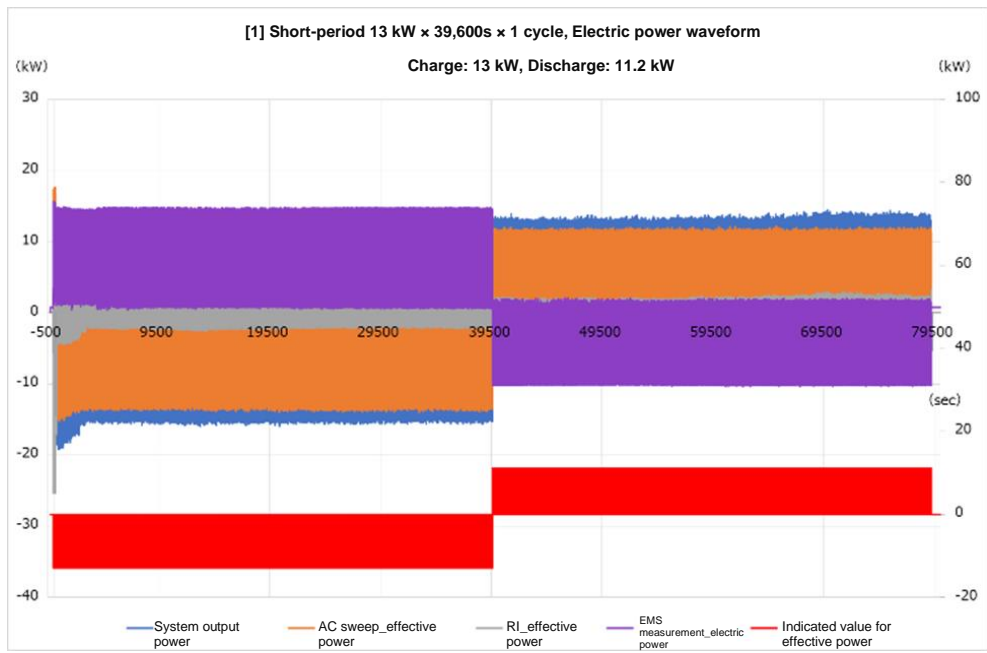


Fig. S2.14 Test Condition (3) Measurement Waveform (Output power, SOC)

(6) Major functional requirements necessary for system interconnection

To connect the reused battery system incorporating RI and AC sweep to the Japanese power systems, functions that meet the system interconnection provisions (JEAC9701) must be implemented in RI and AC sweep. Major functional requirements and the matters that must be reflected into the equipment are shown in Table S2.8.

Table S2.8 Major Functional Requirements Necessary for System Interconnection

	Item	Requirements	Condition	Matters to be Reflected into Next Year's Equipment
1	Power factor	Leading power factor shall not be produced when power factor is equal to or greater than 95%	Rated output 100%,50%	Can be handled by the current equipment
2	Harmonics	[1] Overall distortion factor: less than 5% [2] 2nd to 40th harmonics: less than 3%	Rated output 100%,50%	An optimum filter against harmonics will be installed (Filter design for AC sweep was implemented this year)
3	Protective coordination	A protective device with elements such as OVR/UVR/OFR/UFR/OVGR shall be installed		A protective relay will be installed for system interconnection
4	Single operation prevention function	A function of passively/actively detecting single operations to the system, and stopping output		The passive detection function that implements this function (active detection) will be handled by the protective relay for system interconnection
5	FRT function	Operation continuation function in case of an accident (Fault Ride Through function)	Rated output 100% (Can be discussed)	This function will be implemented
6	System voltage holding	Voltage at the power receiving point shall be monitored, and voltage shall be automatically regulated when deviating from the proper value		Can be handled by the current equipment

3. Environmental Improvement Effect and CO2 Emissions Reduction Effect

Fig. S3.1 shows the major processes of the new battery manufacturing, that is the baseline, and reusing collected batteries, that is the reuse project proposed this time.

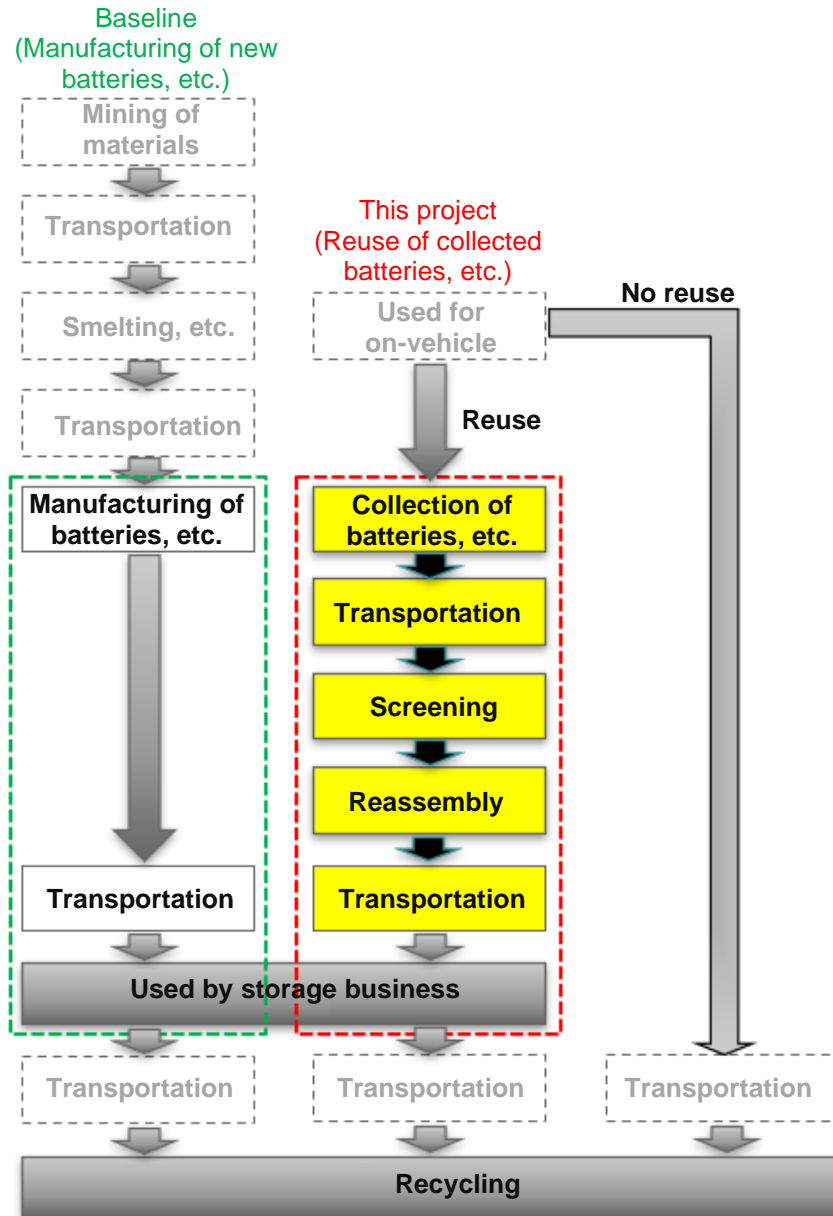


Fig. S3.1 Processes of Manufacturing New Batteries and Reuse Business

(1) Environmental improvement effect

Although it is not to be analyzed in this demonstration project, reuse of on-vehicle batteries is expected to reduce resources and energies required for manufacturing new batteries, etc. in the baseline.

(2) CO2 emissions reduction effect

To evaluate the environmental improvement effect, a storage system of 10 MW and 10 MWh was assumed for system interconnection, and also assumed to be operated for 10 years.

As the result of calculating the amount of CO2 emissions in the baseline, the amount of CO2 emissions has turned out to be 3,513.0 t. On the other hand, the calculation of the amount of CO2 emissions in this project has turned out to be 454.8 t of CO2 emissions, and superiority to the baseline was confirmed.

4. Efforts to improve economic efficiency

(1) Potential economic improvement

Through this demonstration project, technological issues have been addressed as confirmation was made about the usefulness of the reuse power storage system in the electric power system, and control technology for batteries with different degradation conditions has been established.

A typical power storage system consists mainly of new batteries, PCS, BMS, housing, etc. Since the housing, etc., will be the same regardless of reuse or not, the reuse storage system needs to have price competitiveness against the remaining portion of new batteries, BMS, and PCS.

Price competitiveness against new batteries will be attained by reusing batteries from vehicles. In addition, as for the BMS, since the BMS of the vehicle-mounted batteries can also be used here, price competitiveness will be attained. On the other hand, with regard to the PCS, the same level of existing PCS is thought to be attainable when the Sweep function developed in this project is used and in-vehicle inverters whose function has been verified are used. Fig. S4.1 shows the construction cost of new battery storage system and reuse battery storage system.

For commercialization, it is necessary to secure price competitiveness against new battery power storage systems by further optimizing facility designs, including cost reductions, etc.

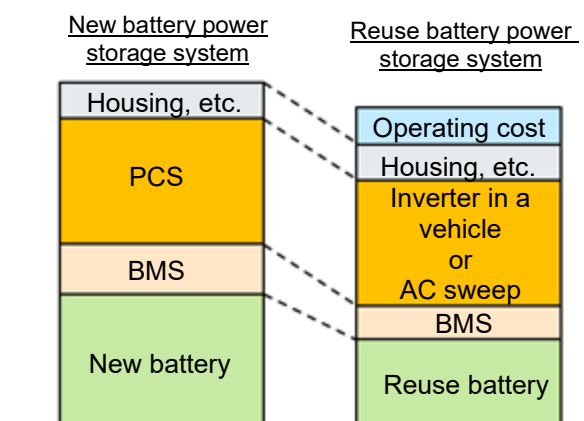


Fig. S4.1 Construction cost of new battery storage system and reuse battery storage system (image)

(2) Business potential

Since it has been confirmed that the system can meet the requirements of the supply-demand adjustment market and the capacity market, and can be beneficial to solve grid issues that may arise as introduction of renewable energy expands going forward, the business has the potential to expand by redeploying used batteries, which are expected to emerge in a large quantity on and after FY 2025, to the reuse power storage system and by using the system in the supply-demand adjustment market and the capacity market.

In addition, as it is possible to configure the system with various deterioration levels and different types of batteries, the system can take into account available volume and types of used batteries in the future and can be configured to meet the requirements of business owners and their situations at the time. Location and use case of the stationary power storage system are shown in Fig. S4.2.

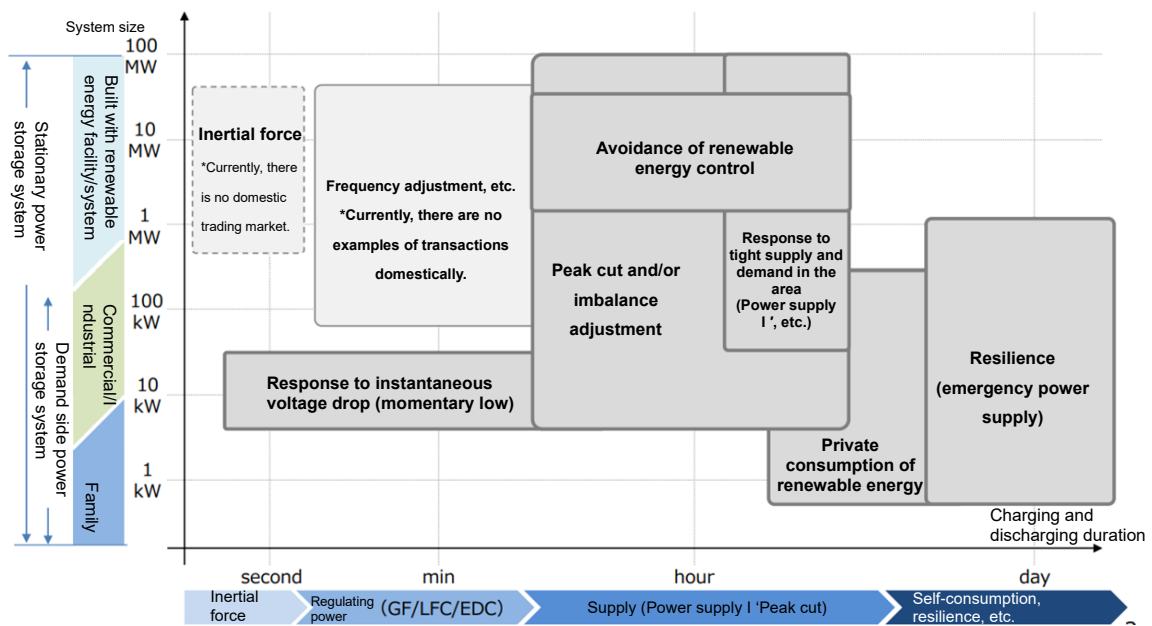


Fig. S4.2 Location and use case of the stationary power storage system

Source: Joint Meeting Material 2 of Subcommittee on Energy Conservation and New Energy, Subcommittee on Electricity and Gas, Subcommittee on Mass Introduction of Renewable Energy and Next Generation Power Network (Part 24) Subcommittee on Basic Policy, Subcommittee on Reform of the System for Mainstay Renewable Energy Sources (Part 12); Advisory Committee for Energy

(3) Future prospects for commercialization

On the other hand, in order to commercialize reuse on a large scale, it is necessary to establish a system to recover a large number of batteries. In recent years, in the automobile industry, studies toward development of a recovery system for automotive batteries are gaining traction, such as the establishment of a joint recovery network for lithium-ion batteries by automobile manufacturers and, in the future, recovery of automotive batteries will become a matter of surety and domestic recycling will be accelerated. The current recycling system flow for end-of-life vehicles is shown in Fig. S4.3.

In light of these changes in the environment, we aim for early commercialization of the system by pushing the study together with automobile manufacturers and other suppliers toward the establishment of an ecosystem that reuses batteries on a large scale.

< Recycling system for LiB >

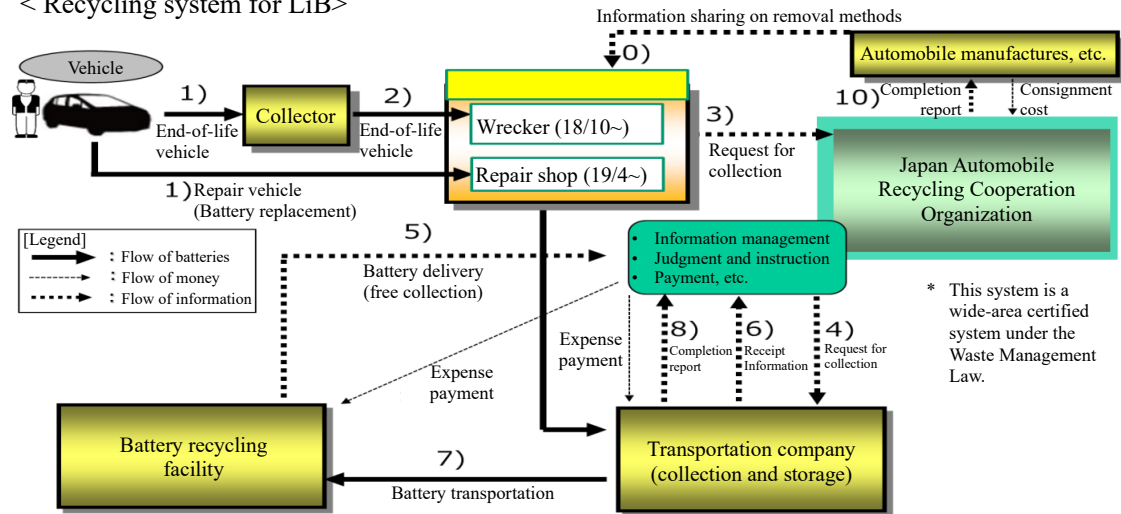


Fig. S4.3 Recycling system flow for end-of-life vehicles

Source: Material for the 56th Joint Session of Industrial Structure Council and Central Environment Council, Japan Automobile Manufacturers Association, Material 6

目次

1. はじめに	1
1.1. 背景と目的	1
1.2. 事業実施体制	4
1.3. 共同実施者との打合せ	5
2. 実証事業の実施	6
2.1. 背景	6
2.2. 実証試験要領	8
2.2.1. システム構成	8
2.3. 交流スイープ LCL フィルタ設計	11
2.3.1. 評価基準	11
2.3.2. 設計した LCL フィルタ定数	11
2.3.3. 評価結果	11
2.3.4. 装置構成について	12
2.3.5. フィルタの設計	13
2.3.6. 評価条件とシミュレーション結果	15
2.3.7. 交流フィルタ設計まとめ	18
2.4. RI LC フィルタの評価	19
2.4.1. 評価基準	19
2.4.2. 評価した LC フィルタの定数	19
2.4.3. 評価結果	19
2.4.4. 装置構成について	20
2.4.5. RI フィルタの評価	21
2.4.6. RI フィルタの評価結果	24
2.5. 実証試験方法	25
2.5.1. システム基本性能確認試験	25
2.5.2. システム応動試験	26
2.5.3. 一定出力・一定時間の充放電試験	27
2.5.4. 短周期応動試験	28
2.6. 実証試験結果	29
2.6.1. システム基本性能確認試験	29
2.6.2. システム応動試験	33
2.6.3. 一定出力・一定時間の充放電試験	35
2.6.4. 短周期応動試験	48

2.6.5. 系統連系に必要となる主な機能要件.....	56
2.7. 考察及び今後の展開.....	58
3. 環境改善効果及び CO2 排出量削減効果.....	59
3.1. 環境改善効果.....	59
3.2. CO2 排出量削減効果.....	60
4. 今後の経済性向上に向けた取り組み.....	62
4.1. 経済性向上の可能性.....	62
4.2. 事業の展開可能性.....	64
4.3. 今後の事業化見通し.....	68

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、今後大量の使用済み電池が発生すると見込まれている。使用済み電池の発生予測を図1.1、次世代車の販売台数及び保有台数を図1.2、図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、使用済み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み電池の回収実績を図1.4、図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
- ・異種電池混合状態における安全で安定した制御技術
- ・PCSを不要とする車載品活用技術及び電池制御技術

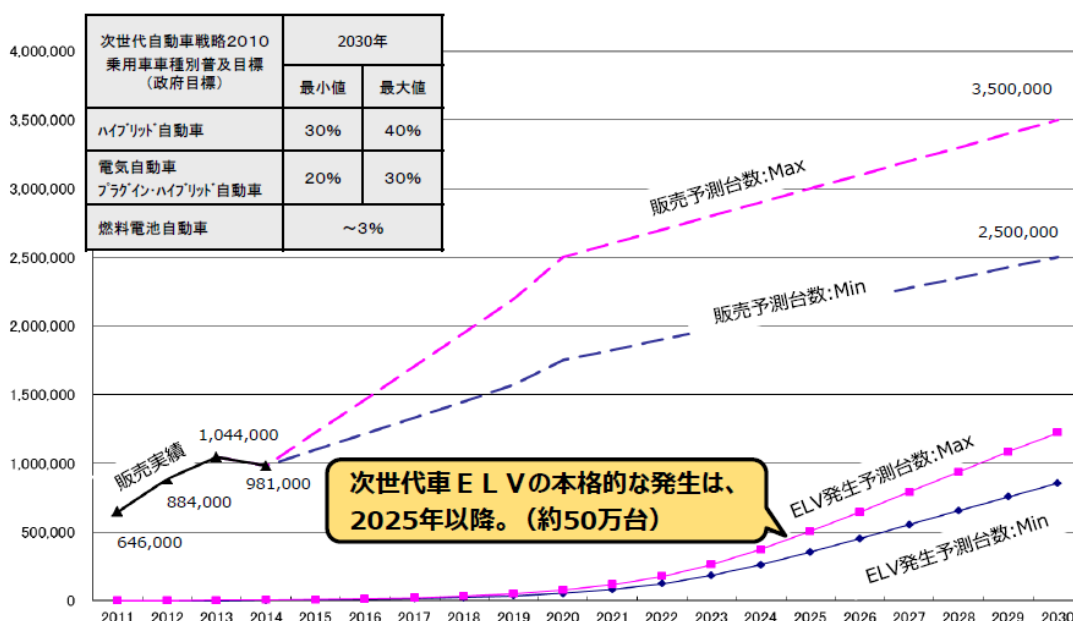


図 1.1 次世代車普及見通し・ELV（使用済み自動車）発生台数予測

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

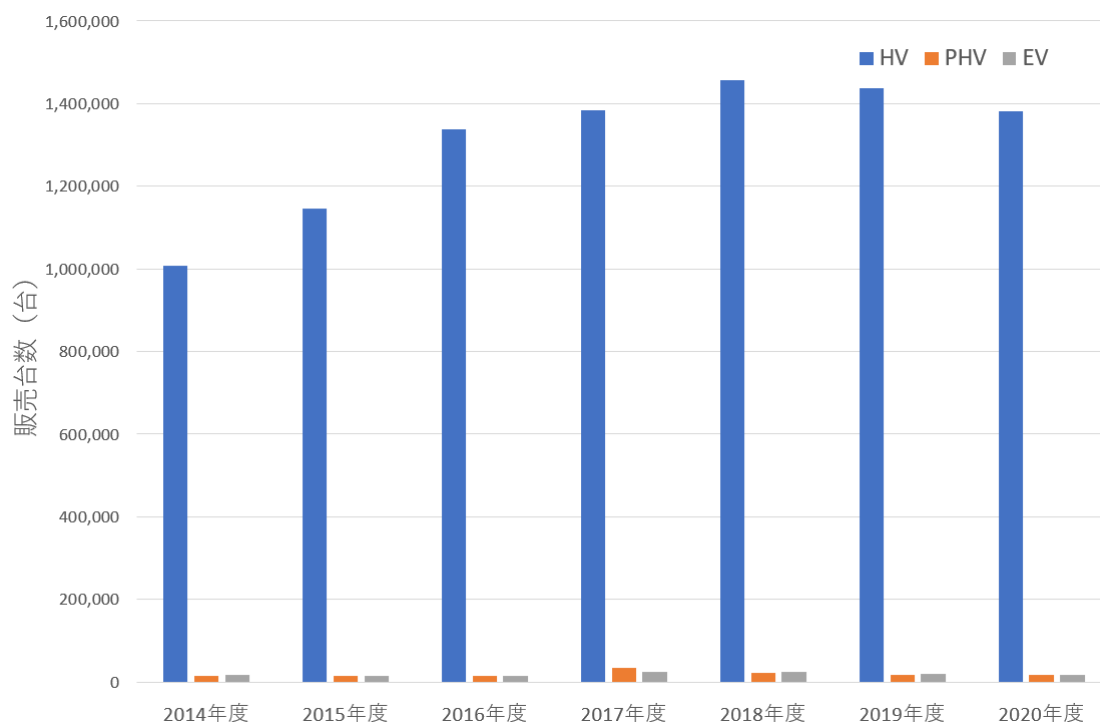


図1.2 次世代車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）販売台数
 出典：（一社）次世代自動車振興センターHP <http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai.html>

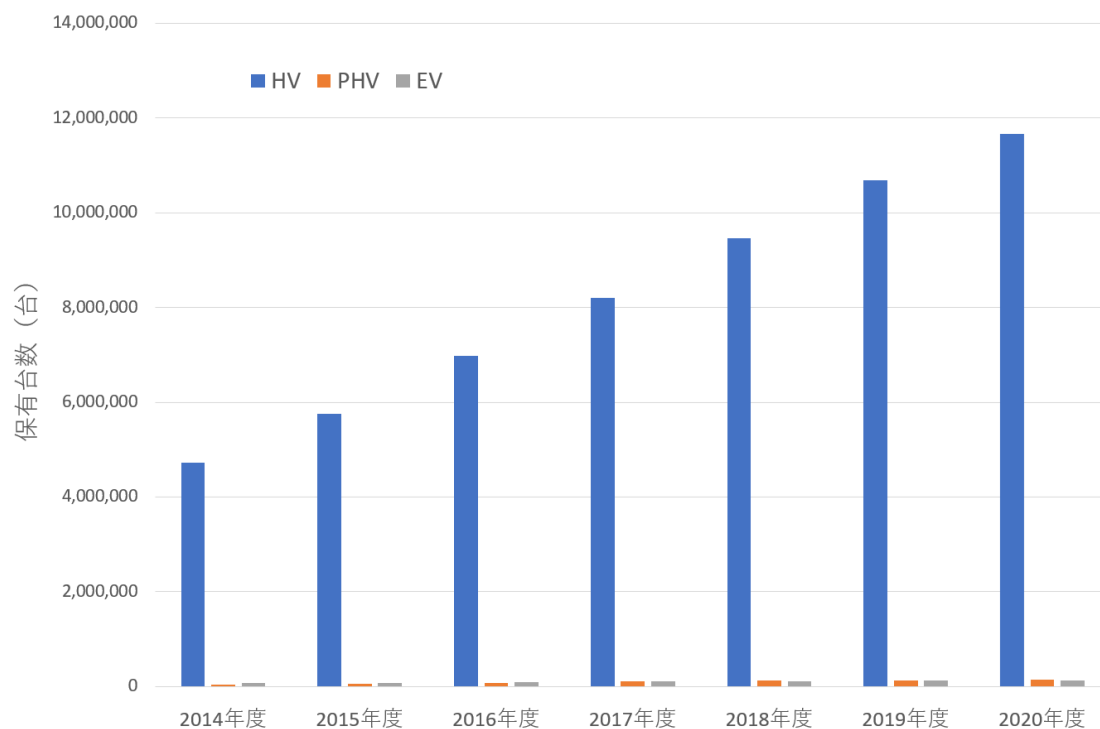


図1.3 次世代車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）保有台数
 出典：（一社）次世代自動車振興センターHP <http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai3.html>

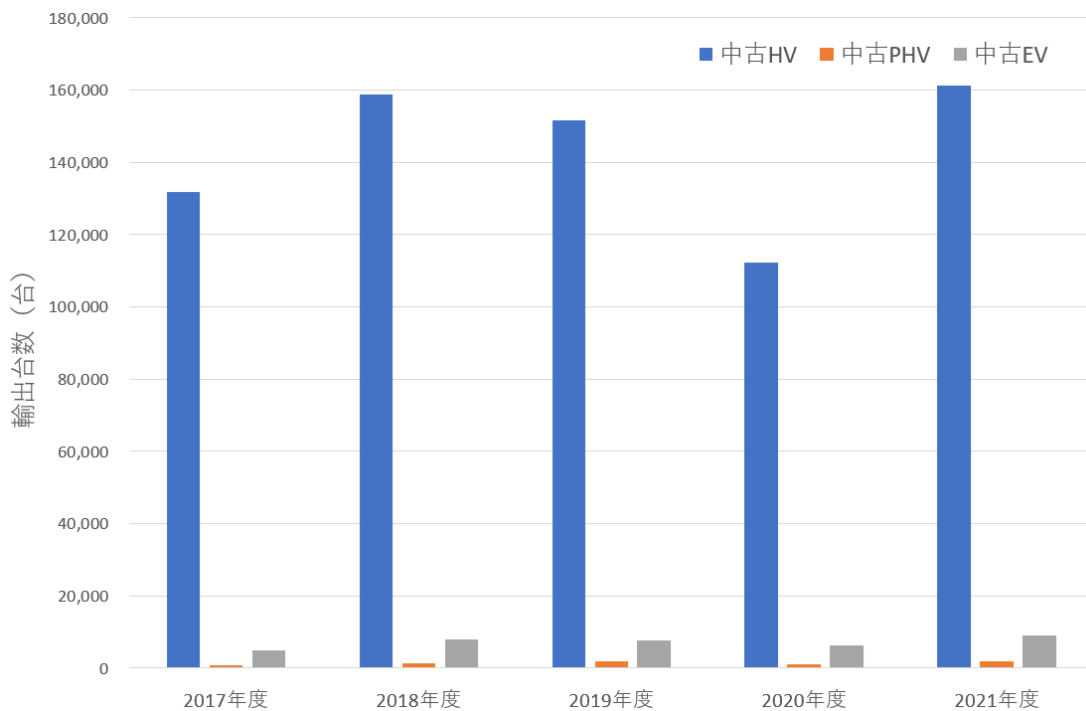


図1.4 中古車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）輸出台数
出典：財務省貿易統計

	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) マツダ(株) 三菱ふそうトラック・バス(株) UDトラック(株)	川崎重工業(株) (株)SUBARU トヨタ自動車(株) 本田技研工業(株) 三菱自動車工業(株) ヤマハ発動機(株)	(株)SUBARU トヨタ自動車(株) 日産自動車(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	2020年度：3,648個 (2019年度：3,014個) (2018年度：2,364個) (2017年度：943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)	

(注) ELVからの発生
各社合計値

図1.5 使用済み電池の回収実績

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

1.2. 事業実施体制

事業実施体制図及び役割を図 1.6 に示す。

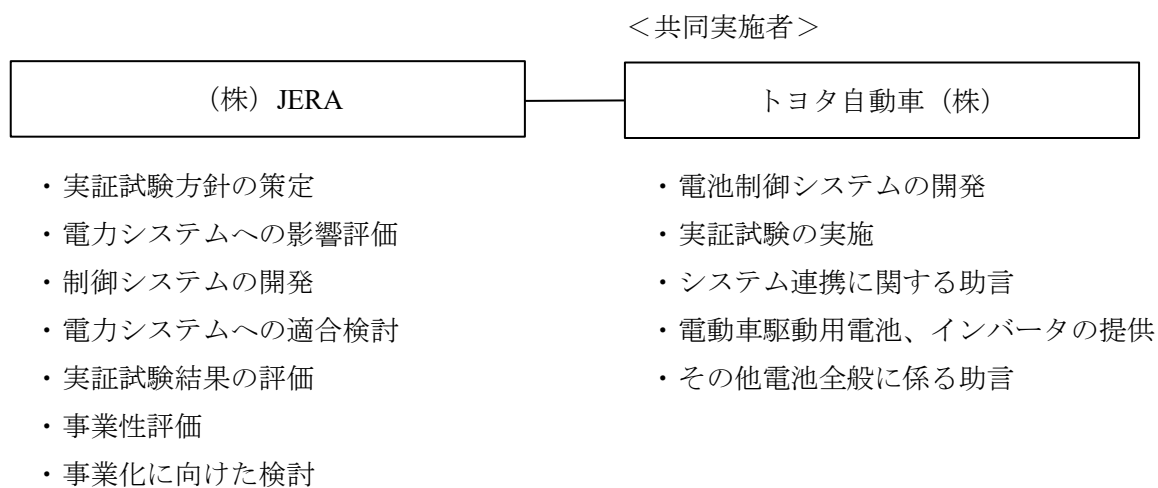


図 1.6 事業実施体制図及び役割

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車載インバータ、交流スィープの組み込みに関して、合計5回以上の打合せを行った。主にオンラインでの打合せを行ったが、リユース蓄電システムの現物の状況を踏まえた議論を行うため、兵庫県神戸市でも打合せを行った。

2. 実証事業の実施

2.1. 背景

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。

中古電池を蓄電システムとして有効活用するためには電力システムの要求仕様を満足し、かつ安価である必要があるが、電池にはパワー型とエネルギー型が存在し、どちらか一方のみの電池で構成する蓄電システムでは、出力と容量の両方の要求特性を同時に満足することはできず、電池が過剰に必要となる。また、蓄電システム全体に占めるパワーコンディショナー（以下、「PCS」という。）のコスト比率が高く電池のリユースだけではシステム全体の価格低減が困難という課題がある。

本実証事業は、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、電力市場を想定した充放電試験を実施することにより、市場要件への適合確認に加え、設備の最適化と中古電池の安全で安定した制御方法の確立を目的とする。また、蓄電システムの価格競争力向上のため、車載インバータのリユース等による蓄電システム全体のコストダウン検討を行う。

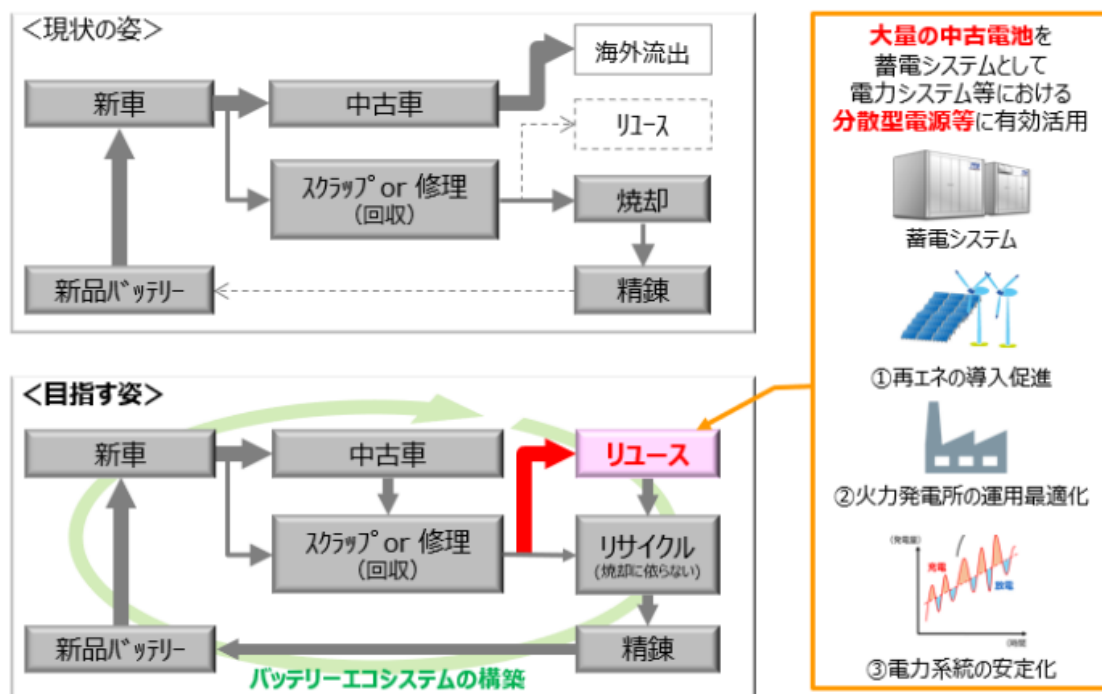
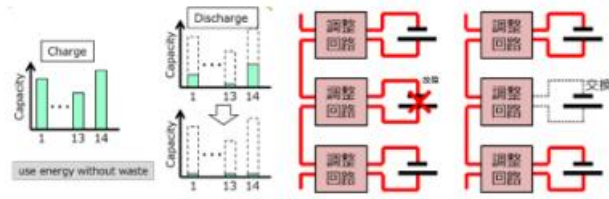


図 2.1 中古電池を循環させるバッテリーエコシステム（イメージ）

①電池劣化状態に依らない制御、故障時に安全に切り離しが可能



②異種電池の混合制御が可能



③中古電池以外の車載品リユース検討



本実証事業では小規模に模擬
将来的に用途に合わせた最適なりユース
蓄電システムとして再構築が可能

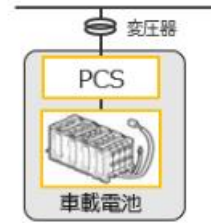


図 2.2 リユース電池を活用した設備構成の課題解決（イメージ）

2.2. 実証試験要領

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 2.1 に示す。また、使用した中古電池等の仕様を表 2.2 に、システム構成図を図 2.3 に示す。

Ni-MH 電池カートリッジ（モジュール 6 直：43.2V）を 22 直列したものを DC ストリングと称し、2 ストリングを設置した。2 ラインの DC ストリングには、PCS 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 ストリングの電池容量はトータル 12.3kWh と小さいが、50kW の充放電入出力が可能なのが特徴で、急峻な電力変化対応を得意とする。

また、LiB カートリッジ（セル 12 直：44.4V）を 14 直列したものを 3 ストリング用意し、各ストリングは位相を 120 度ずらした正弦波を生成することで、交流の U、V、W 相に見立てた正弦波制御を行う AC ストリングとして設置した。電池ストリング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 ストリングの電池容量はトータル 190kWh と大きい、17kW の充放電入出力しか出来ないため、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（以下、「SU」という。）は 1 対 1 で接続され、1 ストリング分の SU を String Control Unit（以下、「SCU」という。）が制御し、更に SCU 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 ストリングに設置された SU（以下、「交流スイープ」という。）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。

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 が各カートリッジの状態を監視し、GCU がそのカートリッジ状態、ストリング状態から、AC、DC ストリングの各 SCU 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 は急峻な動作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、DC ストリングの各 SCU に対する指令分配制御を行っている。

表 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、蓄電システムの放電エネルギーを消費するための抵抗器。
データサーバー	GCU から各種試験データを収集。
試験設定 PC	長周期応動試験等、複雑な電力指令を設定可能。 1 秒毎の充放電電力指令を事前に登録し、試験時に PMU へ指示を送信。
Power Management Unit (PMU)	試験設定 PC、及び GCU との双方向通信により下記を実施。 <ul style="list-style-type: none"> 試験設定 PC へ試験条件／開始指令発信、電力設定値を逐次受信 タッチパネルとの通信（指令設定、モニター） 充放電制御指令を GCU に発信、GCU から各種モニター値を受信 GCU 各種情報、及び分電盤電力測定値を収集し充放電制御を実施
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 <ul style="list-style-type: none"> 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 (SCU)	GCU との双方向通信により下記を実施 <ul style="list-style-type: none"> GCU から指令を受けた電力を実現する様に SU へ接続/切断信号を発信 SU からのカートリッジ情報（電池状態）に応じて切離す SU を決定 SCU 配下の各 SU の状態を統合して GCU に通知
Sweep Unit (SU)	SCU との双方向通信により下記を実施 <ul style="list-style-type: none"> SCU 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 に通知
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ー AC ストリングの波形平滑化（リップル、高調波低減）

表 2.2 今回用いた中古リチウムイオン電池等の仕様

項目	DC スtring (2 String)	AC String (3 String)
定格電力	50kW	17kW
定格電圧	650V	200V
定格電力容量	12.3kWh	190kWh
使用温度	0~40°C	
カートリッジ数	44	42

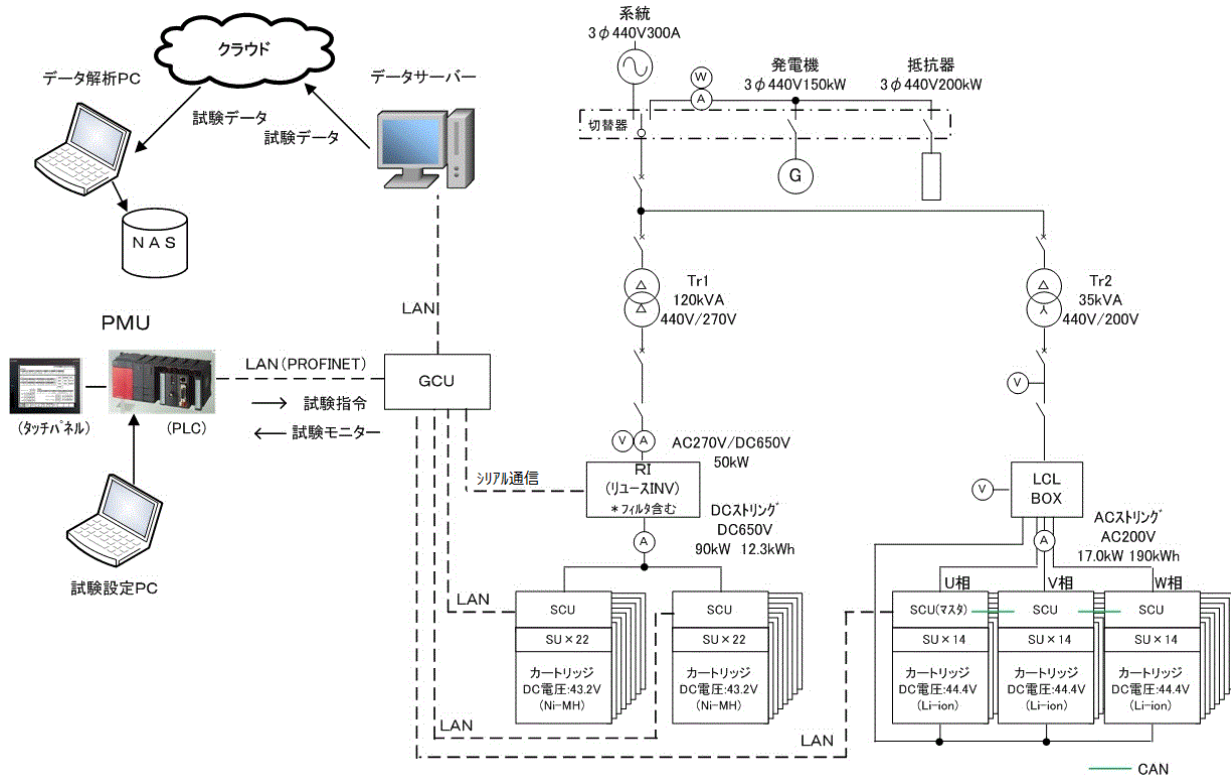


図 2.3 実証試験システム構成図

2.3. 交流スイープ LCL フィルタ設計

2.3.1. 評価基準

LCL フィルタの単体評価は系統インピーダンスなし、並列評価は系統インピーダンス 10 μ H で実施する。評価内容及び基準は次のとおり。

(1)FRT 要件：瞬低時に過電流停止しないこと (JET 準拠)

※但し、交流スイープ装置の詳細制御構成不明につき、位相情報は固定周波数 (60Hz) を設定し PLL 未実装、瞬低復帰時の出力復帰判定はゲートブロック・デブロックを未実装のため未実施

(2)出力電流 THD：定格出力 50%と 100%において、出力電流の 2~40 次は各次 3%以下、総合 5%以下であること (JET 準拠)

(3)並列対応：LCL フィルタの C 故障に繋がる C 電流と台数変化の依存傾向確認

2.3.2. 設計した LCL フィルタ定数

(1)スイッチング回路側 L 値 (1 相あたり)：950 μ H (L_{fu}, L_{fv}, L_{fw})

(2)フィルタ C 値 (1 相あたり)：26 μ F (C_{fu}, C_{fv}, C_{fw})

(3)系統側 L 値 (1 相あたり)：50 μ H (L_{ou}, L_{ov}, L_{ow})

2.3.3. 評価結果

(1)FRT 要件：瞬低時に最大 111.0A (OC120A 以下)であり、問題無し

(2)出力電流 THD：評価台数(1,20,40 台)によらず各次 3%以下、総合 5%以下であり問題なし

(3)並列対応：C 電流実効値は 1 台で 1.13Arms に対して、20 台で 2%増、40 台で 4%増となることを確認。

2.3.4. 装置構成について

交流スイープ含む AC スtringの構成を図 2.4 に示す。交流スイープの UVW 各々の String 電圧は、蓄電池を多段に合成した矩形波の波形であり高調波を含む。このため、系統電源連系時に交流フィルタ (LCL BOX) を設ける。ここで、交流フィルタと AC String をまとめて AC スイープ装置と呼ぶ。

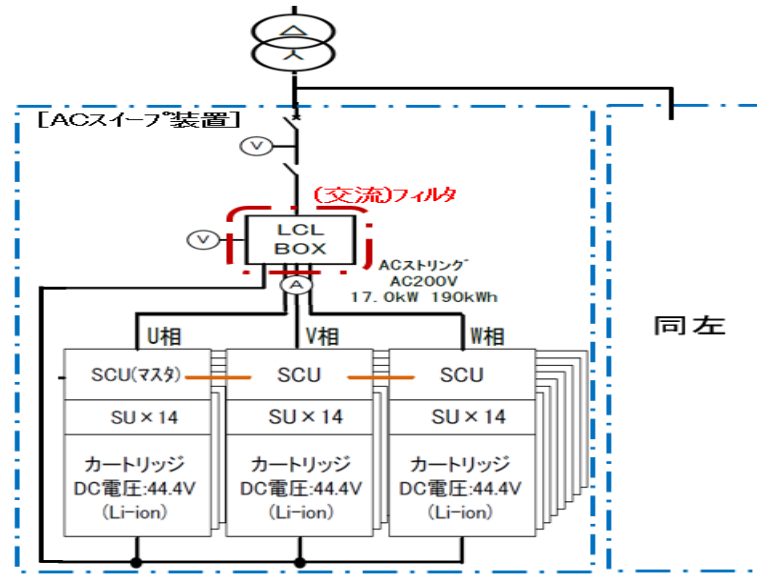


図 2.4 AC スイープ装置の構成

2.3.5. フィルタの設計

図 2.5 に AC スイープ装置の回路構成を示す。交流フィルタは LCL の三相 Y (スター) 形結線になっており、蓄電池と半導体スイッチで構成された U 相、V 相、W 相のストリング電圧を入力側として、出力側は系統電圧に接続される。(赤色一点鎖線)

交流フィルタは LCL 形になっており、AC スイープ装置が系統電源に複数台接続される時は系統側 L (リアクタンス) を介して (つまり L_{ou}, L_{ov}, L_{ow} の右側：下図の□部で) 接続となる。

回路及び制御の制約条件を表 2.3 に、フィルタ設計項目と設計方針を表 2.4 に示す。

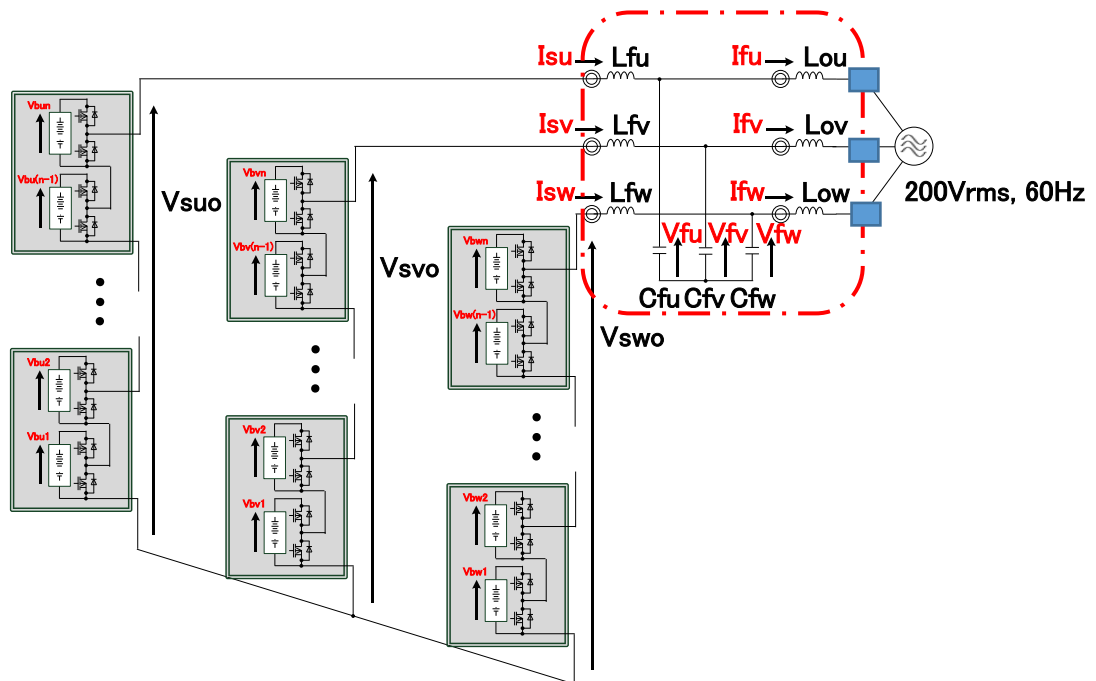


図 2.5 AC スイープ装置の回路構成

表 2.3 フィルタ設計に係る回路および制御の制約条件

制約項目	制約事項
電池電圧	最小 : 36V ~ 最大 : 48V
カートリッジ直列数	14 直列 (各ストリング)
キャリア周波数	23.8kHz (14 直列に対応) ~ 30.3kHz (11 直列に対応)
制御周期	125us
定格電流	56.6Arms
過電流レベル	120A (即時)

表 2.4 フィルタ設計項目と設計方針

設計項目	設計方針
スイッチング回路側 L 値	<p>FRT 要件を満足 (※但し、PLL 未実装、瞬低復帰時の出力復帰判定は未実施)</p>
C 値	<p>定格 50%、100%にて、 出力電流 THD 各次 3%以内、総合 5%以内 (JET 認証相当)</p>
系統側 L 値	<p>並列台数 20 台、または、40 台を満足 (※但し、C 部品の電流定格未定のため、C 電流と台数変化の依存傾向確認まで実施)</p>

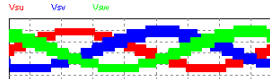
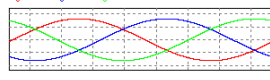
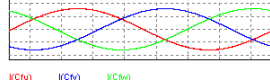
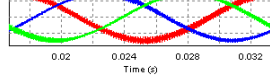
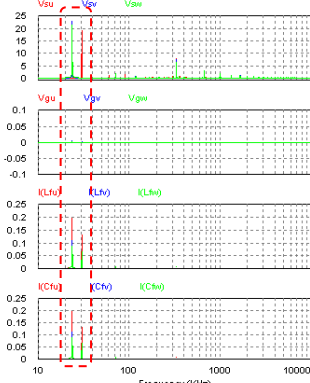
2.3.6. 評価条件とシミュレーション結果

フィルタ評価に用いる回路構成を表 2.5 ①、②に示す。

今後様々な電池カートリッジを接続することを想定し、各相のストリング台数が異なり、かつカートリッジあたりの電池電圧がストリングごとにはばらついた条件を設定した。

代表波形とその FFT 解析結果を表 2.5 ③に示す。低次(23.8、30.3kHz)のリップルが大きいことが確認できる。

表 2.5 フィルタ評価に用いる回路構成

	U 相ストリング	V 相ストリング	W 相ストリング
① 総直列数 (36V の数, 48V の数)	11 台 (6 台, 5 台)	14 台 (7 台, 7 台)	14 台 (7 台, 7 台)
② カートリッジあたりの キャリア周波数	30.3 kHz (3us × 11 台)	23.8 kHz (3us × 14 台)	23.8 kHz (3us × 14 台)
③ 【代表波形→FFT 解析結果 (10 k~10 MHz)】 <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <p>ストリング電圧 [V]</p>  <p>系統電圧 [V]</p>  <p>ストリング電流 [A]</p>  <p>フィルタ C 電流 [A]</p>  </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>主スレ外周波: 23.8 kHz, 30.3 kHz</p>  </div> </div>			

フィルタ評価における評価項目を表 2.6 に示す。本項目に基づき単体動作と並列動作 (20 台と 40 台) それぞれの条件において、FRT 要件に係る瞬低時の過渡電流、定格 100% の出力電流歪、および、フィルタコンデンサの電流実効値の確認を行う。なお、並列動作は横流によるフィルタコンデンサ電流の増加程度確認が主目的のため、単体動作と異なり系統インピーダンスあり (10 uH) とした。

表 2.6 フィルタ評価項目と評価方針

評価項目	評価方針
FRT 要件	残電圧 0%瞬低時の電流を確認：過電流レベル以内が基準
出力電流 THD	定格 50%, 100% の特性を確認： 各次 3%以内、総合 5%以内が基準 (JET 認証相当)
並列台数	20 台と 40 台条件のコンデンサ電流を確認：傾向確認のみ

今回設計した LCL フィルタを含む AC スイープ装置が定格 100%で単体定常運転中に系統電源が瞬低となった時の動きをシミュレーションした際の波形を図 2.6 に示す。

瞬低発生時の最大電流は過電流 120A 以下の 111A、瞬低前の定常状態のフィルタ C 電流は 1.13Arms であり FRT 要件を満たす。また、定格電流値を基準とした出力電流歪率は各次 (2~40 次) 0.1%以下であることが読み取れる。

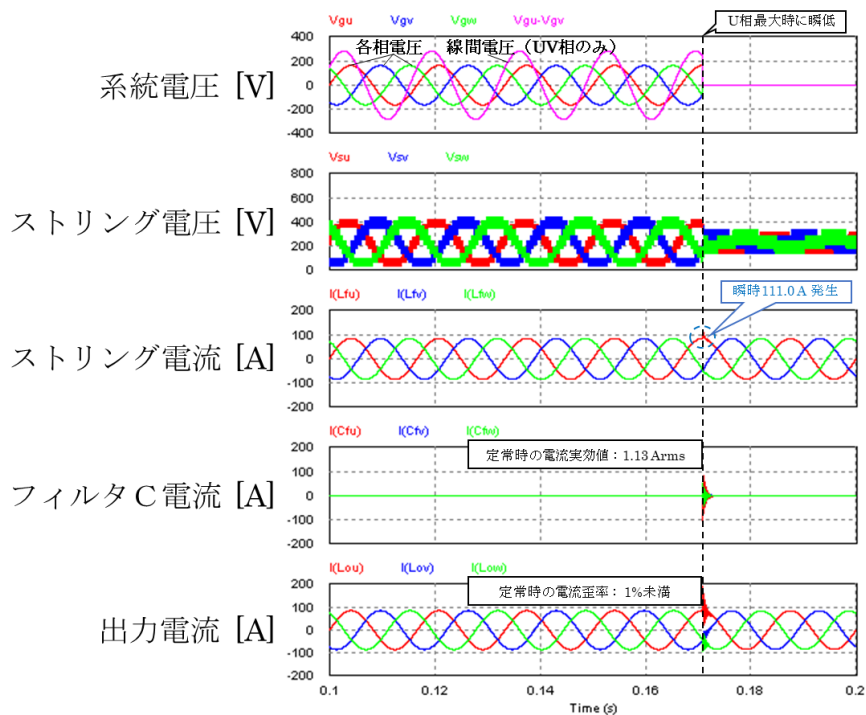


図 2.6 定格 100%の単体動作の波形特性
(定常運転中に瞬低:系統 U 相振幅最大時に残電圧ゼロ)

次に、定格 100%の 40 台並列動作における波形特性を図 2.7 に示す。

瞬低発生時の最大電流は過電流 120A 以下の 103.1A、瞬低前の定常状態のフィルタ C 電流は 1.17Arms である。また、定格電流値を基準とした出力電流歪率は 2~40 の各次 0.1%

以下である。

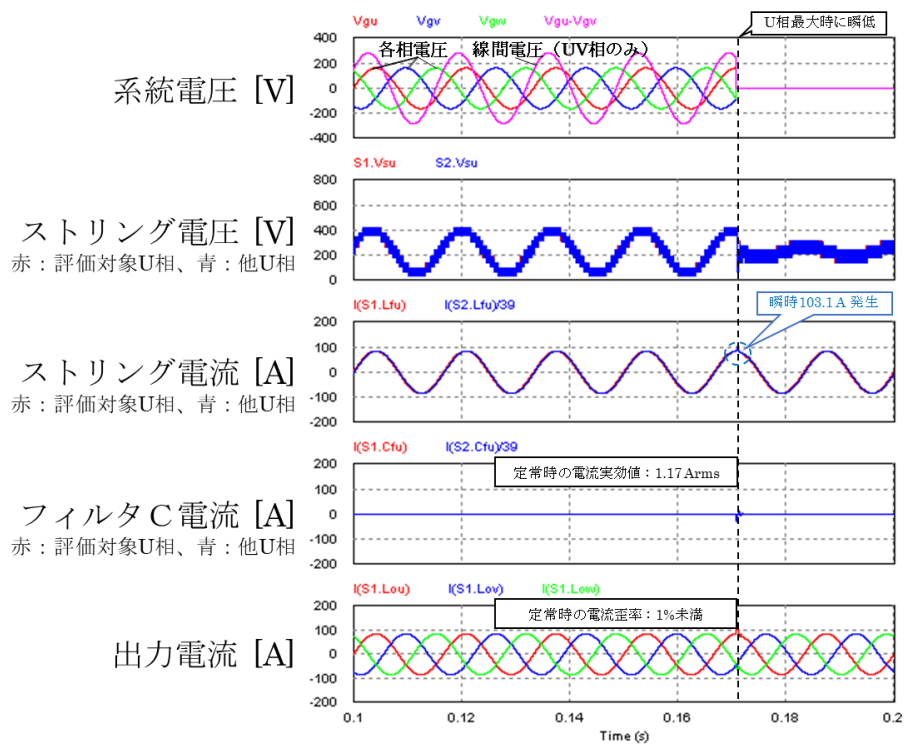


図 2.7 定格 100% の 40 台並列動作における波形特性

2.3.7. 交流フィルタ設計まとめ

選定した LCL フィルタ構成での評価結果を表 2.7 に示す。FRT 要件と出力電流 THD の基準は満足できる見込みである。また、連系時並列対応に伴うフィルタコンデンサ電流の増加度合いは 20 台で 2%、40 台で 4%程度増加する傾向である。

表 2.7 評価構成ごとの評価結果まとめ

評価構成			評価結果			
並列台数	系統インピーダンス	出力電力条件	評価対象	過渡電流： 120 A 以下で○	電流歪率： 各次 3%、総合 5%以内で○	C 電流： 部品選定に係るため確認のみ
1 (単体)	なし	定格 50%	—	68.6 A : ○	各次 0.1%以下、 総合 1%未満 : ○	1.13 Arms
		定格 100%	図 2.6	111.0 A : ○	各次 0.1%以下、 総合 1%未満 : ○	1.13 Arms
20	あり (10 uH)	定格 50%	—	62.5 A : ○	各次 0.1%以下、 総合 1%未満 : ○	1.14 Arms
		定格 100%	—	104.3 A : ○	各次 0.1%以下、 総合 1%未満 : ○	1.15 Arms
定格 50%		—	61.2 A : ○	各次 0.1%以下、 総合 1%未満 : ○	1.15 Arms	
定格 100%		図 2.7	103.1 A : ○	各次 0.1%以下、 総合 1%未満 : ○	1.17 Arms	
40						

2.4. RI LCフィルタの評価

2.4.1. 評価基準

単体評価は系統インピーダンスなし、並列評価は系統インピーダンス 10uH で実施する。評価内容及び基準は次のとおり。なお、スイッチング回路 L 値及びフィルタ C 値等についてはメーカーノウハウのため非公開とする。

(1)FRT 要件：瞬低時に過電流停止しないこと（JET 準拠）

※但し、位相情報は固定周波数（60Hz）を設定し PLL 未実装、瞬低復帰時の出力復帰判定はゲートブロック・デブブロック未実装のため未実施

(2)出力電流 THD：定格出力 50%と 100%において、出力電流の 2～40 次は各次 3%以下、総合 5%以下であること（JET 準拠）

(3)並列対応：LC フィルタの C 故障に繋がる C 電流と台数変化の依存傾向確認

2.4.2. 評価した LC フィルタの定数

(1)スイッチング回路側 L 値（1 相あたり）：非公開（Lfu, Lfv, Lfw）

(2)フィルタ C 値（1 相あたり）：非公開（Cfu, Cfv, Cfw）

2.4.3. 評価結果

(1)FRT 要件：瞬低時に最大 251.4A (OC250A 以上)のため、×（不可判定）

※最大で OC20%超過、改善が困難な傾向

(2)出力電流 THD：評価台数(1,20,40 台)条件の内、40 台かつ定格 100%条件を除き各次 3%以下、総合 5%以下のため、△

(3)並列対応：C 電流実効値は 1 台の構成に対して、20 台で 2 倍、40 台で 2.2 倍となることを確認

2.4.4. 装置構成について

RIを含むDCストリングの構成を図2.8に示す。

RIの電圧は蓄電池をスイッチングした波形であり高調波を含む。このため、系統電源側に交流フィルタを設ける。

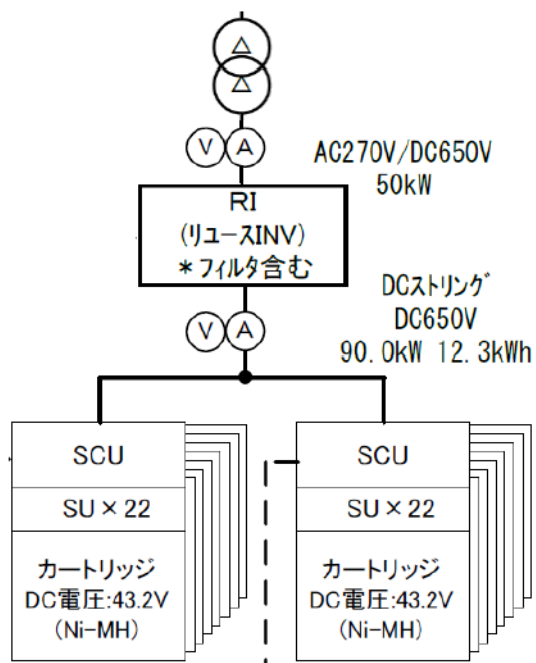
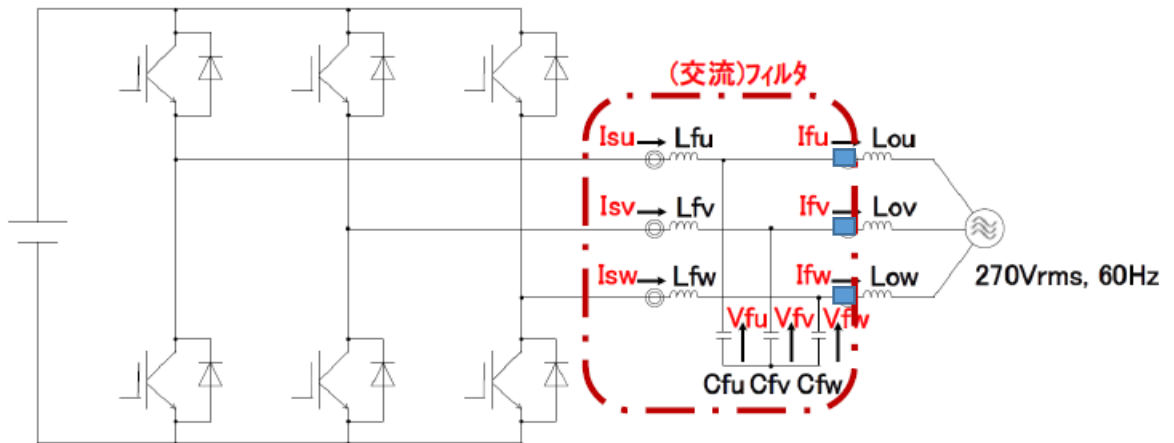


図 2.8 RI 含む DC ストリングの構成

2.4.5. RI フィルタの評価

RI の回路構成を図 2.9 に示す。RI の現行フィルタの LC 回路で構成されている。

系統側 L (Lou、Lov、Low) は配線による寄生の L である。このため、RI が系統電源に複数台接続される時は (つまり Lou, Lov, Low の左側：下図の□部で) 接続となる。



スイッチング回路側 L : Lfu, Lfv, Lfw
 フィルタ C (コンデンサ) : Cfu, Cfv, Cfw

※装置内に系統側 Lou, Lov, Low は無しの指定のため
 配線寄生の L 値として 1uH を想定

図 2.9 RI の回路構成

フィルタ評価に係る回路および制御の制約条件を表 2.8 に、フィルタ評価項目と評価方針を表 2.9 に示す。

表 2.8 フィルタ評価に係る回路および制御の制約条件

制約項目	制約事項
DC バス電圧	最小 : 120V ~ 最大 : 750V
スイッチング回路側 L 値	非公開
C 値	非公開
系統側 L 値	1uH (“なし” 指定のため配線寄生の L 値を想定)
キャリア周波数	非公開
制御周波数	非公開
定格電流	106.9Arms
過電流レベル	250A

表 2.9 フィルタ評価項目と評価方針

評価項目	評価方針
FRT 要件	残電圧 0%瞬低時の電流を確認：過電流レベル以内が基準
出力電流 THD	定格 50%, 100% の特性を確認： 各次 3%以内、総合 5%以内が基準（JET 認証相当）
並列台数	20 台と 40 台条件のコンデンサ電流を確認：傾向確認のみ

定格 100% の単体動作における波形特性を図 2.10 に示す。瞬低発生時の最大電流は過電流 250A 超過の 329.7A であることを確認。（瞬低前の定常状態のフィルタ C 電流は非公開）

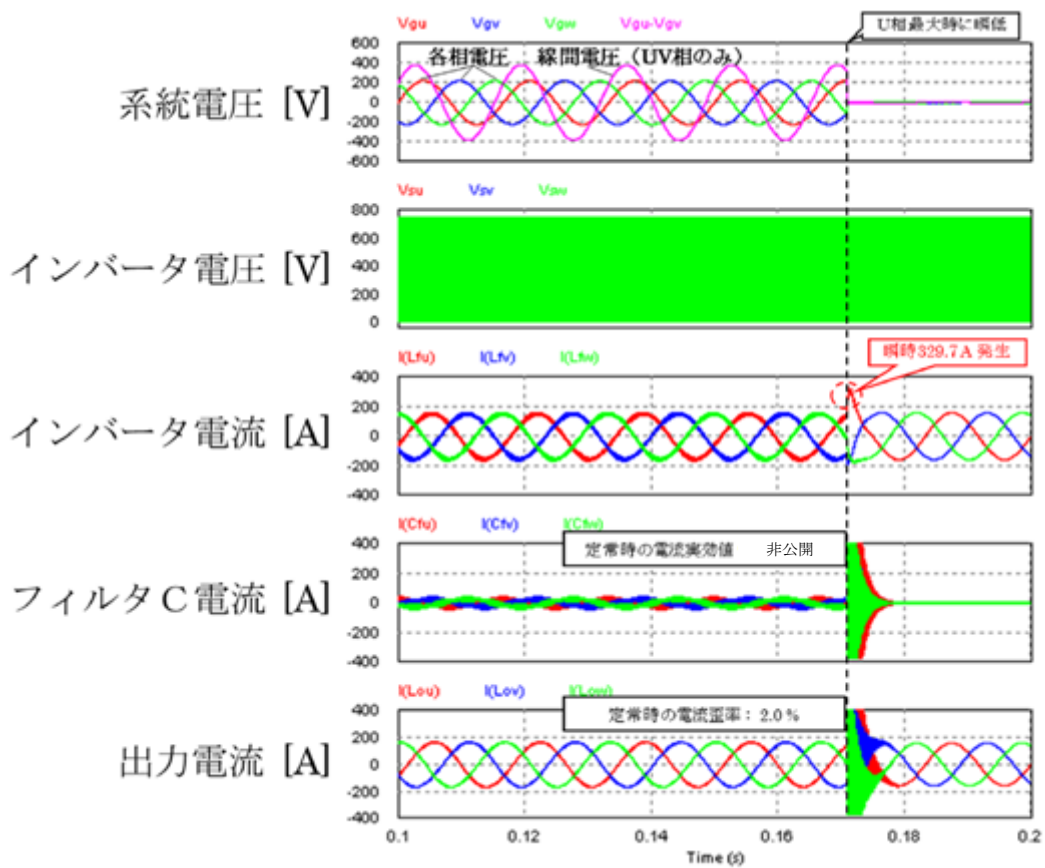
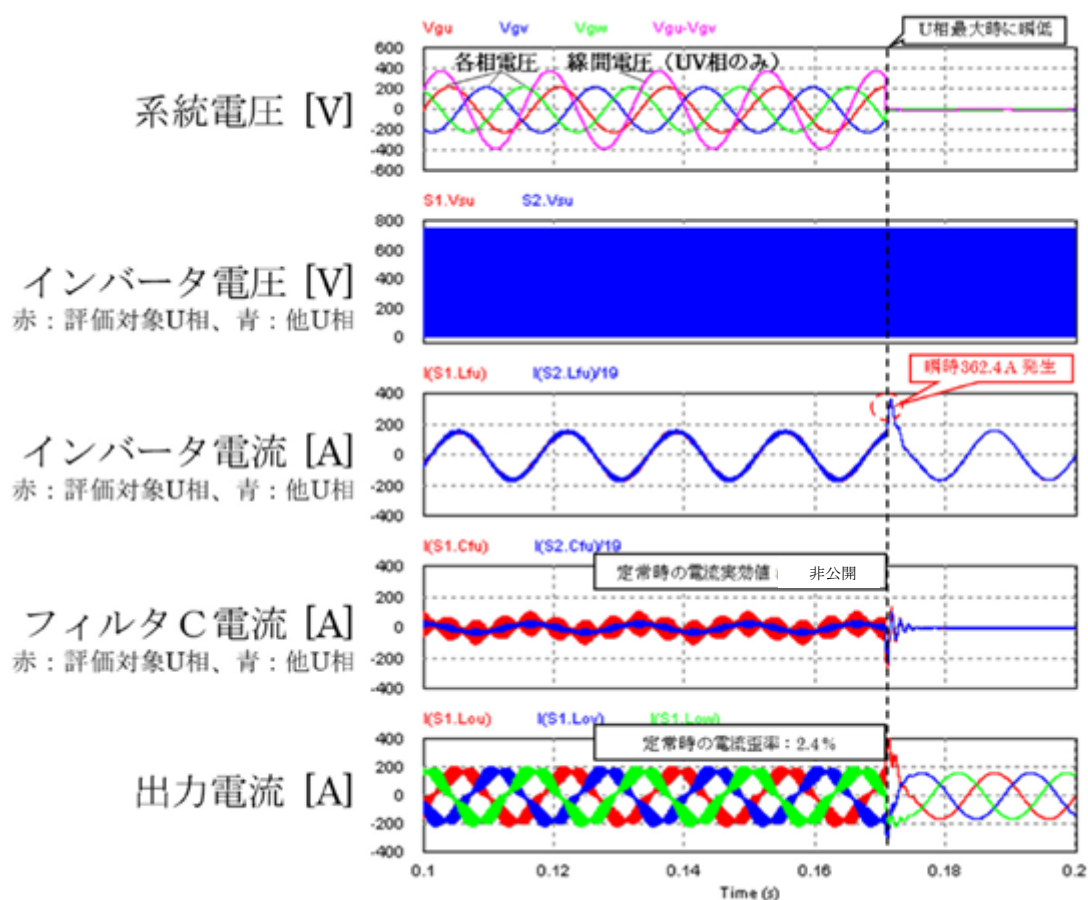


図 2.10 定格 100% の単体動作における波形特性
（系統インピーダンス無し）
定常運転中に瞬低

次に、定格 100% の 20 台並列における波形特性を図 2.11 に示す。

瞬低発生時の最大電流は過電流 250A 以下の 362.4A であることを確認（瞬低前の定常状態のフィルタ C 電流は非公開）。また、定格電流値を基準とした出力電流歪率は 2 次調波が 2.4% である。

なお、並列動作は横流によるフィルタ C 電流の増加程度確認が主目的のため、単体動作と異なり系統インピーダンスあり (10 μ H) とした。



2.4.6. RI フィルタの評価結果

LC フィルタの評価結果を表 2.10 に示す。現行の LC フィルタでは FRT 要件の基準値は全条件で満足できない見込みである。特性改善についてはスイッチング回路側 L 値の大型化、もしくは C 値の小型化等が考えられる。

表 2.10 RI フィルタ評価結果まとめ

評価構成			評価結果			
並列台数	システムインピーダンス	出力電力条件	評価対象	過渡電流： 250A 以下で○	電流歪率： 各次 3%、総合 5% 以内で○	C 電流： 部品選定に係る ため確認のみ
1 (単体)	なし	定格 50%	—	251.4 A : ×	2 次 2.0%、 総合 2.0% : ○	非公開
		定格 100%	図 2.10	329.7 A : ×	2 次 2.0%、 総合 2.0% : ○	非公開
20	あり (10 uH)	定格 50%	—	285.1 A : ×	2 次 2.3%、 総合 2.3% : ○	非公開
		定格 100%	図 2.11	362.4 A : ×	2 次 2.4%、 総合 2.4% : ○	非公開
定格 50%		—	254.9 A : ×	2 次 2.9%、 総合 2.9% : ○	非公開	
定格 100%		—	332.9 A : ×	2 次 3.1%、 総合 3.1% : ×	非公開	

2.5. 実証試験方法

2.5.1. システム基本性能確認試験

充電／放電時の各 DC ストリング及び AC ストリングの電圧、電流波形、及び上流トランス（DC ストリングは RI、AC ストリングは SU）一次側の電圧、電流波形を確認するとともに、DC／AC 合流部（分電盤一次側）の高調波、力率についても測定する。

(1)各ストリングのメモリハイコーダーによる波形測定

- ①DCストリングの放電67kW、充電67kW時、電流・電圧波形
- ②ACストリングの放電67kW、充電67kW時、電流・電圧波形

(2)各トランス一次側のメモリハイコーダーによる波形測定

- ①DCストリングの放電67kW、充電67kW時、電流・電圧波形
- ②ACストリングの放電67kW、充電67kW時、電流・電圧波形

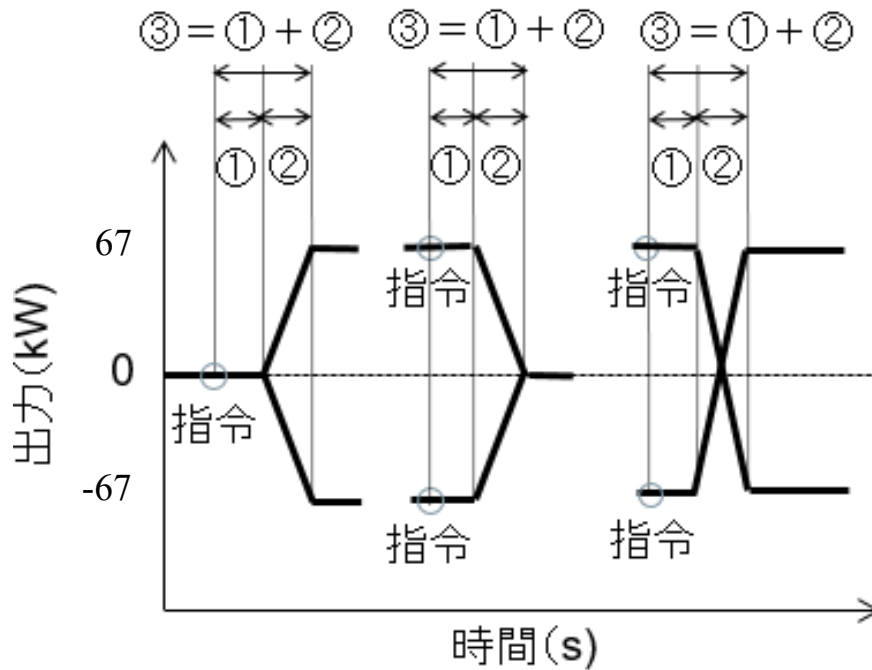
(3)合流部のパワーアナライザによる高調波・力率測定

- ①DCストリングの放電50kW、充電50kW時
- ②ACストリングの放電17kW、充電17kW時
- ③DC、ACストリング合計で放電67kW、充電67kW時

2.5.2. システム応動試験

周波数変動抑制制御として活用する場合には、電力需要の急峻な変動に対応するための瞬発性が必要であることから、蓄電システム応動速度が重要となってくる。PMU から指令値が送信され、システム出力が指令電力値に到達するまでの時間を測定することで、現状のシステムでの応動速度を把握する。図 2.12 に波形イメージ図を示す。

- ①指令値送信→立ち上がり開始
- ②立ち上がり開始→指令値到達
- ③システム応動速度 = ①+②



※グラフは正側が放電動作

図 2.12 システム応動速度波形イメージ

2.5.3. 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、リユース電池の基本性能（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。動作時間については、需給調整市場、容量市場の各要件を想定して表 2.11 の時間とした。また、図 2.13 に試験条件及び波形イメージ図を示す。

表 2.11 動作時間

<受給調整市場>		<容量市場>	
項目	継続時間	項目	継続時間
一次調整力	300 秒(5 分)	電源 I -a	39600 秒(11 時間)
二次調整力	1800 秒(30 分)	電源 I -b	57600 秒(16 時間)
三次調整力	10800 秒(3 時間)		

<試験条件>

- (1) 充電 41kW、放電 39.5kW 継続時間 $t=300$ 秒(5 分) $\times 18$ サイクル
 - (2) 充電 20kW、放電 19.8kW 継続時間 $t=1800$ 秒(30 分) $\times 5$ サイクル
 - (3) 充電 17.5kW、放電 17.3kW 継続時間 $t=10800$ 秒(3 時間) $\times 1$ サイクル
 - (4) 充電 7kW、放電 6kW 継続時間 $t=39600$ 秒(11 時間) $\times 1$ サイクル
 - (5) 充電 5kW、放電 4.3kW 継続時間 $t=57600$ 秒(16 時間) $\times 1$ サイクル
- ※1 サイクル：充電→放電の 1 往復分

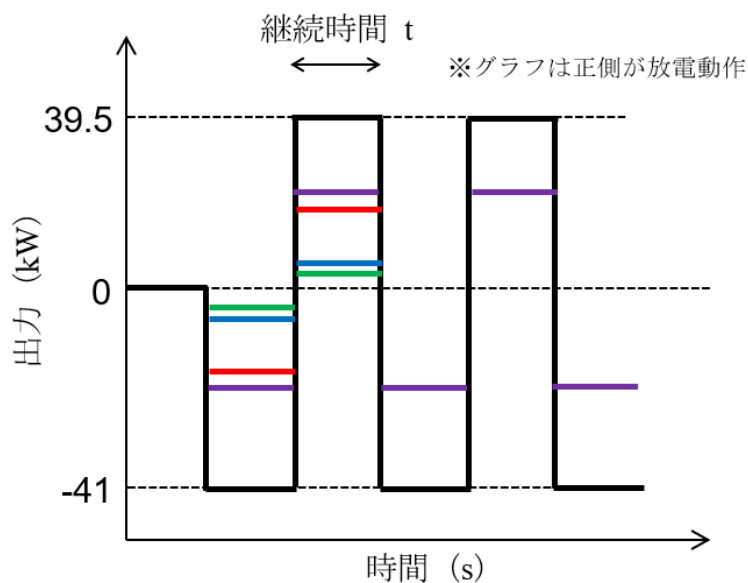


図 2.13 一定出力・一定時間の充放電試験波形イメージ

2.5.4. 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、リユース電池の基本性能（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、動作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 2.12 の時間とした。また、図 2.14 に試験条件及び波形イメージ図を示す。

<受給調整市場>		<容量市場>	
項目	継続時間	項目	継続時間
一次調整力	300 秒(5 分)	電源 I -a	39600 秒(11 時間)
二次調整力	1800 秒(30 分)		

表 2.12 動作時間

<試験条件>

- (1) 充電 50kW、放電 48kW 継続時間 $t=300$ 秒(5 分) $\times 18$ サイクル
 - (2) 充電 38kW、放電 36.7kW 継続時間 $t=1800$ 秒(30 分) $\times 5$ サイクル
 - (3) 充電 13kW、放電 11.2kW 継続時間 $t=39600$ 秒(11 時間) $\times 1$ サイクル
- ※1 サイクル：充電→放電の1往復分

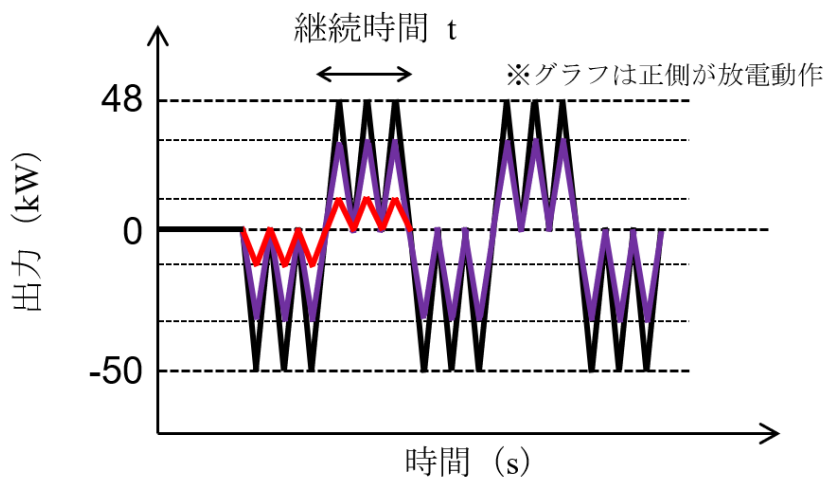


図 2.14 短周期応動試験波形イメージ

2.6. 実証試験結果

2.6.1. システム基本性能確認試験

図 2.15 の測定回路で試験を行った。試験条件は充電 67kW、放電 67kW とした。

また、DC スtringと AC スtringの出力は比例分配とした。

(電池の SOC 状態により出力が変化しないようにした。)

試験結果波形を図 2.16、図 2.17 に示し、高調波・力率測定結果を表 2.13 に示す。

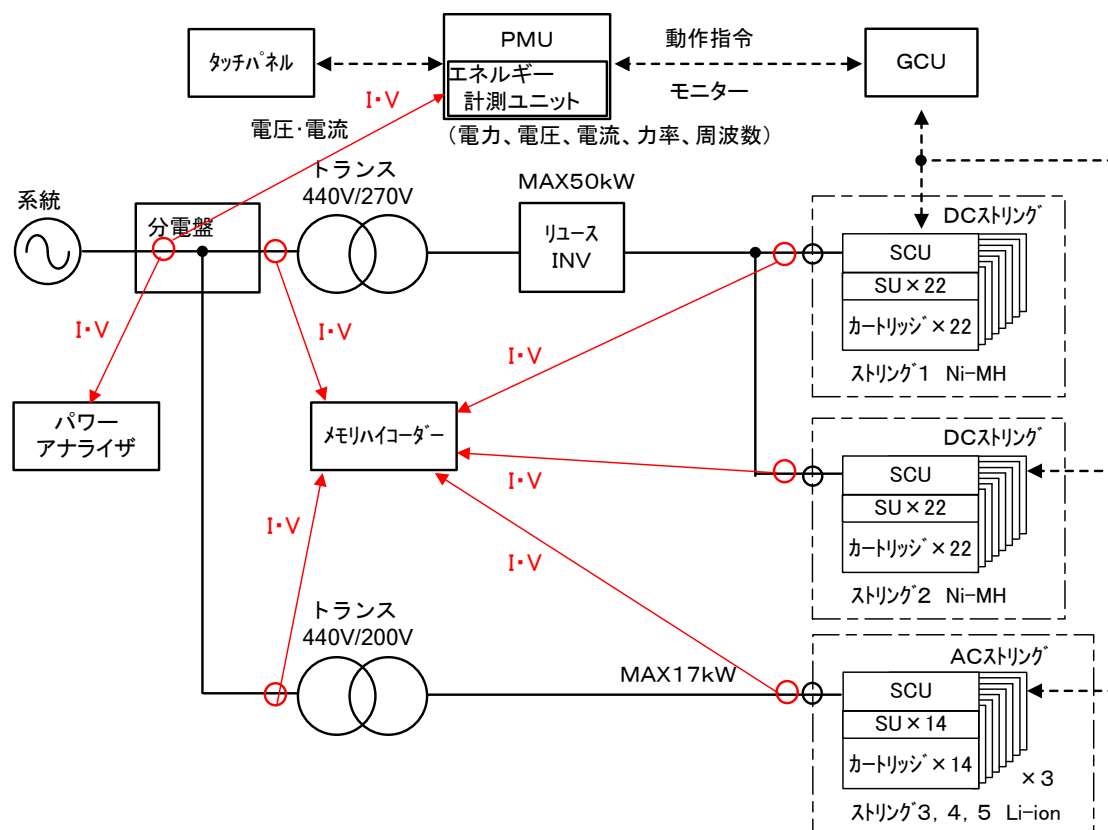


図 2.15 システム基本性能確認試験測定回路

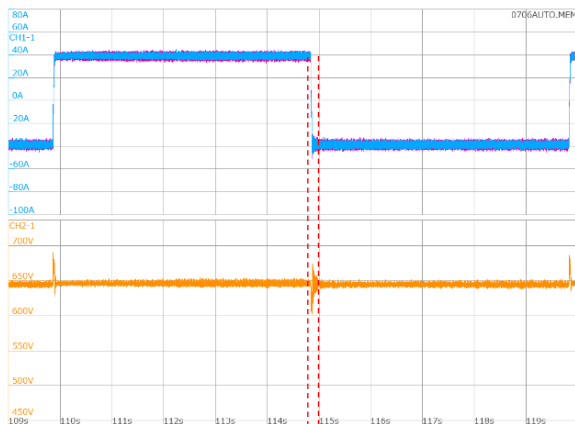
(1)放電 67kW→充電 67kW 通電時ストリング波形

図 2.16①は DC スtringの電流／電圧波形、図 2.16②は AC スtringの電流／電圧波形である。定常時の DC スtring電流は、充電／放電中とも約 40A 通電に対し 10A (P-P) 程度の振れが見られる。この影響もあるのか後述の高調波測定結果でも、DC スtring側の歪が大きい結果となっている。系統接続時に影響が出るのであれば、今後フィルター等の最適化を実施する必要がある。また、充電／放電の切り替わり時は、DC バス電圧、DC スtring電流とも 100msec 程度リングングが生じているが、応答速度の調整により、リングング軽減あるいは解消ができると思われる。

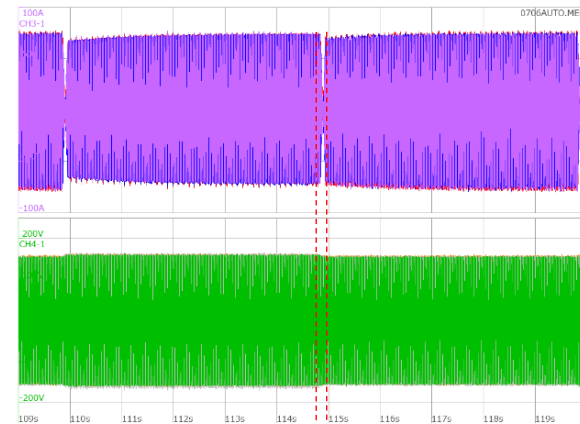
一方、AC スtringはきれいな正弦波となっており、充放電切り替わり時もスムーズな

制御が出来ている。

①DC ストリング電流(上段)/電圧(下段)



②AC ストリング電流(上段)/電圧(下段)



(充電/放電切り替わり部拡大)

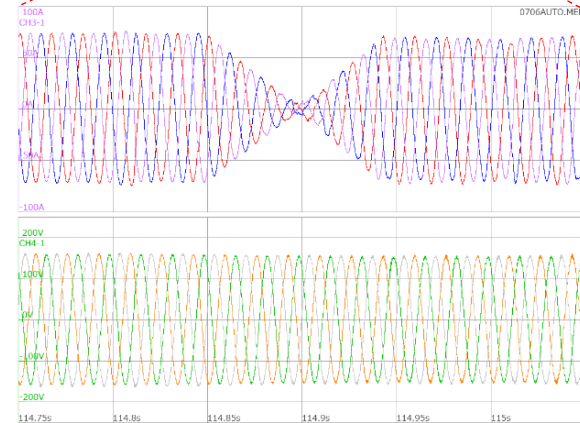
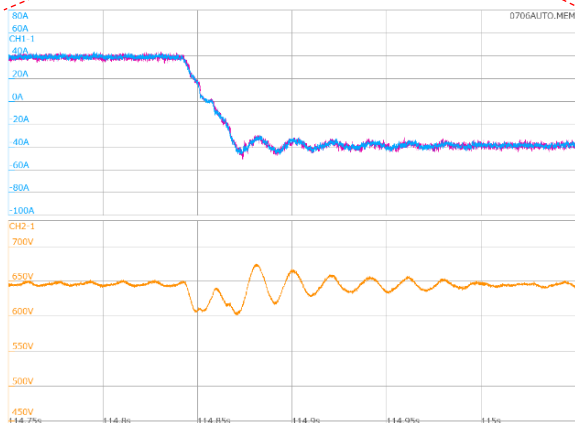
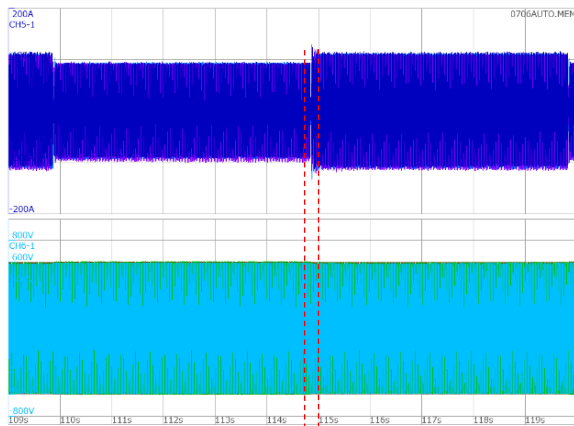


図 2.16 通電時ストリング波形

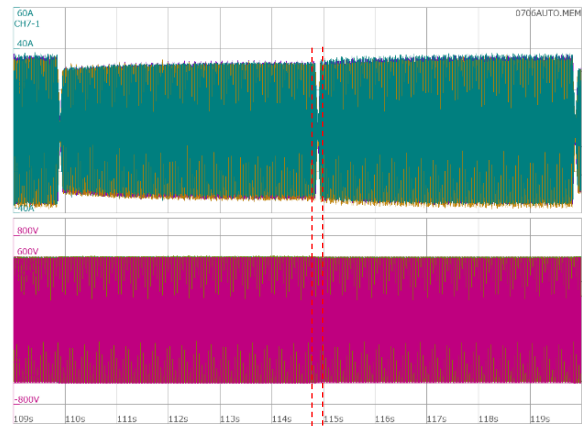
(2)放電 67kW→充電 67kW 通電時トランス一次側波形

図 2.17①は DC ストリングの RI 一次側電流/電圧波形、図 2.17②は AC ストリングの SU 一次側電流/電圧波形である。DC ストリング側は、RI にて DC/AC 変換後の交流波形においても、切り替わり時の電流リングングの影響が見られる。

①DC ストリングの RI 一次側
電流(上段)/電圧(下段)



②AC ストリングの SU 一次側
電流(上段)/電圧(下段)



(充電/放電切り替わり部拡大)

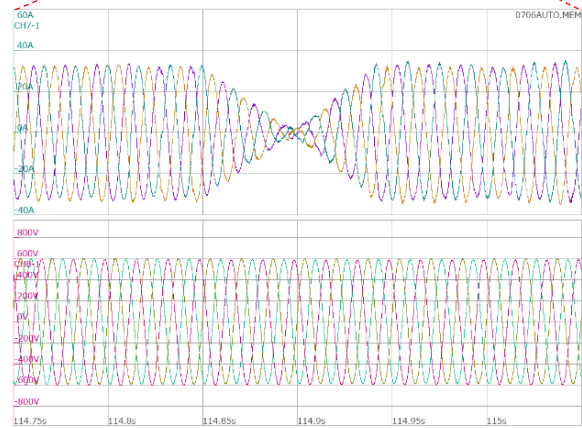
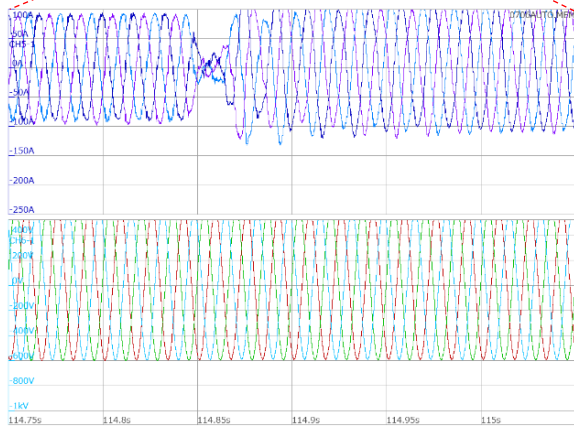


図 2.17 通電時トランス一次側波形

(3)統合部の高調波・力率測定

有効電力指令			AC ストリング		DC ストリング		AC/DC 統合	
			17kW		50kW		67kW	
			充電	放電	充電	放電	充電	放電
高調波 含有率 (%)	電流	U	3.53	2.56	4.94	5.74	4.10	4.34
		V	3.08	2.32	4.36	5.49	3.94	4.41
		W	3.07	2.53	3.76	3.83	2.68	3.27
	電圧	U-V	1.08	1.16	1.25	1.22	1.22	1.27
		V-W	1.00	1.05	1.13	1.07	1.03	1.15
		W-U	0.81	0.92	1.06	0.89	0.97	0.94
力率 (%)			99.60	99.07	99.89	99.69	99.91	99.77

表 2.13 高調波・力率測定結果

AC ストリングと比べて DC ストリング側の高調波が大きい結果が得られた。DC ストリングの電流波形に振れ（リップル）が見られるため、この影響の可能性が考えられる。AC /DC ストリングを統合した状態では高調波は5%以内に収まっているため、実システム導入時は、系統への影響有無を判断し、必要に応じフィルターの最適化を図り高調波低減を図る。

有効電力の指令のみ与えているため、AC、DC ストリングとも力率は99%以上となり、良好な制御が成されていることが確認できた。

2.6.2. システム応動試験

図 2.18 の測定回路で試験を行った。試験条件は(1)停止→充電、(2)充電→停止、(3)停止→放電、(4)放電→停止、(5)充電→放電、(6)放電→充電の 6 パターンとした。試験は各 5 回ずつ実施し、試験結果の最大値と最小値を表 2.14 に示す。

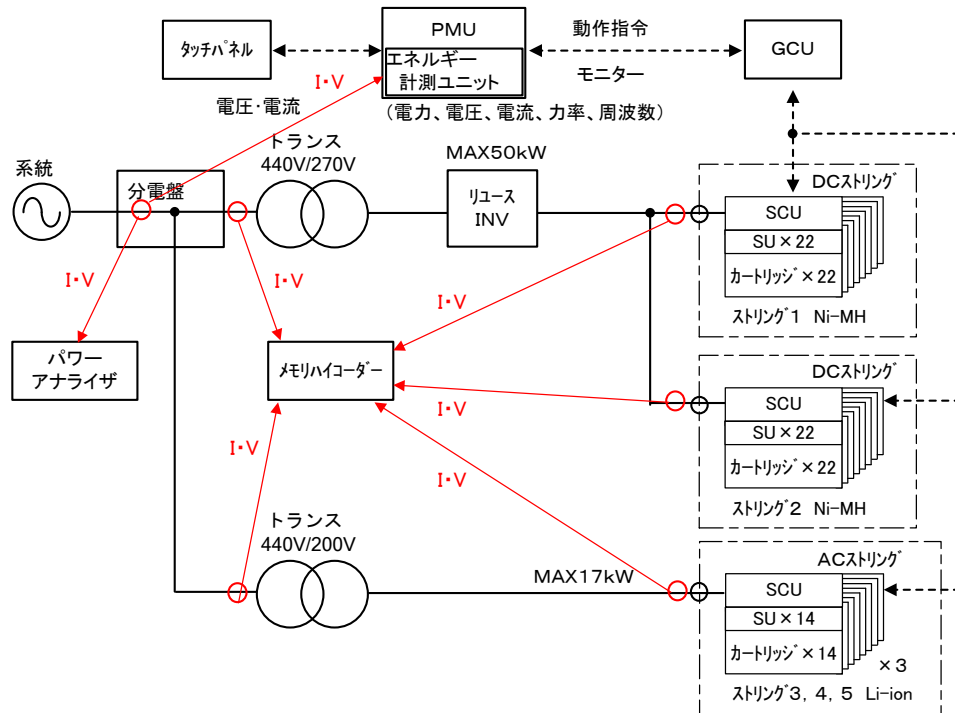


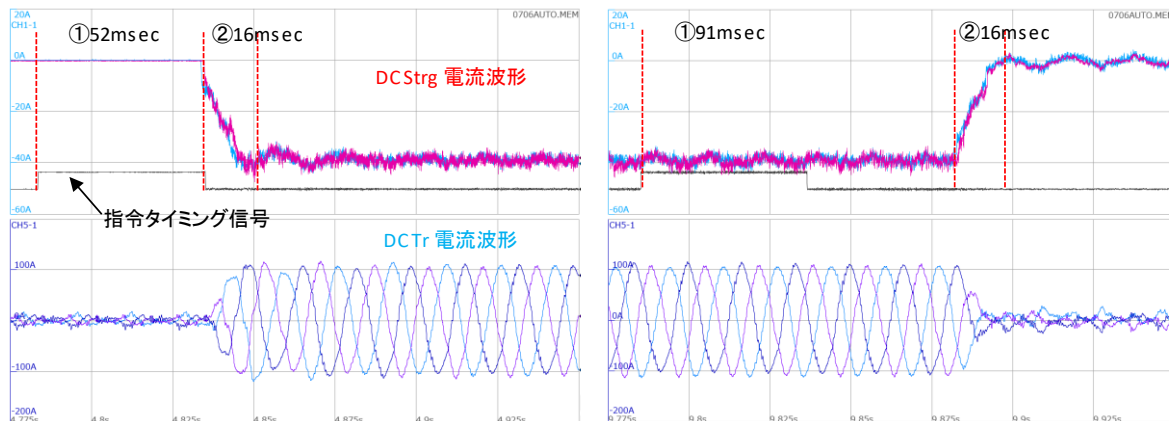
図 2.18 システム応動試験測定回路

表 2.14 システム応動試験結果一覧

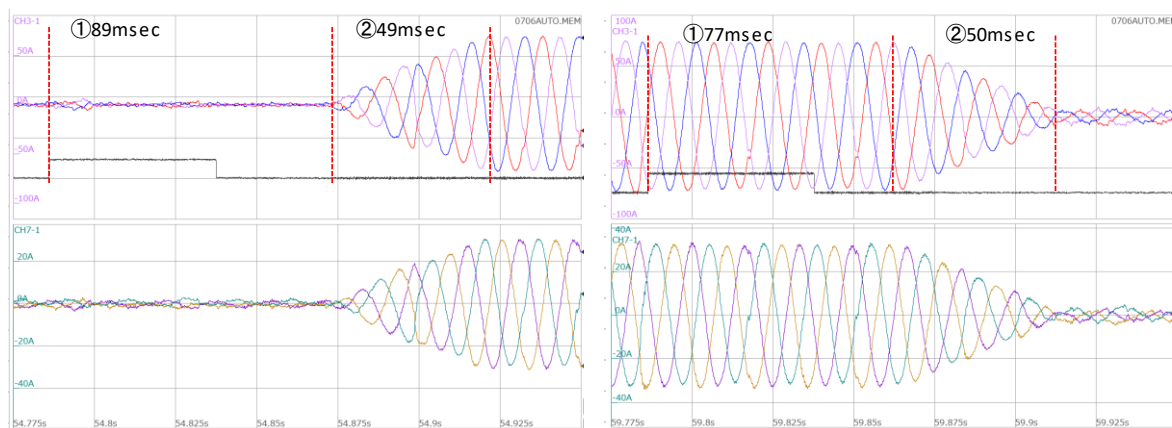
条 件	ストリング	①指令～立上り開始時間[msec]	②応動時間[msec]	③応動総時間[msec]
(1) 停止→充電	DC	52 ~ 112	16 ~ 16	68 ~ 128
	AC	41 ~ 112	51 ~ 54	92 ~ 163
(2) 充電→停止	DC	48 ~ 92	15 ~ 16	64 ~ 108
	AC	47 ~ 103	48 ~ 52	96 ~ 154
(3) 停止→放電	DC	81 ~ 120	16 ~ 17	97 ~ 137
	AC	81 ~ 122	49 ~ 52	131 ~ 172
(4) 放電→停止	DC	73 ~ 121	15 ~ 16	88 ~ 137
	AC	70 ~ 119	48 ~ 53	120 ~ 167
(5) 充電→放電	DC	39 ~ 76	32 ~ 39	71 ~ 108
	AC	39 ~ 73	95 ~ 104	135 ~ 177
(6) 放電→充電	DC	40 ~ 87	28 ~ 30	70 ~ 117
	AC	38 ~ 89	96 ~ 105	135 ~ 191

試験結果よりシステム応動総時間は全て 200msec 以下であることが確認できた。図 2.19 に応動波形の一例を示す。1.3.1 項でも述べたように、DC ストリングにリンギングが見られるため、応動時間の長い AC ストリング側に合わせて応動時間を調整することにより、リンギングを軽減できると考えられる。

① DC スtring 充電立ち上がり／立ち下がり波形



② AC String 放電立ち上がり／立ち下がり波形



③ DC String 充放電切り替え波形

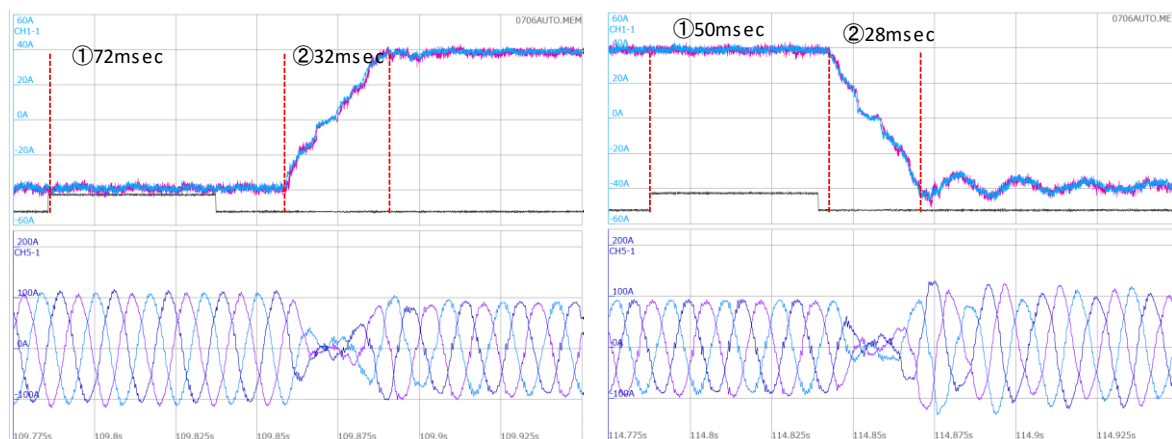


図 2.19 システム応動試験 測定波形

2.6.3. 一定出力・一定時間の充放電試験

図 2.20 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。なお、(1)300s の充放電試験については 50kW にて容量上問題ないものの、Ni-MH 電池の温度が充放電に伴い上昇し制限値の 50℃を超過する可能性があるため、充電 41kW、放電 39.5kW とした。

試験条件(1)：充電 41kW 放電 39.5kW

試験条件(2)：充電 20kW 放電 19.8kW

試験条件(3)：充電 17.5kW 放電 17.3kW

試験条件(4)：充電 7kW 放電 6kW

試験条件(5)：充電 5kW 放電 4.3kW

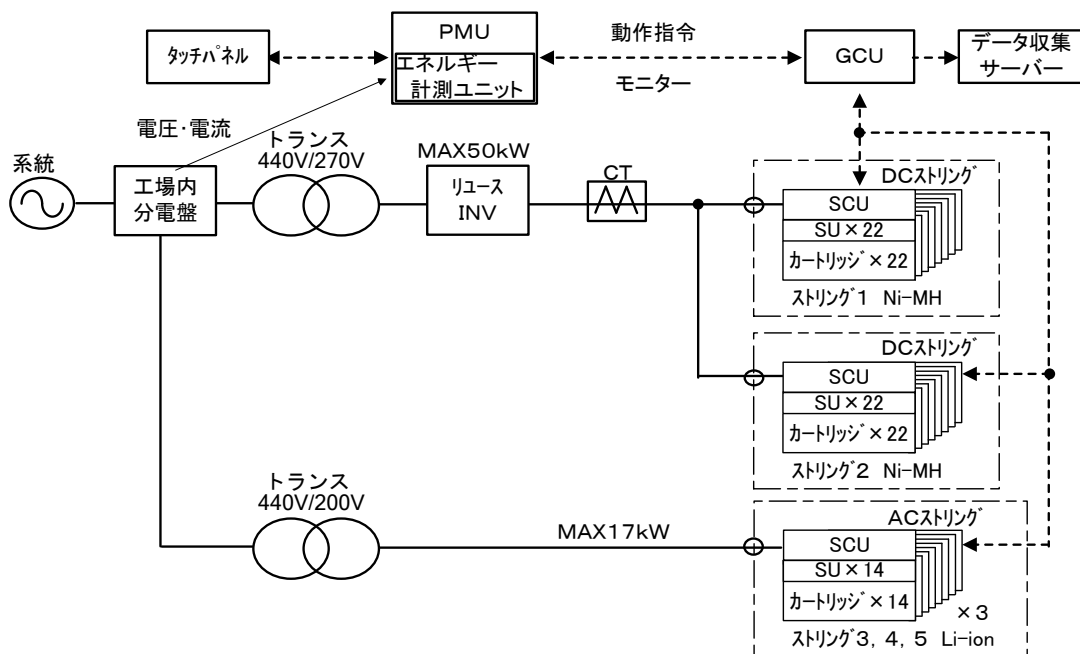


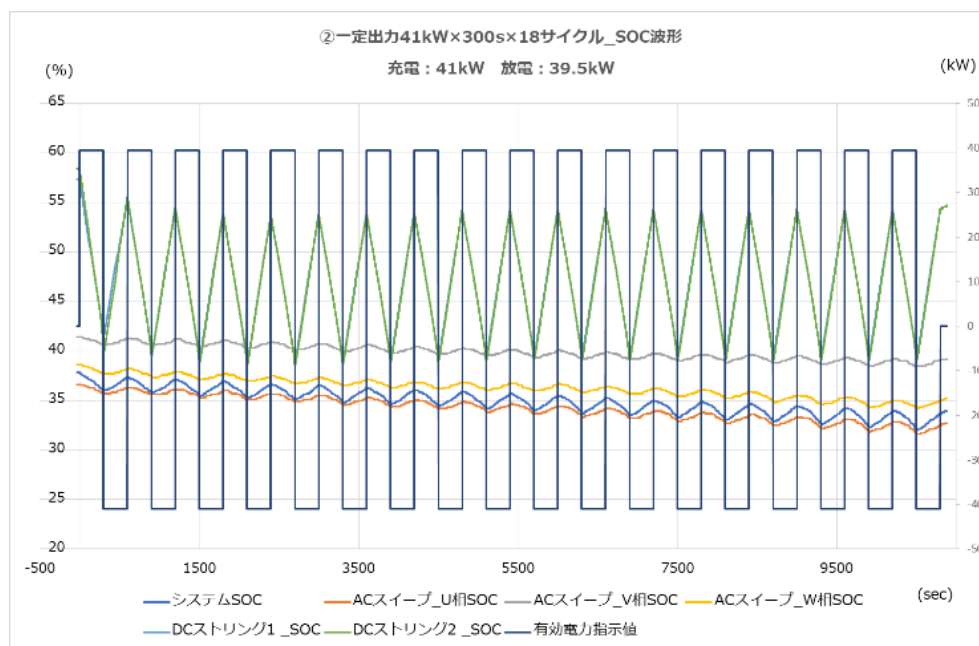
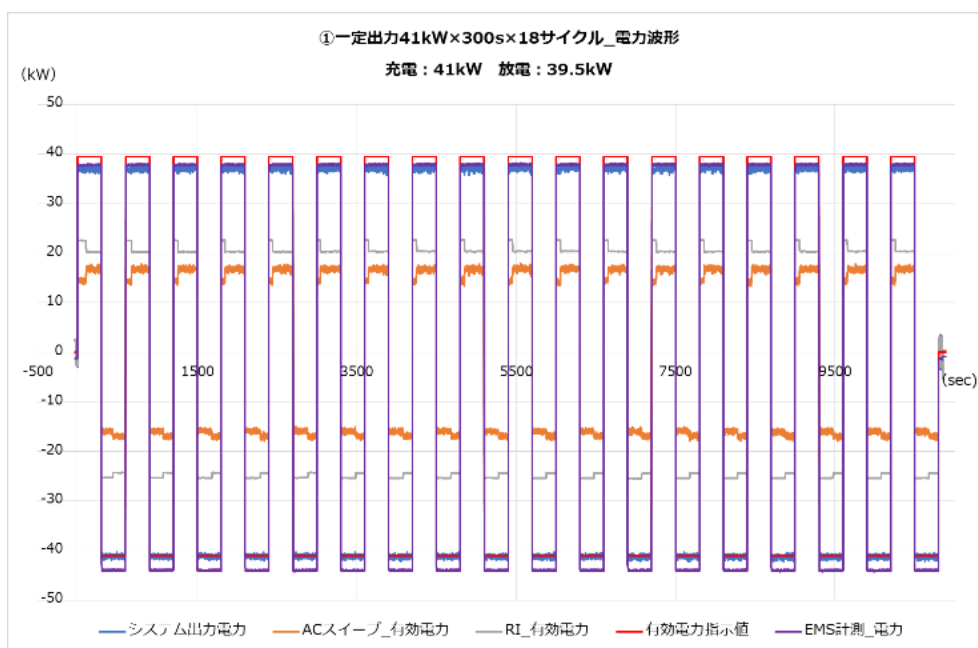
図 2.20 一定出力・一定時間の充放電試験測定回路

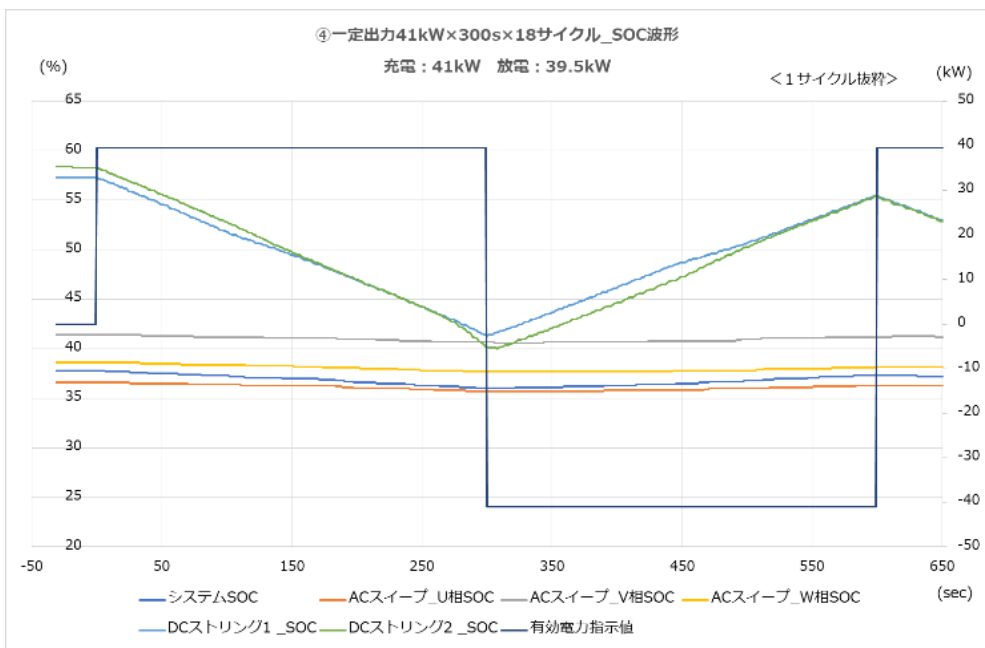
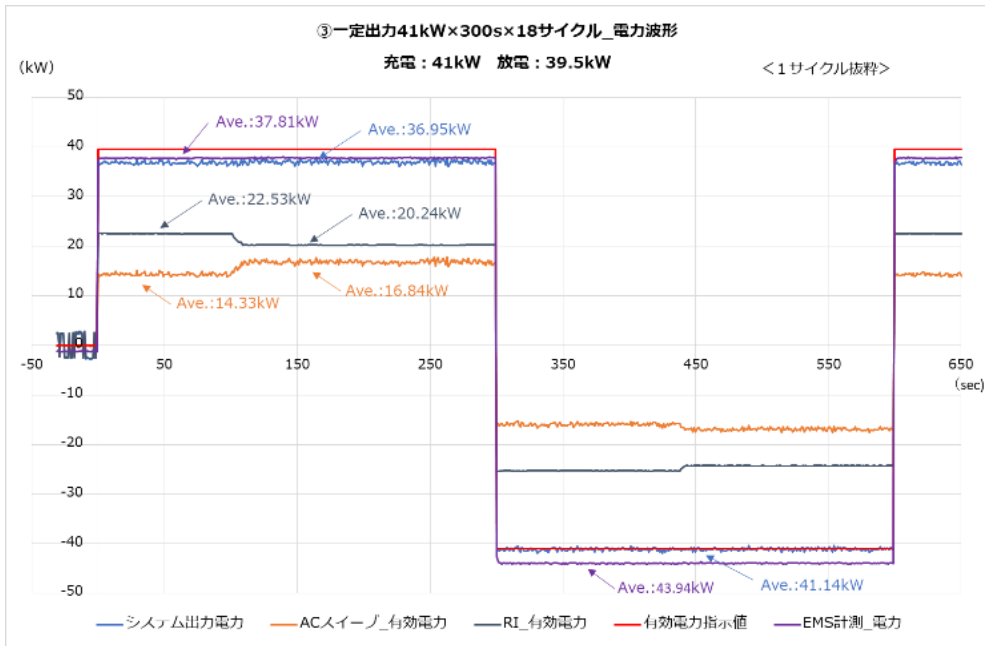
(1)試験条件(1)結果

図 2.21 に 300s×18 サイクルの試験結果を示す。図 2.21①は動作時間に対する出力電力、図 2.21②は各ストリングの 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。DC ストリング SOC が 40～60%の範囲内で動作しているため、容量的にはもう少し出力を供出可能ではあるが、電池温度が上昇傾向にあるため出力を上げるには冷却装置が必要と考えられる。また、SOC の変動に関しては、300s×18 サイクルで約 4%減少しているが、充放電を継続するためには、放電電力をもう少し下げる必要がある。

図 2.21③④は 1 サイクル目を抜粋した図で、DC スtringの SOC が 50%付近まで優先的に放電し、その後は AC String側の定格値 17kW で放電していることから、DC Stringが SOC50%保持を優先させる制御を行っていることが判る。

図 2.21⑤は各Stringの最大電池温度で、DC Stringは 45℃付近まで暖機運転後に試験を実施しており、充電時に温度上昇し放電時にやや下降していることが判る。また、18 サイクルで最大電池温度上昇は約 4℃で、今回の設定条件において温度上昇は飽和しなかったことが判る。





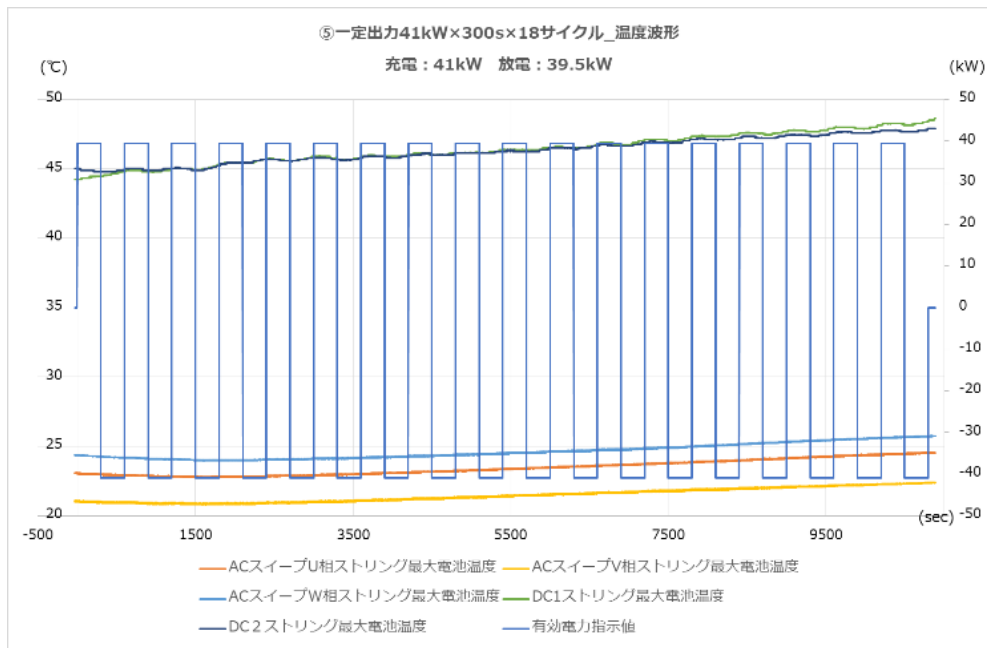


図 2.22 試験条件(1)測定波形（出力電力、SOC、温度）

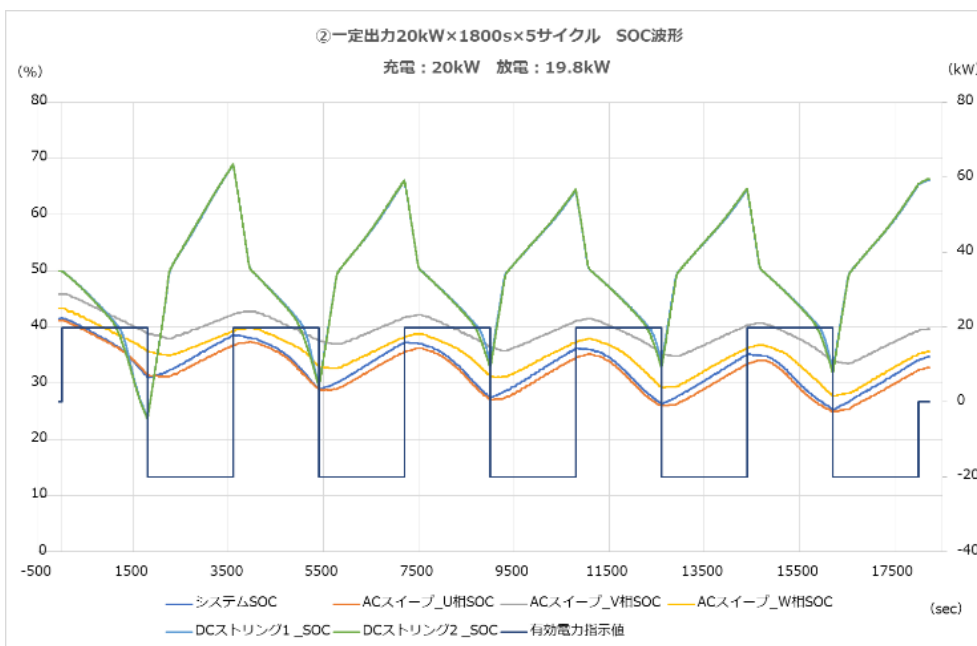
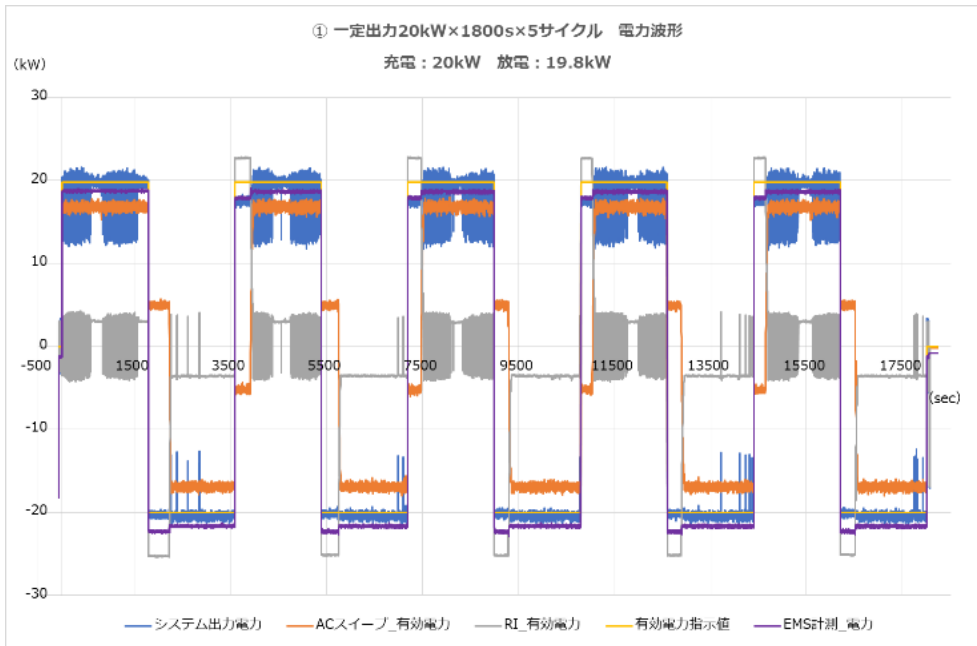
(2)試験条件(2)結果

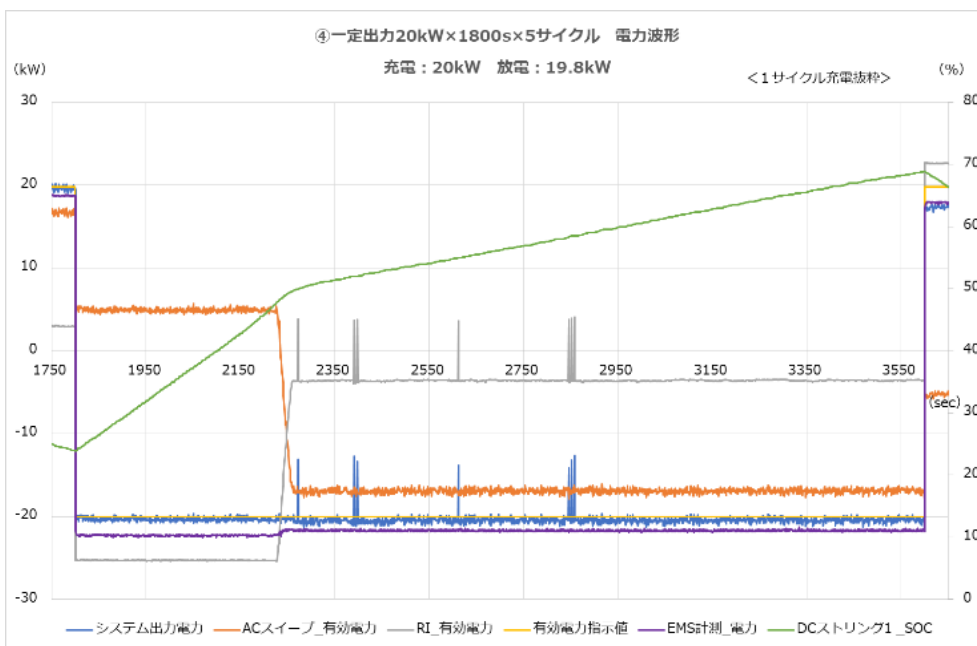
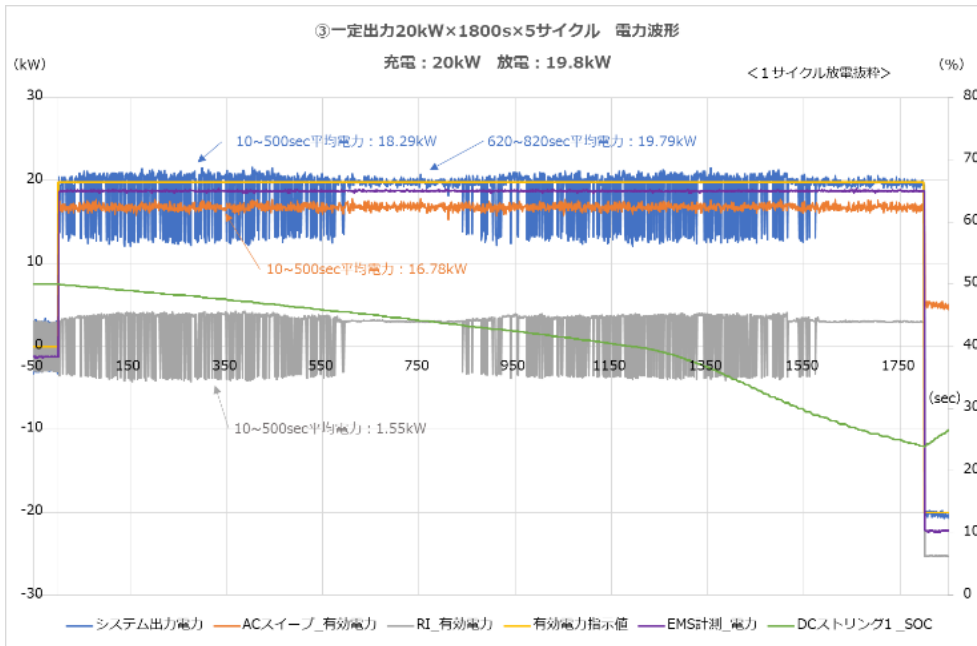
図 2.22 に 1800s×5 サイクルの試験結果を示す。図 2.22①は動作時間に対する出力電力、図2.22②は各ストリングの SOC 波形で、この結果から 1800s×5 サイクルの間、本設定電力値で充放電の繰り返しが可能であることが確認できた。SOC の変動に関しては、300s×18 サイクルで約 7.5%減少しているため、充放電を継続するためには、放電電力をもう少し下げる必要がある。

RI の出力が正負に振れているが、分電盤で PMU が計測している EMS 計測値は大きく振れることもなく正常な数値を示していることから、実際には RI 平均出力は 3kW 付近で制御されていると推察される。振れの原因は、DC ストリングは定電圧 (DC650V) 制御を行っているが、出力が小さい時には BUS 電圧の振れが大きい傾向にあり、その振れを検知して制御する電流の方向が 0A を跨いだ動作となっていることによるものと考えられる。

図 2.22③④は 1 サイクル目を抜粋した図で、図④では DC ストリング SOC が 50%付近までは RI が多めに放電し、逆に交流スィープは充電指令にも関わらず放電出力で動作している。その後交流スィープは Max 値で放電し、DC ストリング SOC の変動を抑制する制御を行っていることが判る。

図 2.22⑤は各ストリングの最大電池温度で、DC ストリングは充電時に上昇し放電時に下降する傾向にあることが判る。出力が小さいため 5 時間の試験で温度上昇幅は 2~3°Cであった。





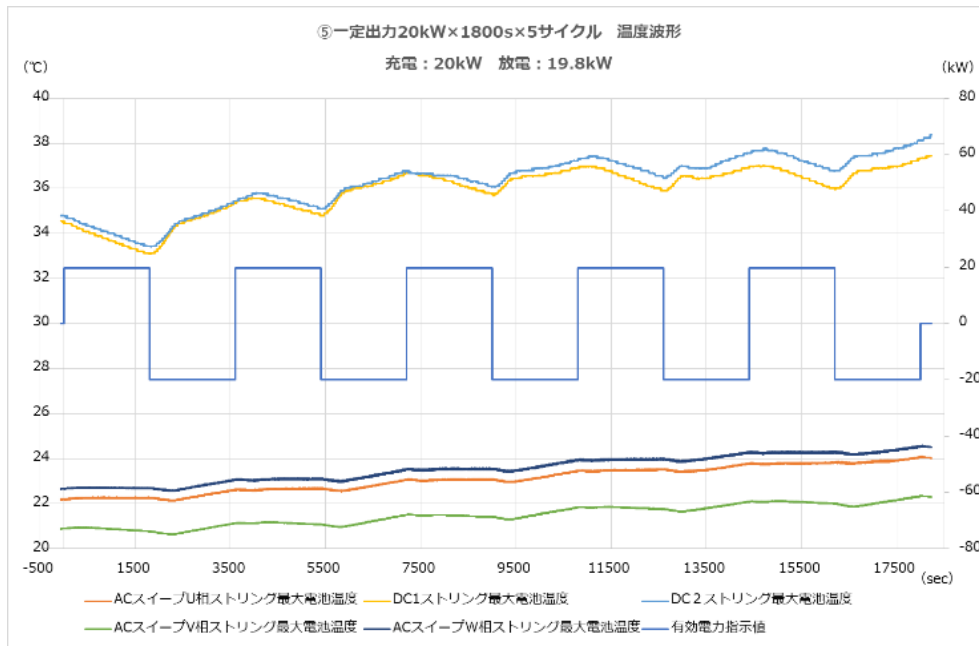


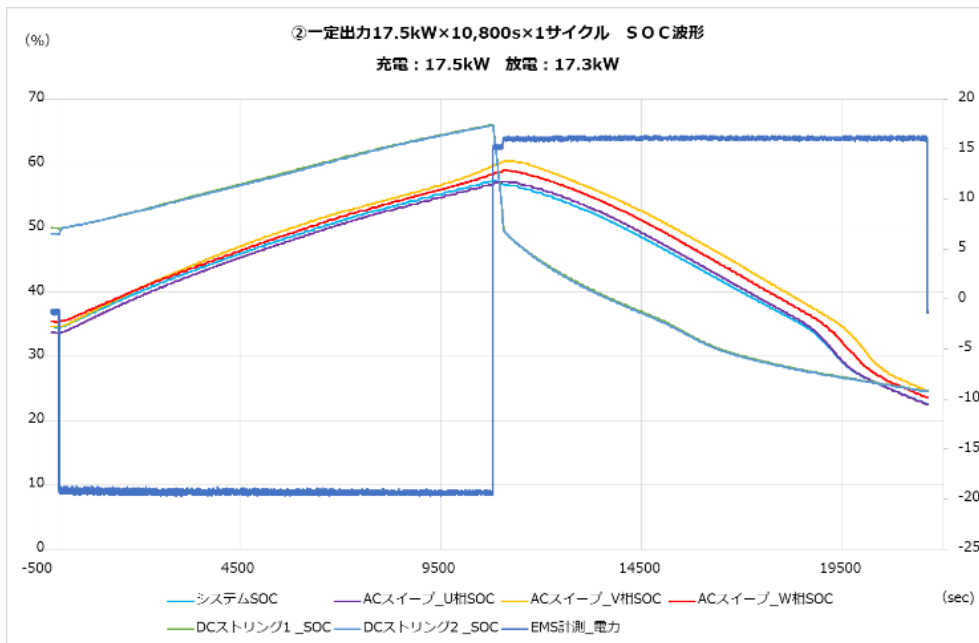
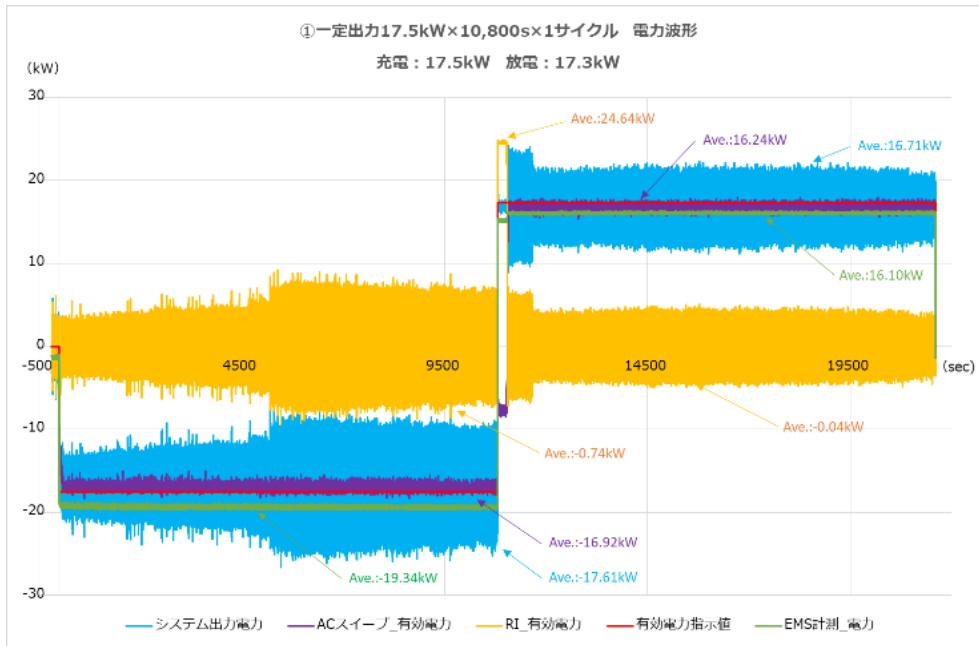
図 2.22 試験条件(2)測定波形（出力電力、SOC、温度）

(3)試験条件(3)結果

図 2.23 に 10800s(3h)×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.23①は動作時間に対する出力電力、図 2.23②は各ストリングの 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 の変動に関しては、1 サイクルで約 12%減少しているため、この出力値帯で充放電を継続するためには、放電電力をもう少し下げることが必要である。

17.5kW 充電指令に対し、交流スィープが約 17kW 出力しているため、RI 出力は 0.5kW と小さい。そのため上述の(2)と同様の要因で電力波形がハンチングしている。電流・電圧モニタのリプル低減、Ni-MH 電池不使用時における 0kW 保持指令の設定等、今後運用性改善が必要である。

図 2.23③は各ストリングの最大電池温度で、AC ストリングは 3 時間充電で約 5°C 上昇し、逆に放電で約 2°C 下降した。DC ストリングは出力が小さいため温度変化は 2°C 程度であった。



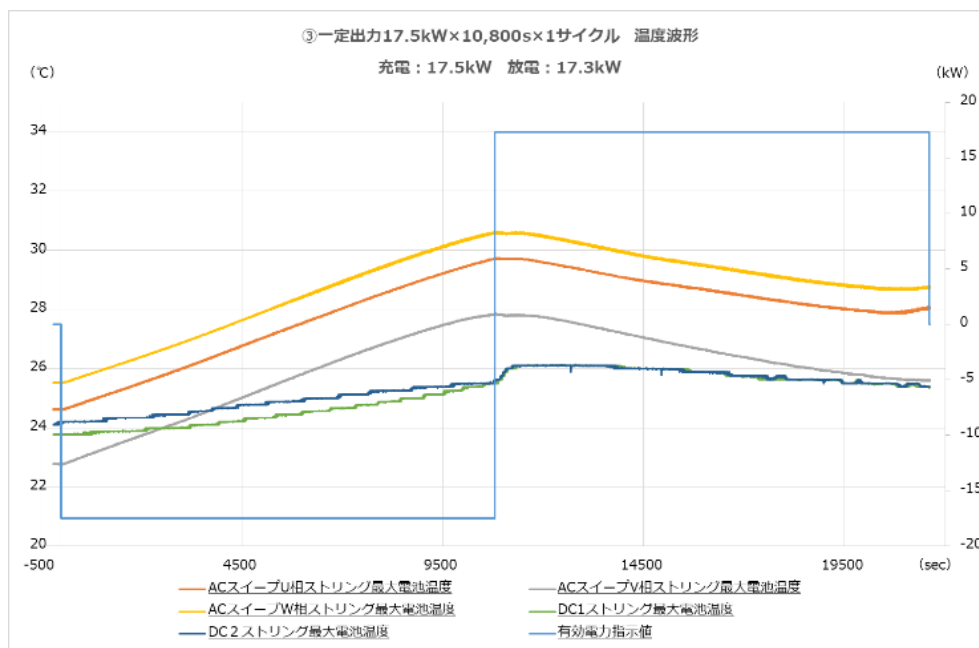


図 2.23 試験条件(3)測定波形（出力電力、SOC、温度）

(4)試験条件(4)結果

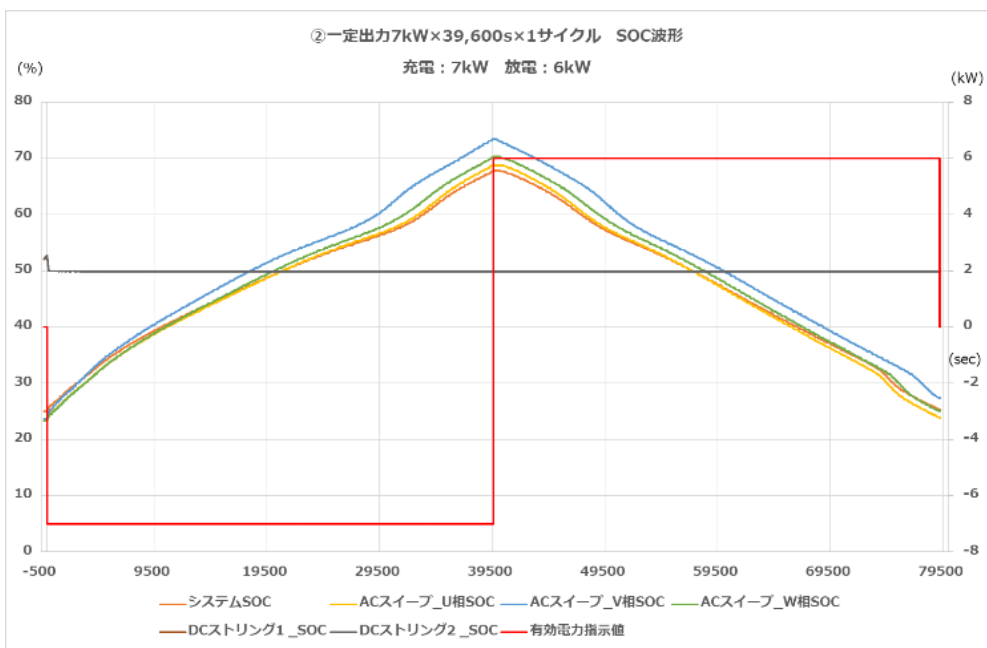
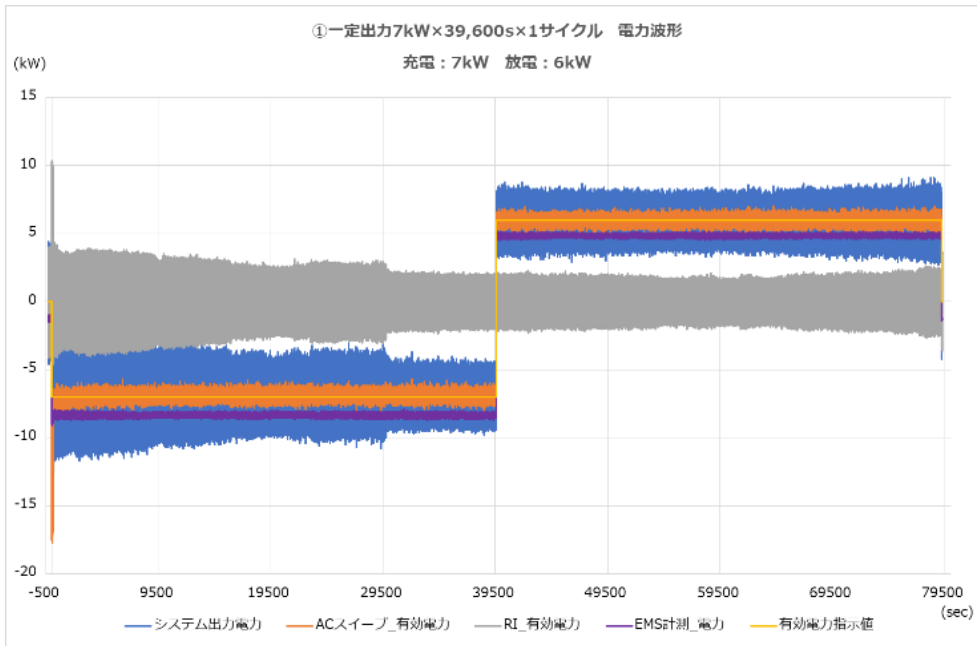
図 2.24 に 39600s(11h)×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.24①は動作時間に対する出力電力、図 2.24②は各ストリングの SOC 波形で、この結果から 39600s×1 サイクルの間、本設定電力値での充放電が可能であることが確認できた。

図 2.24③は充電開始時抜粋の電力波形で、開始後 170sec で DC ストリング SOC が 50%到達以降は、交流スイープのみ動作している。（RI は 0 出力制御状態）

AC ストリング SOC が 25~74%間で推移しているため、11 時間連続動作させるためには充電 7kW/放電 6kW 程度が上限であることが判る。

三相の AC ストリング SOC 合わせて充電開始しているが、V 相が最も早く SOC70%に到達しており、充電可能電力量が最も小さくなっている。三相の中で最も電池容量が低いストリング、或いは最も充放電効率が悪いストリングに律速されるため、中古電池使用时には出来るだけストリング特性を合わせる必要がある。

本試験においても、RI の 0kW 制御時の電力モニター値の振れが大きいため、Ni-MH 電池不使用時における 0kW 保持指令の設定等、今後運用性改善が必要である。



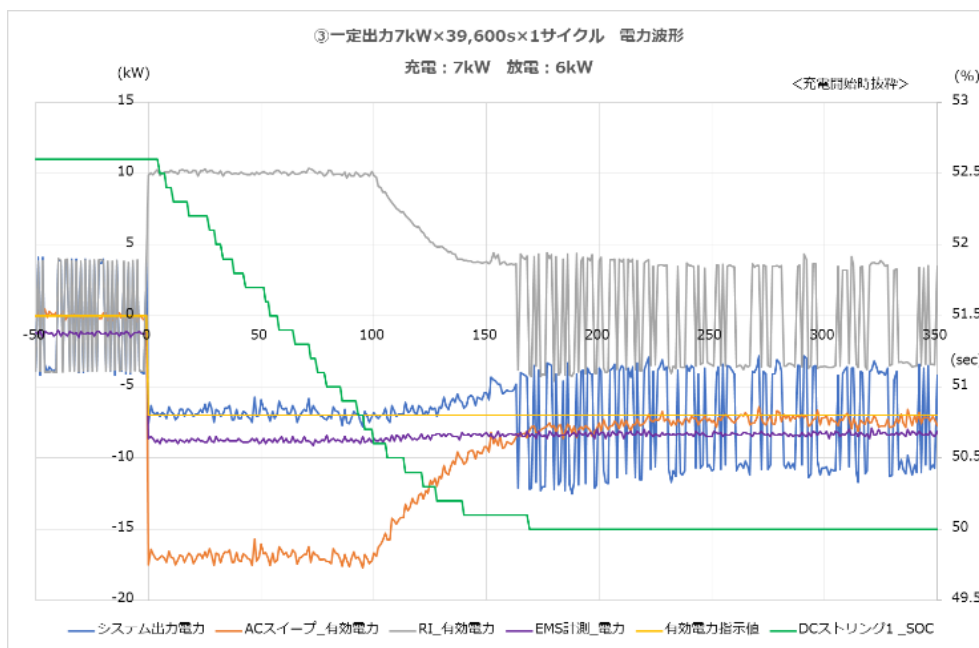


図 2.24 試験条件(4)測定波形（出力電力、SOC）

(5)試験条件(5)結果

図 2.25 に 57600s(16h)×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.25①は動作時間に対する出力電力、図 2.25②は各ストリングの 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、出力が小さいため交流スイープのみの動作となっているため、DC ストリング SOC は 50%を維持したままである。

AC ストリング SOC が 22~74%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 5kW/放電 4.3kW 程度が上限であることが判る。

本試験においても、RI の 0kW 制御時の電力モニター値の振れが大きいため、Ni-MH 電池不使用時における 0kW 保持指令の設定等、今後運用性改善が必要である。

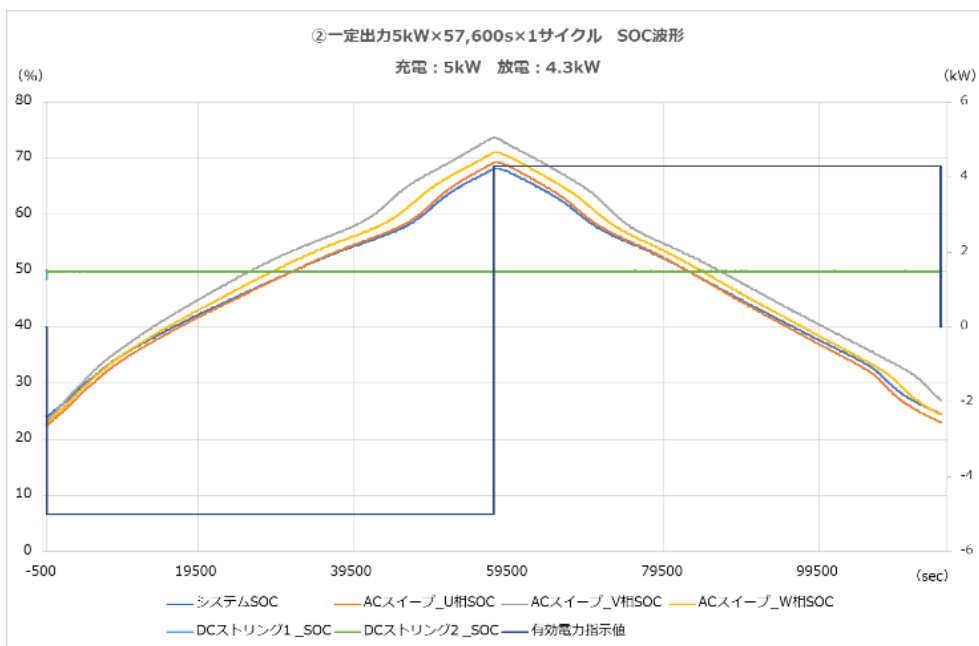
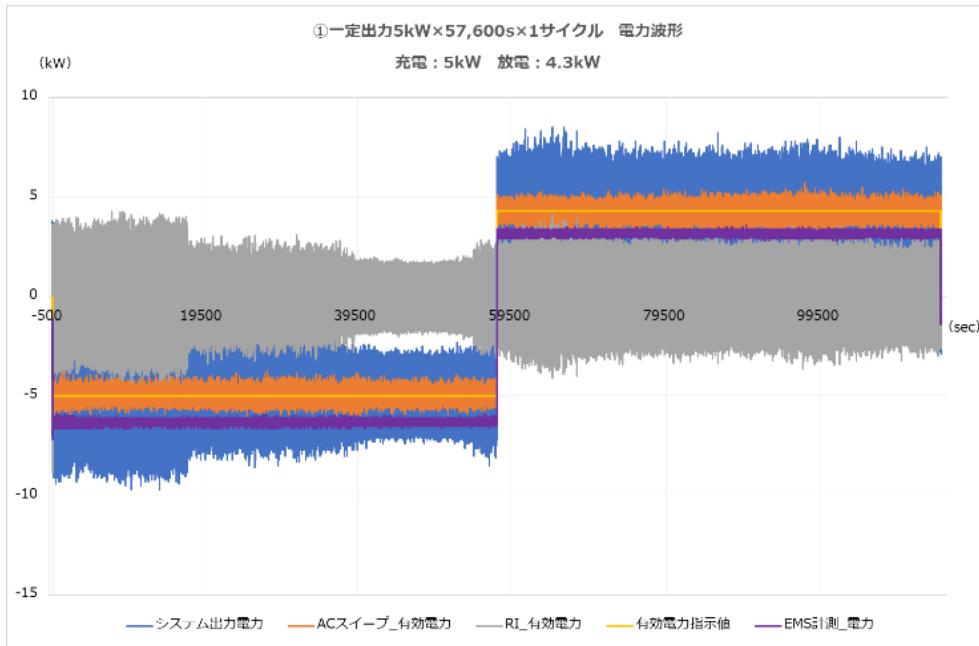


図 2.25 試験条件(5)測定波形 (出力電力、SOC)

(6)試験条件(1)～(5)結果まとめ

一定出力・一定時間試験全 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(1)においては、電池容量的にはもう少し充放電電力を上げて、規定時間動作が可能であるが、繰り返し試験で温度上昇傾向にあり、本試験時間内では飽和していない

め、電力アップは電池温度に注視しながら行う必要がある。試験条件(2)～(5)においては、設定した電力値が規定時間動作には妥当な値であった。但し、SOC が減少傾向の試験もあることから、充放電電力設定には改善の余地がある。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、交流スイープ・RI の出力値を最適に制御していくことが課題である。

また、低出力時に電力の振れが大きくなっており、安定した出力電力を供給するために電圧・電流検出時のフィルタリングや出力リップル抑制のためのフィルターの最適化も課題である。

電池カートリッジの容量・特性バラツキに関しては、スイープ制御により各ストリング内でのバラツキ吸収制御が行われているが、交流スイープについては、三相各ストリングの特性を合わせておかなければ、一番特性の悪いストリングに律速するため、電池能力をフルに活用できなくなるため、電池カートリッジ構成時に考慮する必要がある。

本試験においても、RI の 0kW 制御時の電力モニター値の振れが大きいため、Ni-MH 電池不使用时における 0kW 保持指令の設定等、今後運用性改善が必要である。

試験条件(3)～(5)のように、RI の 0kW 制御時の電力モニター値の振れが大きいため、Ni-MH 電池不使用时における 0kW 保持指令の設定等、今後運用性改善が必要である。

2.6.4. 短周期応動試験

図 2.26 の測定回路で試験を行った。事前試験で連続通電可能な試験時間の目安を付け、充放電電力条件は、(1)300s においては充電動作出力 50kW、放電動作出力 48kW とした。同様に(2)、(3)においても下記条件にて試験を実施した。

試験条件(1)：充電 50kW 放電 48kW

試験条件(2)：充電 38kW 放電 36.7kW

試験条件(3)：充電 13kW 放電 11.2kW

出力→休止の切り替え時間について、2.5.2 システム応動試験の結果から出力は 1 秒以内の切り替えが可能であるが、データ収集装置の測定周期が 1 秒であることから、短周期の間隔を 1 秒とすると測定タイミングによってはデータが取得できない可能性がある。そのため、短周期の間隔は出力 2 秒⇔休止 2 秒とした。

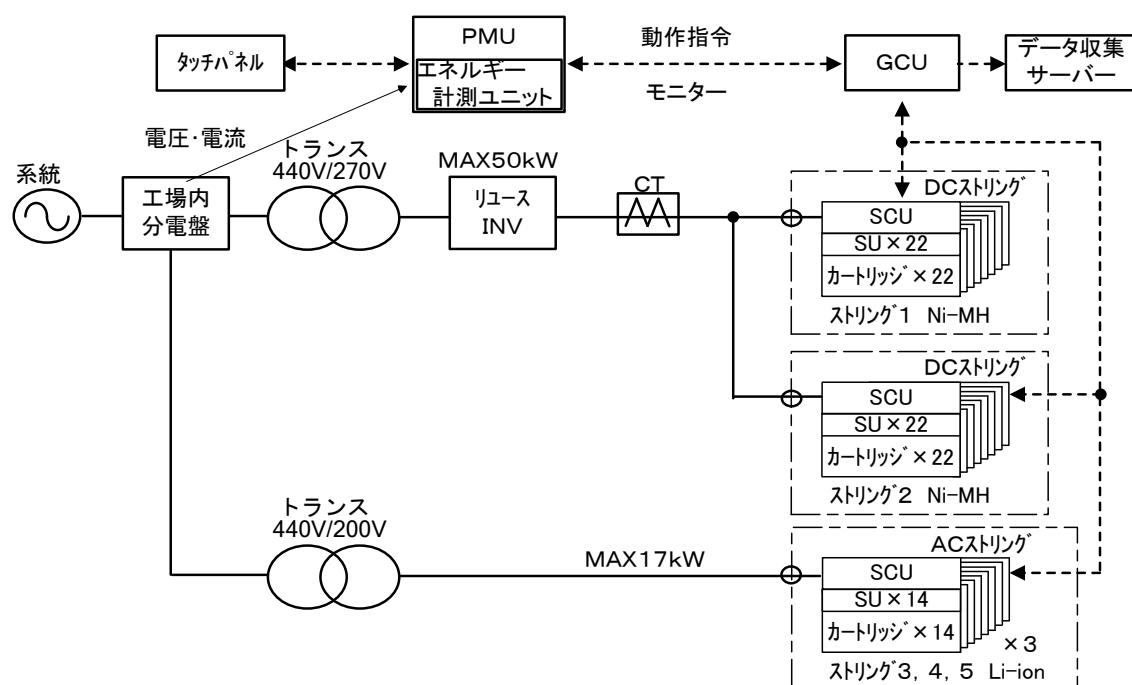


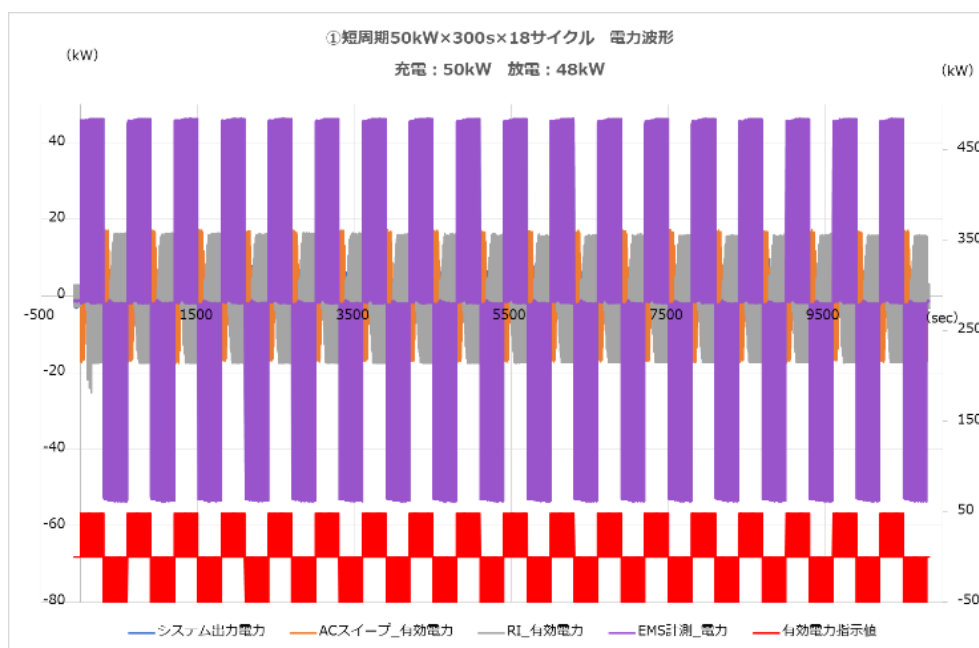
図 2.26 短周期応動試験測定回路

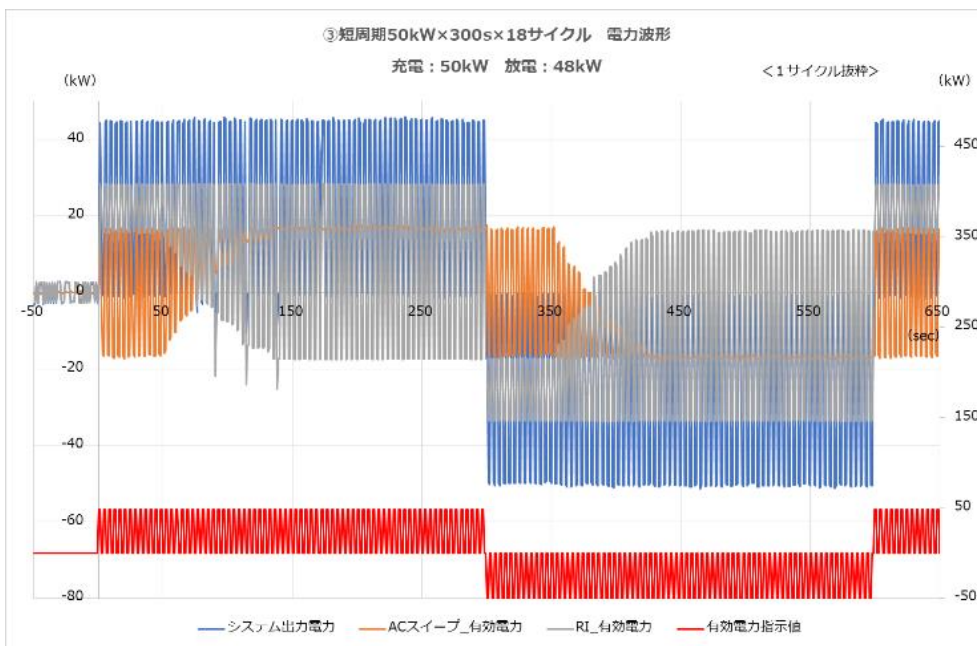
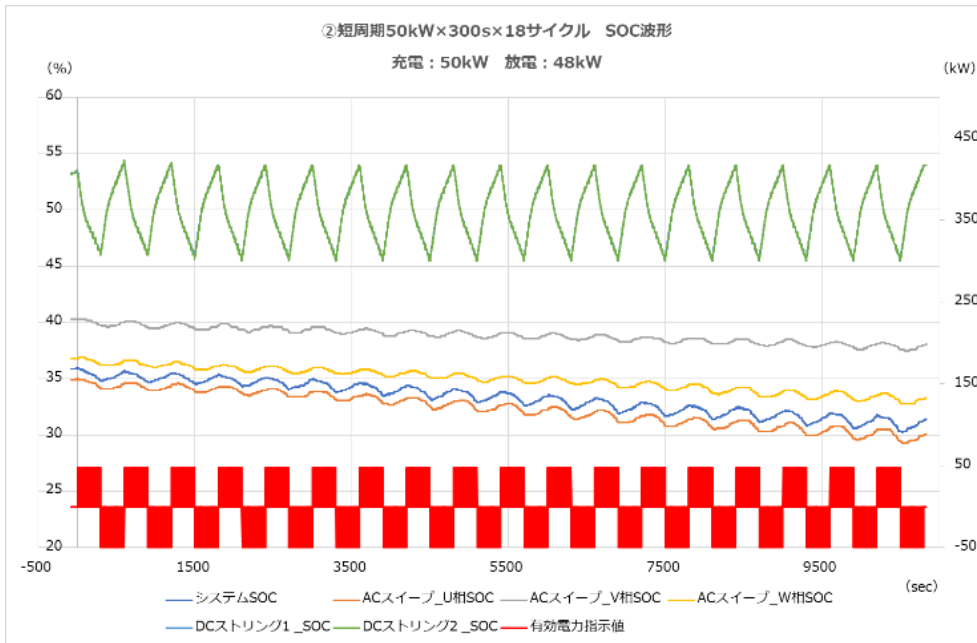
(1)試験条件(1)結果

図 2.27 に短周期(2s 間隔)300s×18 サイクルの試験結果を示す。図 2.27①は動作時間に対する出力電力、図 2.27②は各ストリングの 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。DC ストリング SOC が 45~54%の範囲内で動作しているため、あと数 kW 大きな電力指令であっても電池容量的には動作可能と考える。システム 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 2.27③は 1 サイクル目を抜粋した電力波形で、DC ストリング SOC に応じて交流スイープと RI の出力が推移していることが判る。図 2.27④は各ストリングの最大電池温度で、AC・DC ストリングとも、休止⇄充電、休止⇄放電の繰り返し試験では殆ど温度変化が発生しないことが判った。

本試験開始の時点で、AC ストリング各相の SOC に 5% 程度の差が発生している。交流スイープ制御は各ストリング同じ電力の出し入れを行うため、充放電を繰り返していく内に各ストリングの特性差に応じて SOC にもばらつきが発生する。実運用時には各相 SOC 偏差を監視し、容量調整等を行う機能が必要となってくると思われる。





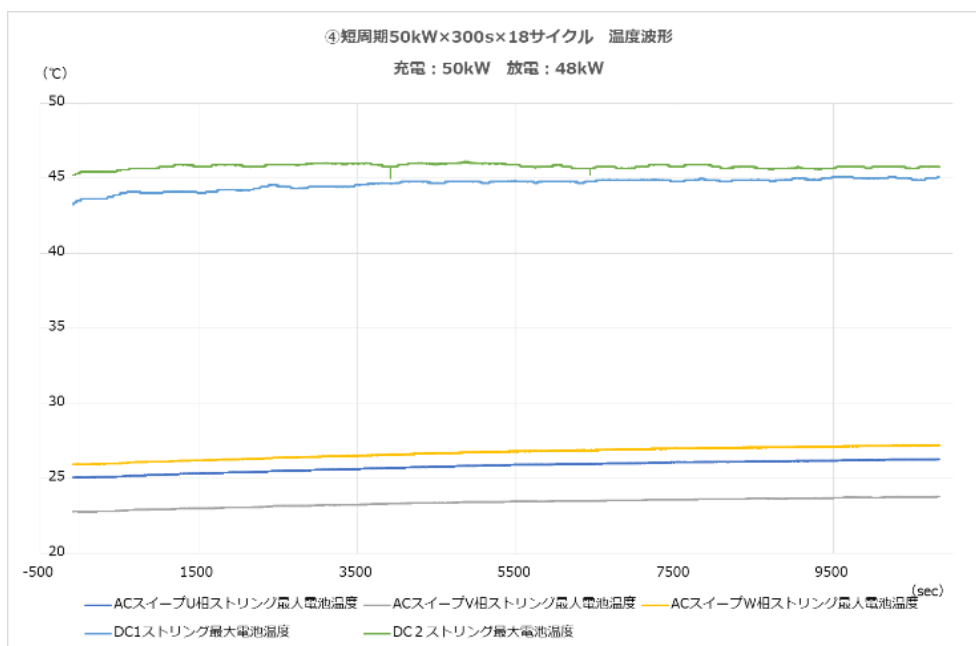


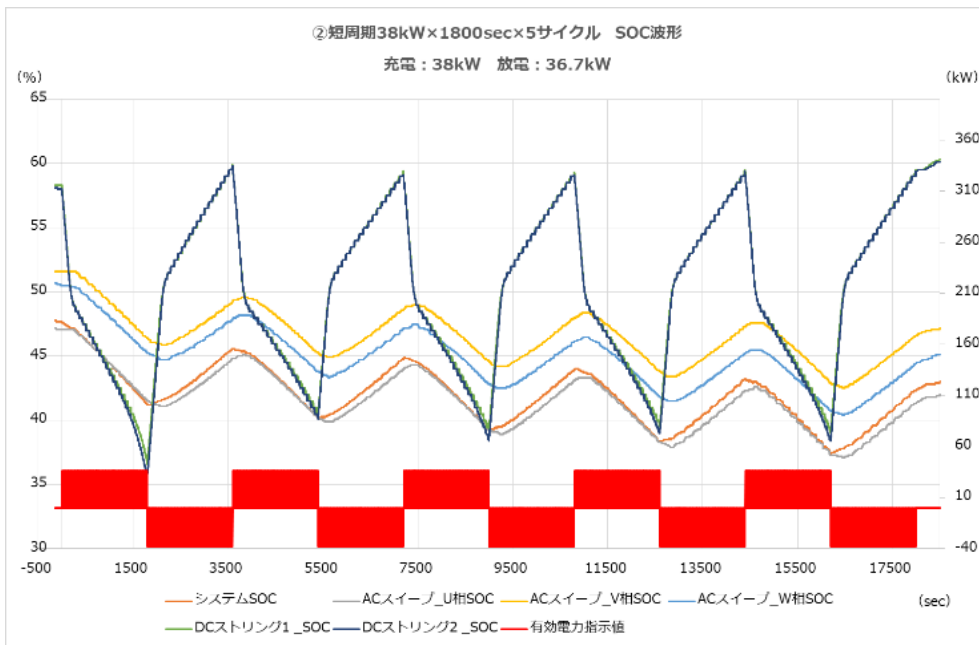
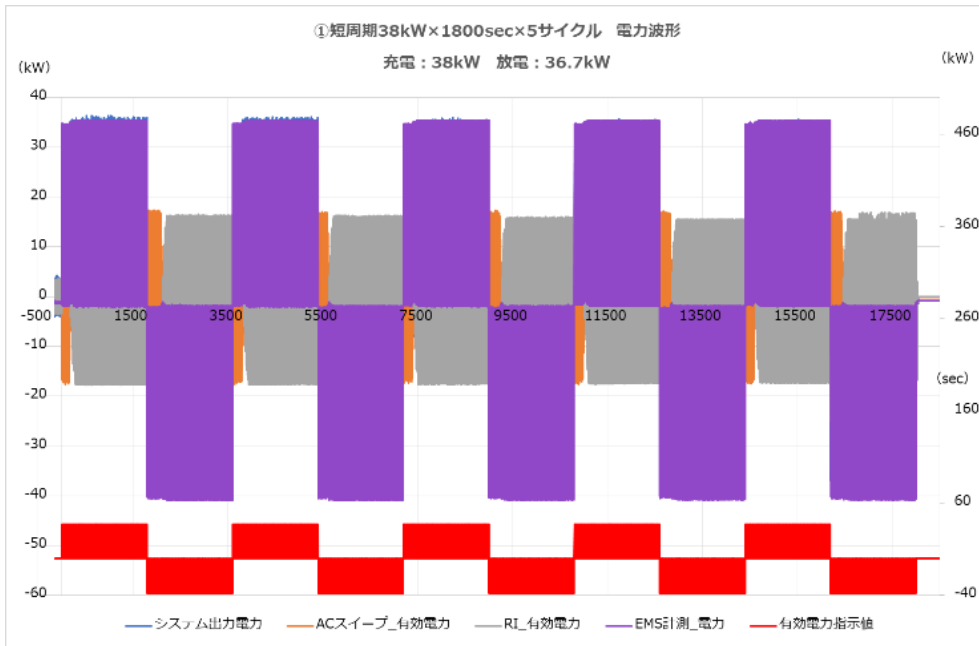
図 2.27 試験条件(1)測定波形（出力電力、SOC、温度）

(2)試験条件(2)結果

図 2.28 に短周期(2s 間隔)1800s×5 サイクルの試験結果を示す。図 2.28①は動作時間に対する出力電力、図 2.28②は各ストリングの 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。DC ストリング SOC が 36~60%の範囲内で動作しているため、ほぼ妥当な電力指令であると考えられる。システム SOC は本試験において約 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 2.28③は試験開始（放電⇄休止）時の抜粋波形で、DC ストリング SOC50%到達まで、RI 出力は放電勝手に動作しており、0kW 指令時も放電 16kW 程度出力しその分交流スイープは充電方向に動作している。SOC50%到達後は、交流スイープはフル出力の 17kW で放電し不足分を RI が放電していることが判る。

電池温度に関しては、大きな温度変化が見られなかったため波形は省略する。



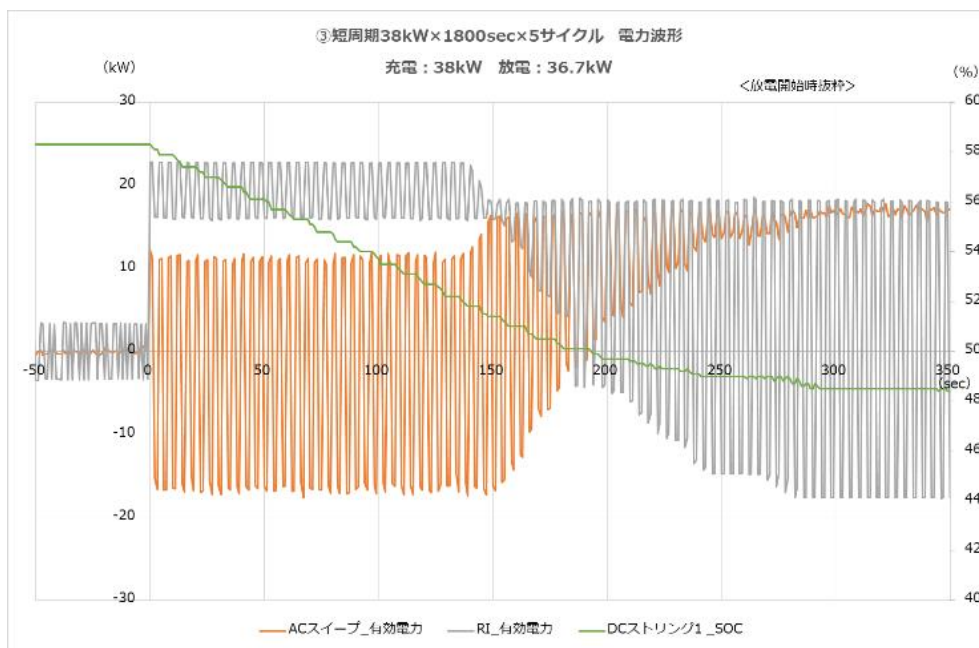
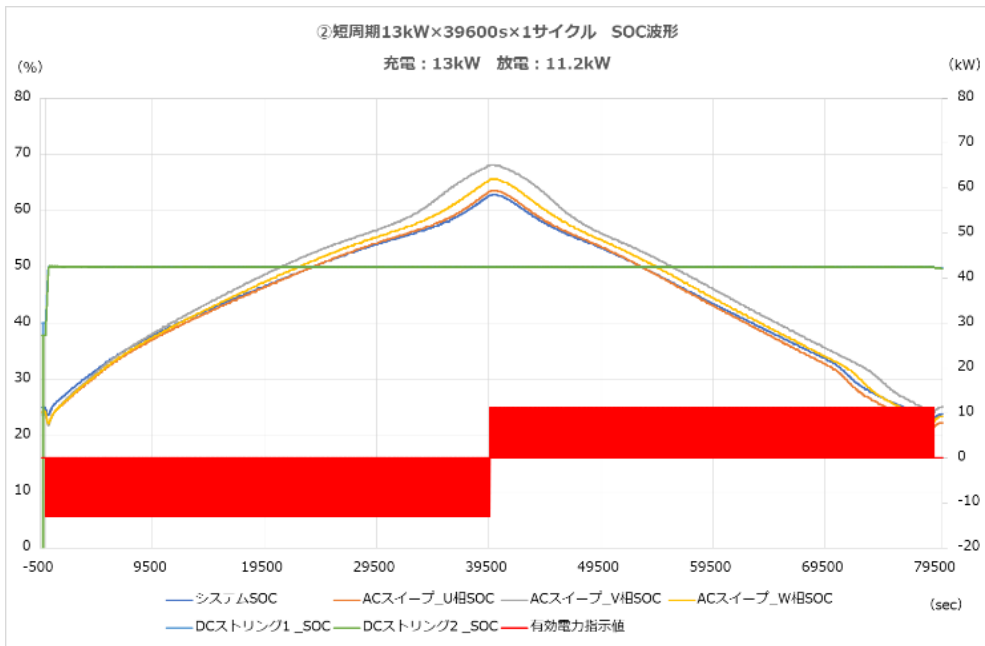
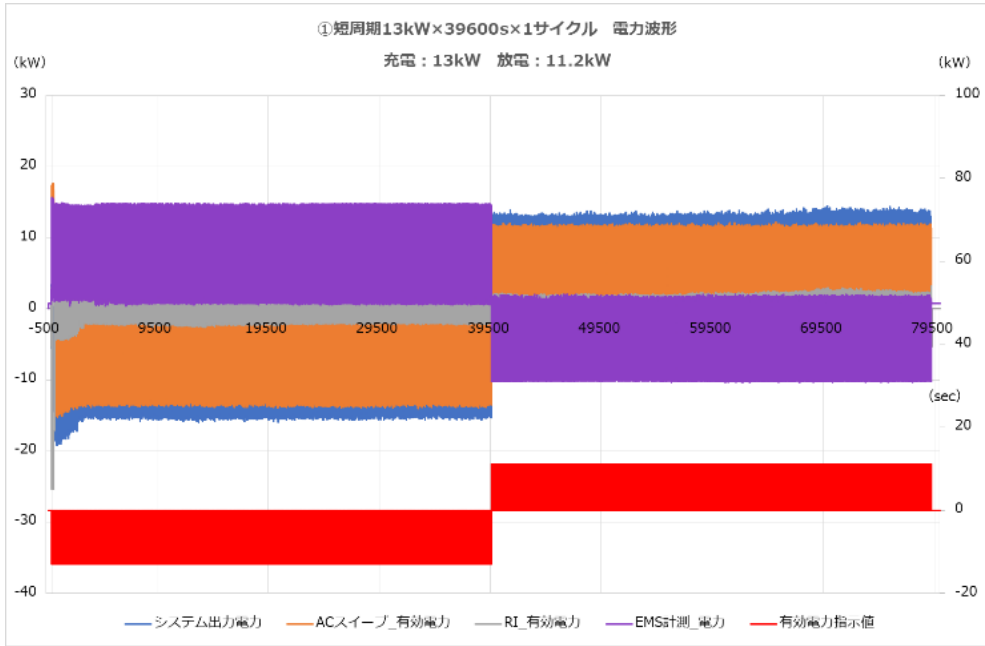


図 2.28 試験条件(2)測定波形（出力電力、SOC）

(3)試験条件(3)結果

図 2.29 に短周期(2s 間隔) 39600s(11h)×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.29①は動作時間に対する出力電力、図 2.29②は各ストリングの 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、DC ストリング SOC が 50%到達以降は交流スイープのみの出力となっており、AC ストリング SOC が 22~68%の範囲内で動作しているため、現設定電力指令がほぼ限界値であると考ええる。

図 2.29③は試験開始時の各電力、SOC の抜粋で、DC ストリング SOC が 250sec 後に 50%へ到達後、RI は出力 0kW 制御（SOC50%維持制御）に入っているが、2500sec 付近まで出力振れ幅が大きくその後減少している（±4.3kW→2kW）。試験開始後 17⇔25kW 放電制御を行い、SOC50%で電力指令値が 0kW に変化後暫くハンチングしていることから、Ni-MH 電池不使用時における 0kW 保持指令の設定等、今後運用性改善が必要である。



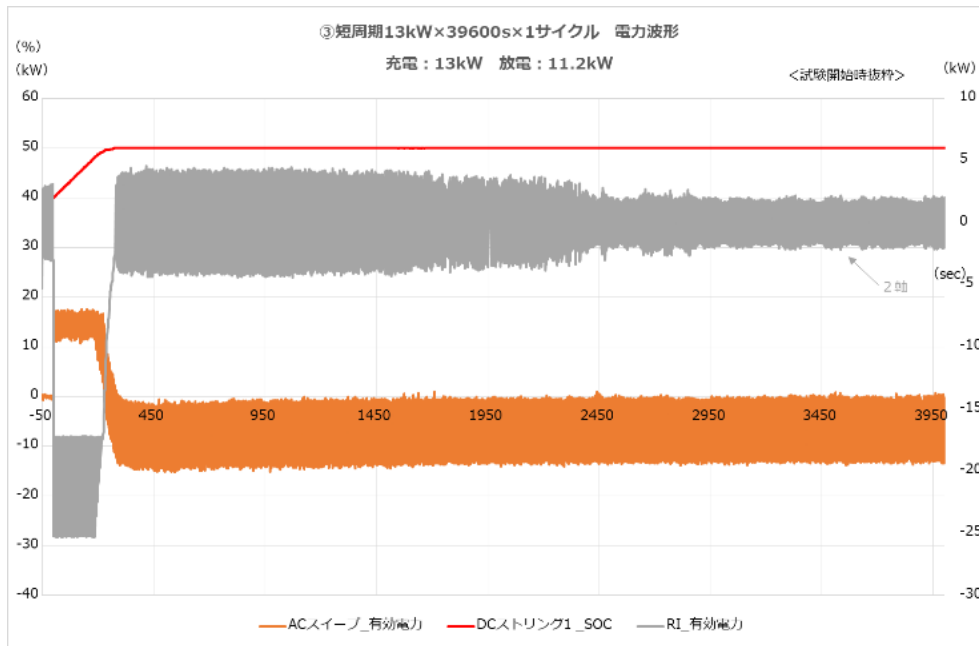


図 2.29 試験条件(3)測定波形（出力電力、SOC）

(4)試験条件(1)～(3)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規定時間の充放電が可能であることが確認できた。

一定出力試験では、充電時に電池温度が上昇する傾向が見られたが、短周期で充電／休止を繰り返す試験では電力値が 50kW と大きくても殆ど温度上昇しないことが判った。

2.6.5. 系統連系に必要となる主な機能要件

RI 及び交流スリーブ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、RI 及び交流スリーブに系統連系規定（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が必要な事項について表 2.15 に示す。

表 2.15 系統連系に必要となる主な機能要件

項目	要件	条件	来年度設備への反映事項
1 力率	力率 \geq 95%で進み力率にならないこと	定格出力 100%,50%	現状設備にて対応可
2 高調波	①総合歪率：5%以下 ②2次～40次高調波：3%以下	定格出力 100%,50%	最適な高調波対策フィルターを設置する (交流スリーブのフィルター設計は今年度実施済)
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		系統連系用保護継電器を設置する
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		本機能(能動的検出)を実装する 受動的検出機能については系統連系用保護継電器にて対応する
5 FRT機能	事故時の運転継続機能 (Fault Ride Through機能)	定格出力 100% (協議可能)	本機能を実装する
6 系統電圧保持	受電点の電圧を監視し、電圧が適正値を逸脱する場合は自動的に電圧調整を実施する。		現状設備にて対応可

2.6.6. まとめ

本実証試験の主目的である、「異種電池 (LiB・Ni-MH) をそれぞれ交流スイープ、RI という異なる制御方法で充放電動作させる蓄電システムの構築」については、電力需給調整市場、容量市場の各要件をクリアする試験条件での動作を確認することが出来た。

電力の応動時間は 200msec 程度であるため、実機システムにおいても蓄電システムの大きさによる各機器間の通信時間を考慮すれば、電力指示は 1sec 或いは 500msec 毎でも応動可能であると思われる。

DC ストリングは定常時でもリップルが大きく過渡時にはリングングが発生している。また、電力指令が交流スイープ最大出力値より低い場合 RI が 0kW 制御となるが、SOC50%保持制御のために常に数 kW の充放電 (平均値は 0kW) を高速で行っておりハンチング傾向にある。これにより DC ストリングでの電力ロスが発生していることも、低出力時の充放電効率が低い要因ではないかと推察される。これらの低減のため、各種フィルターの最適化や 0kW 保持制御等の運用性改善を図っていく必要がある。

交流スイープ制御においては、 $U \cdot V \cdot W$ 各相ストリングに対し同出力 (位相差あり) の制御を行うため、ストリング間の特性バラツキにより徐々に SOC がずれ、電池容量を有効活用できなくなる懸念がある。長期にシステムを活用するためには、AC ストリングの容量調整機能が必要と考えられ、併せて SOC 演算精度向上が図れると良い。

今回のシステム構成は、Ni-MH 電池容量 12.3kWh・RI 出力 50kW、LiB 電池容量 190kWh・交流スイープ出力 17kW で、容量と出力差が大きいため、DC ストリング (Ni-MH) SOC50% 保持を優先させる出力分配制御を行っているが、蓄電池能力を最大限に活用できていないため、実運用においては、用途に応じた電池容量・出力値の最適構築が必要であると思われる。

以上より、本実証試験の結果から見えた今後の課題として、系統連系要件への適合のための LC フィルタ等による高調波除去が挙げられるため、解決に向けた検討を進めていく。

2.7. 考察及び今後の展開

本実証事業を通じて、将来的な電力系統の課題解決のための活用を想定した場合、今回開発したリユース設備が問題なく機能することが確認できたとともに、今後発生が見込まれている Ni-MH 電池及び LiB のいずれも活用可能となる蓄電システム構築により、車載用電池のリユース範囲の拡大を図ることができた。また、Sweep 機能の検証により、劣化状態にバラツキのあるリユース電池の制御技術を確立した。加えて、車載用インバータの PCS 代替としての活用及び交流スイープ技術による交流波形の形成が確認でき、蓄電システム内でのコスト比率が高い PCS の代替手法を確立することができた。

事業化の蓋然性を高めるため、本設備化に向けたリユース蓄電システムの更なるコストダウンの深掘りが必要であると考えられる。コストダウンに向けては、今回実施したコストの大半を占めることになる PCS 等の主要機器の台数を減らす事だけではなく、異種電池の特性を組み合わせることにより最小限の電池数量で要求仕様を満足することが可能な制御技術の検討を行う。また、設備の大容量化にあたっては電池並列数に伴い発生する横流の影響評価や自立運転時の電圧同期機能の検討を行う。

3. 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製造と今回のリユース事業である回収電池再利用の主な工程を図 3.1 に示す。

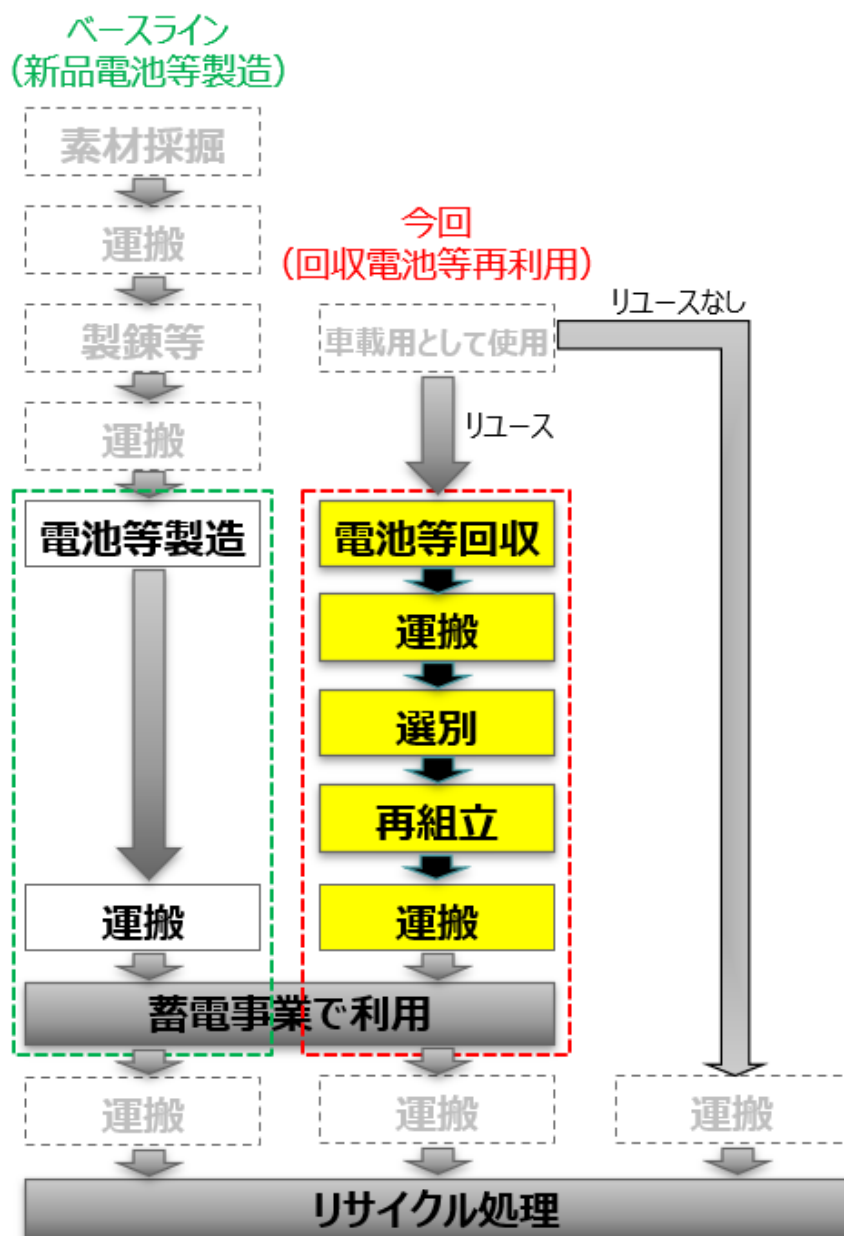


図 3.1 新品電池製造及びリユース事業の各工程

3.1. 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。

3.2. CO2 排出量削減効果

CO2 排出量削減効果の評価にあたり、系統接続を想定したリユース蓄電システムとして 10MW、10MWh と仮定し、10 年間稼働した場合を想定した。新品リチウムイオン電池相当を基準に以下の通り比較した。使用したデータを表 3.1 に示す。

表 3.1 使用データ一覧

No	項目	値	単位
1	リチウムイオン電池製造時の CO2 排出係数 ^{※1}	0.1	t-CO2/kWh
2	車載用リチウムイオン電池容量	18	kWh/台
3	車載用リチウムイオン電池重量	96	kg/台
4	PCS 製造時の CO2 排出量	0.001584	t/kW
5	車載用インバータリユースに伴う回収時の CO2 排出量	0.000006	t/kW
6	軽油の CO2 排出量 ^{※2}	0.00258	t/L
7	輸送 10t トラック燃費	3.12	km/L
8	PCS の変換効率	0.909	-
9	交流スイープの変換効率	0.984	-

(出典)

※1 ハイブリッド専用リチウムイオン電池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

ベースラインについては 10MW、10MWh の蓄電システムを 10 年間稼働した場合の CO2 排出量を試算した結果、式 (3.1) の通り、3,513.0t の CO2 排出量となる。一方、今回事業については電池回収・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、454.8t 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。

条件として、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。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。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。10 トン車 1 台あたりの電池及び車載インバータの最大積載台数はそれぞれ 59 台、281 台とした。また、蓄電事業における稼働率を 80%、1 日 1 回の充放電を仮定した。

<ベースライン>

新品電池製造時の CO2 排出量[t]

$$\begin{aligned} &= \text{電池容量[kWh]} \times \text{電池製造時の CO2 排出量[t/kWh]} \\ &\quad + \text{PCS 製造時の CO2 排出量[t/kW]} \times \text{電池出力[kW]} \\ &\quad + \text{運搬時の CO2 排出量[t]} \\ &\quad + \text{交直変換ロスによる CO2 排出量[t]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 10,000 \times 0.1 + 0.001618 \times 10,000 + 10,000 \times 0.000272 \\ &\quad + 10,000 \times 0.000472 \times (1-0.909) \times 365 \times 0.8 \times 10 \end{aligned}$$

$$= 3,513.0[t]$$

式 (3.1)

<今回事業>

回収電池等再利用時の CO2 排出量[t]

$$\begin{aligned} &= \text{電池容量[kWh]} \times \text{電池回収時の CO2 排出量[t/kWh]} \\ &\quad + \text{車載インバータ再利用に伴う回収時の CO2 排出量[t/kW]} \times \text{電池出力[kW]} \\ &\quad + \text{運搬時の CO2 排出量[t]} \\ &\quad + \text{交直変換ロスによる CO2 排出量[t]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \text{電池容量[kWh]} \times (\text{軽油の CO2 排出量[t/L]} \div \text{燃費[km/L]} \times \text{輸送距離[km]} \div \text{積載台数[台]} \div 1 \text{台あたりの電池容量[kWh/台]}) \times \text{補正係数} \end{aligned}$$

$$+ (\text{軽油の CO2 排出量[t/L]} \div \text{燃費[km/L]} \times \text{輸送距離[km]} \div \text{積載台数[台]} \div \text{車載インバータ出力[kW/台]}) \times \text{電池出力[kW]} \times \text{補正係数}$$

$$+ \text{電池容量[kWh]} \times (\text{軽油の CO2 排出量[t/L]} \div \text{燃費[km/L]} \times \text{輸送距離[km]} \div \text{積載台数[台]} \div 1 \text{台あたりの電池容量[kWh/台]}) \times \text{補正係数}$$

$$+ \text{電池容量[kWh]} \times \text{消費電力による排出係数[t/kWh]} \times \text{交流スイープ変換効率} \times \text{稼働率}$$

$$= 10,000 \times (0.00258 \div 3.12 \times 350 \div 59 \div 18) \times 2.5$$

$$+ (0.00258 \div 3.12 \times 350 \div 281 \div 186.5) \times 10,000 \times 2.5$$

$$+ 10,000 \times (0.00258 \div 3.12 \times 350 \div 59 \div 18) \times 2.5$$

$$+ 10,000 \times 0.000472 \times (1-0.984) \times 365 \times 0.8 \times 10$$

$$= 454.8$$

式 (3.2)

4. 今後の経済性向上に向けた取り組み

4.1. 経済性向上の可能性

本実証事業を通じて、リユース蓄電システムの電力システムにおける有用性を確認できたとともに、劣化状態の異なる電池の制御技術を確立できたことから、技術面での課題を解決できた。

一般的な蓄電システムは主に新品電池及びPCS、BMS、筐体等で構成される。筐体等はリユースにかかわらず共通となるため、残りの新品電池、BMS、PCSの部分に対してリユース蓄電システムが価格競争力を有する必要がある。

まず車載用電池をリユースすることにより新品電池に対する価格競争力が得られる。また、BMSについても車載用電池のBMSを流用可能であるため、価格競争力が得られる。一方、PCSについては、今回構築したSweep機能の活用及び機能検証した車載インバータの適用により既存PCS機能を同等水準で構築可能と考えられる。加えて、Sweep機能の活用により運転中の電池交換や性能差のある電池の扱いが可能となるため、同等の価格水準で機能向上を図ることができる。新品蓄電システムとリユース蓄電システムの構築コストについて図4.1に示す。

仮に回収される中古電池の平均寿命が新品電池に対して4割であり、回収費用が新品電池価格の3分の1と仮定すると、新品電池及びBMSのコストを1とした場合において中古電池及びBMSのコストは0.67となる。これに加えて寿命が4割であることから中古電池及びBMSの交換にかかる運用費が必要となる。運用費を新品電池及びBMSの2割程度とすると、中古電池及びBMSのコストは0.87となる。一般に蓄電システム全体に占める新品電池及びBMSの割合は5割程度であることから、前述の条件下においては中古電池及びBMSリユースにより蓄電システムのコストを6%程度低減できると考えられる。

事業化にあたっては、コスト削減等更なる設備設計の最適化を図ることにより新品蓄電システムに対する価格競争力を確保するため、主に以下の項目について検討を進めていく。

(1)電力システムに適合した蓄電システムの最適化検討

車載用電池はパワー型（HV用ニッケル水素電池/リチウムイオン電池等）とエネルギー型（EV/PHV用リチウムイオン電池等）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。今回開発した制御技術を基に、電力市場の要求仕様に適合した蓄電システムの最経済検討を実施する。

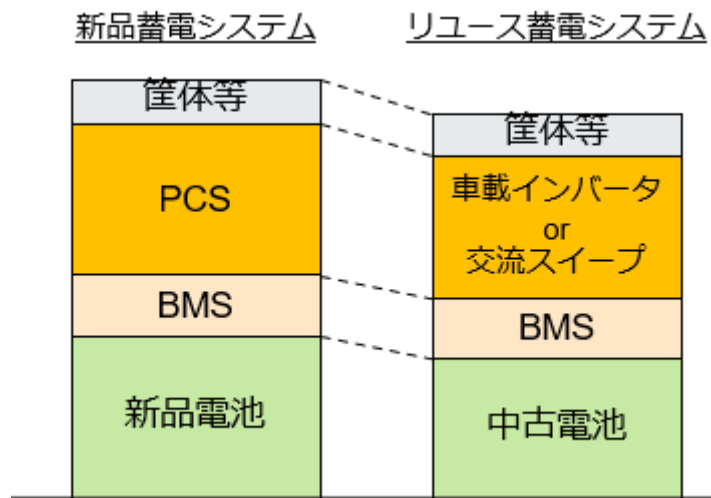


図 4.1 新品蓄電システムとリユース蓄電システムの構築コスト（イメージ）

4.2. 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ため、2025年度以降に大量に発生する使用済み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、今後再エネ導入量の拡大により生じ得る電力系統の課題解決に対して有用であると考えられる。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4.2、図4.3に示す。

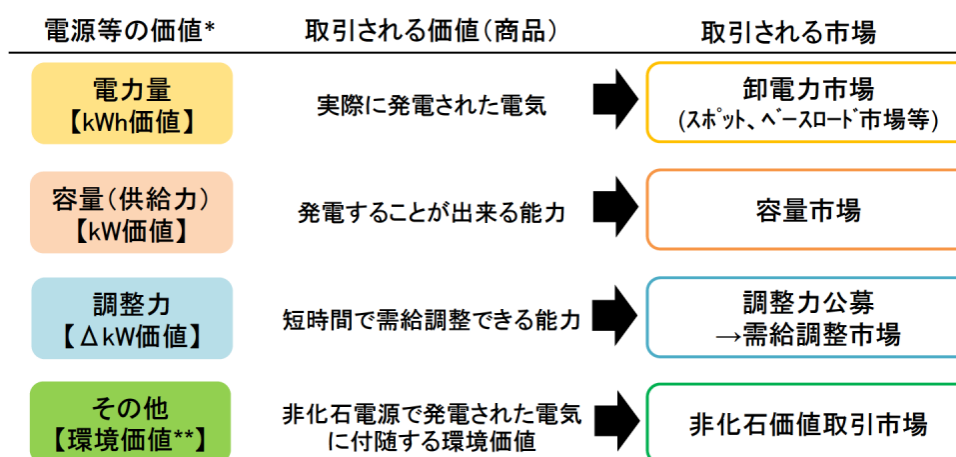


図4.2 日本の電力市場整備の方向性

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

商品	年度	2019	2020	2021	2022	2023	2024~ (容量市場開設*)
需給調整市場 の商品	三次② (広域)			需給調整市場			
	三次① (広域)				需給調整市場		
	二次② (広域)					需給調整市場	
	二次① (エリア内)					需給調整市場	
	一次					需給調整市場 (開始時期検討中)	
電源 I -a (kW)	エリア内公募 (年間)						容量市場
電源 I -b (kW)	エリア内公募 (年間)				広域調達 (年間)		容量市場
電源 I' (kW)	エリア内公募 (年間)						容量市場

図4.3 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 万台の使用済み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 4.4、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 4.5、図 4.6 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

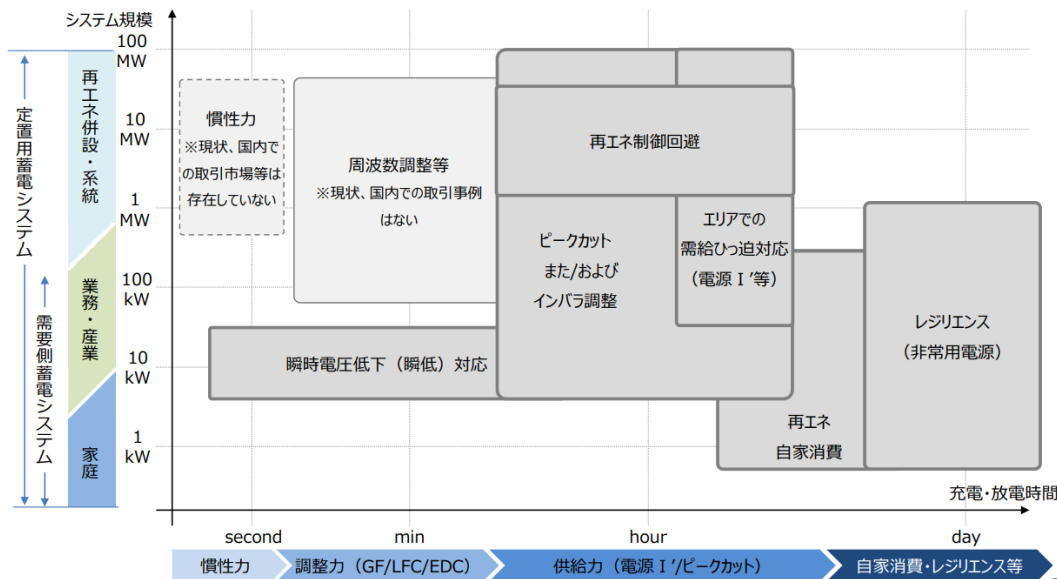


図 4.4 定置用蓄電システムの設置場所とユースケース

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

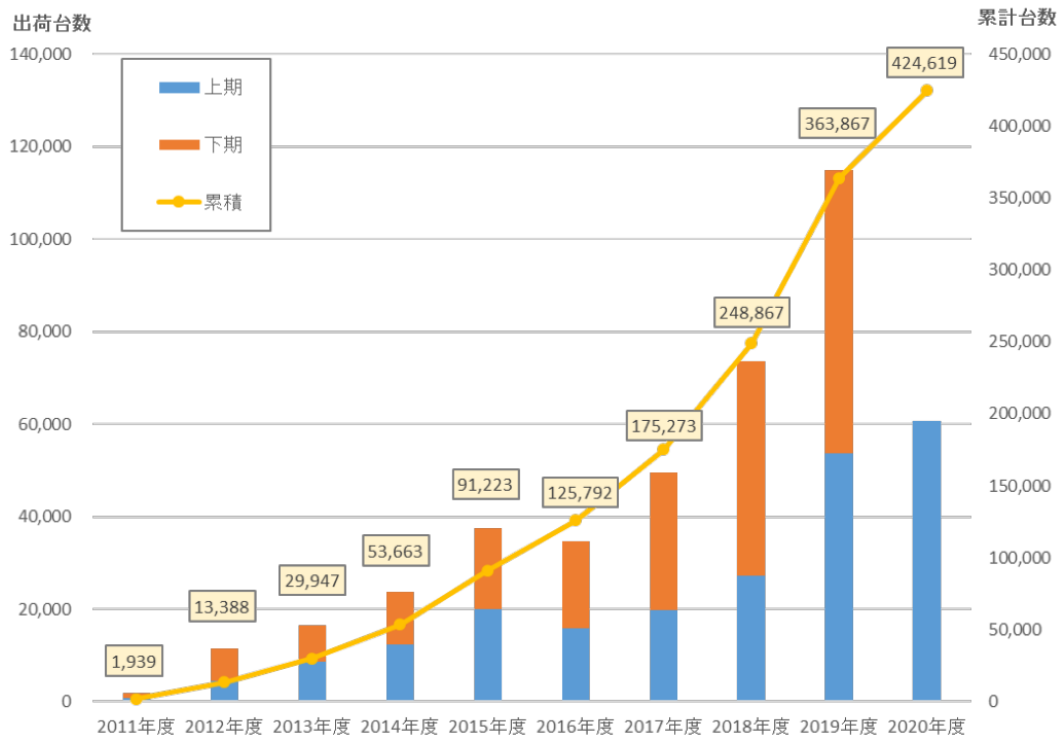


図 4.5 定置用リチウムイオン蓄電システムの市場規模

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

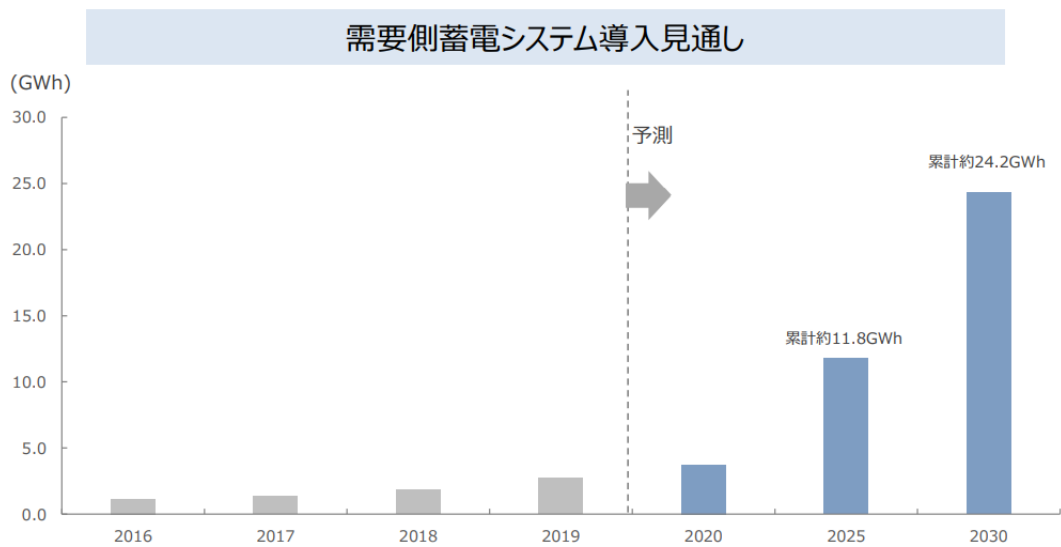


図 4.6 需要家側蓄電システムの導入見通し

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

4.3. 今後の事業化見通し

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リチウムイオン電池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。現在の使用済み車のリサイクルシステムフローを図4.7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>

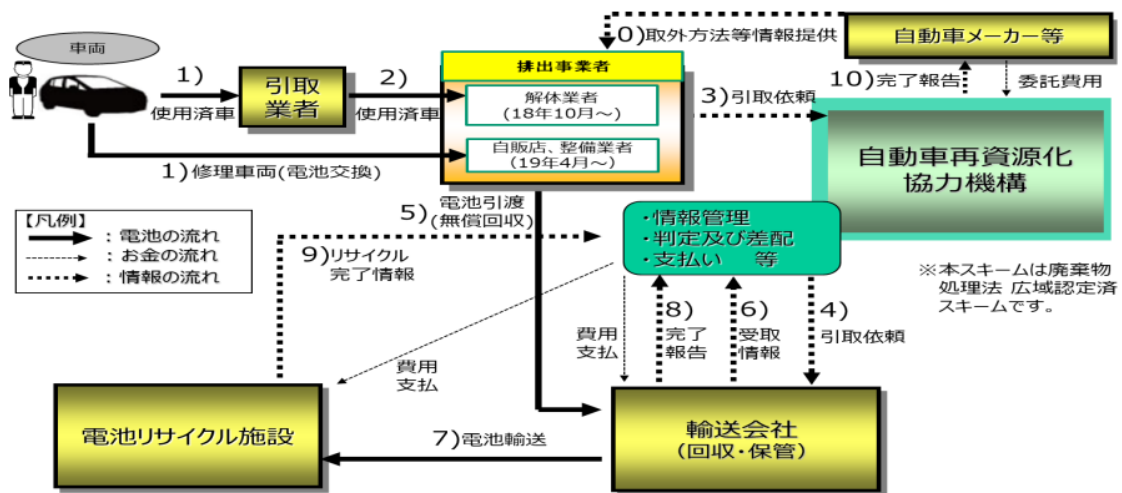


図4.7 使用済み車のリサイクルプロセスフロー

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