

令和2年度環境省委託業務

令和2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

(リチウムイオン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3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、近い将来に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S1.2、図1.3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、枯渇性資源を含む電池の海外流出を防ぎ国内還流する仕組みづくり、性能差の大きい中古リチウムイオン電池の安全性・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。

- ・中古リチウムイオン電池の劣化状態や種類に依らない安全で安定したリユース制御技術
- ・更なるリユース範囲拡大のための中古リチウムイオン電池以外の車載品活用技術

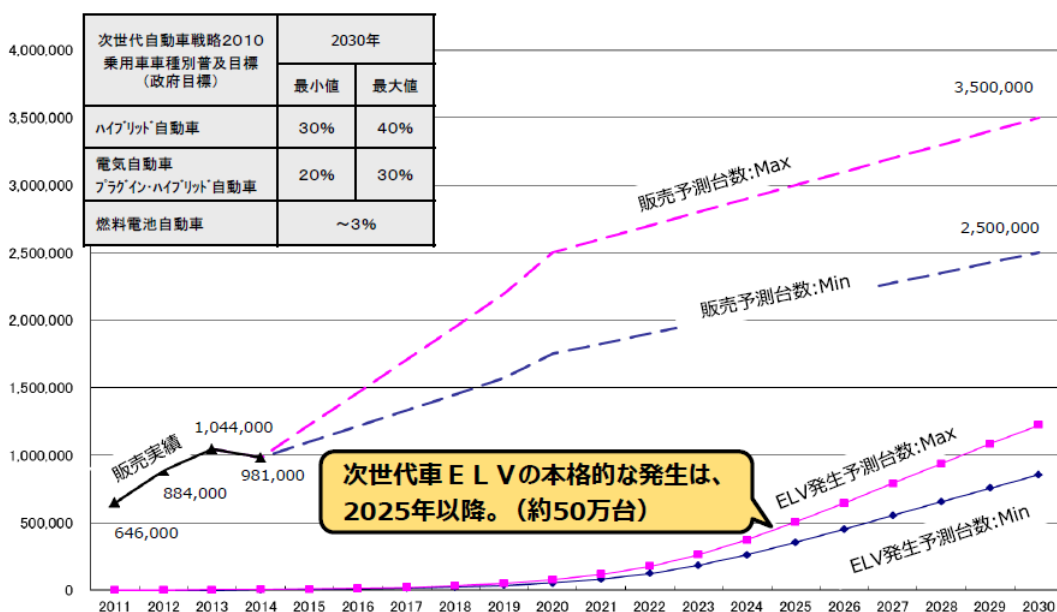
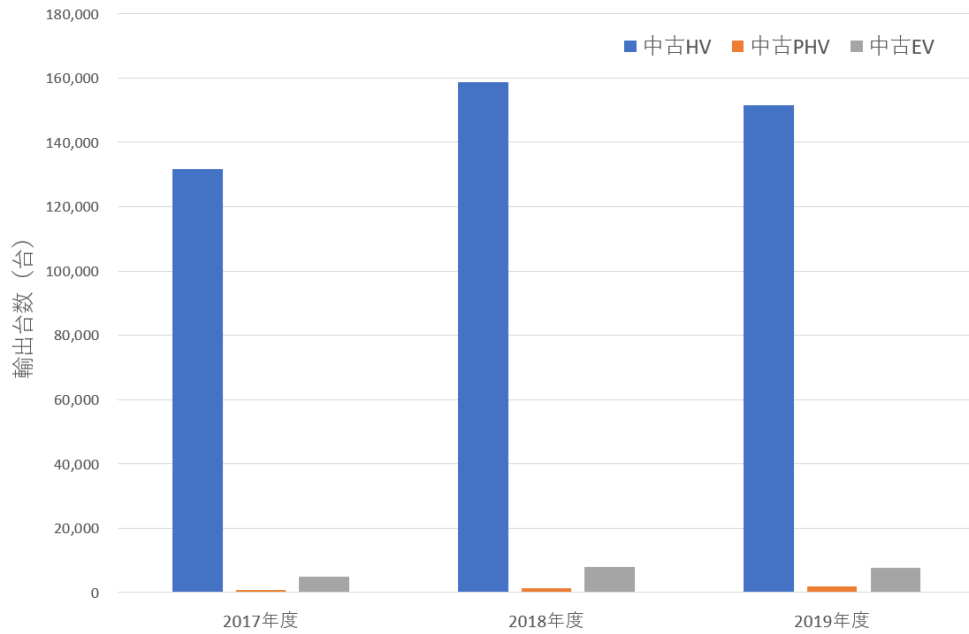


図 S1.1 次世代車普及見通し・ELV（使用済み自動車）発生台数予測

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) (株)SUBARU 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)	スズキ(株) 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	<b>2019年度：3,014個</b> (2018年度：2,364個 2017年度：943個 2016年度：656個)	2019年度：6,694個 (2018年度：7,214個 2017年度：6,140個 2016年度：4,839個)	
<small>(注)ELVからの発生 各社合計値</small>			

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 2020年度産構審・中環審合同会議資料 参考資料4-2

## 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、中古リチウムイオン電池等の仕様について表 S2.2 に、システム構成図を図 S2.1 に示す。リユース電池の実証設備は、カートリッジ

(DC44.4V) を制御の最小単位として、22 カートリッジを直列接続し、ストリングとして構成、3 ストリングを並列接続することで、135kW の蓄電システムとして構築した。また、電池は中古である故に劣化状態にバラツキがあり、これらを大容量として大量に組み合わせた場合でも効率的に充放電できる電池制御システムを開発した。また、車載インバータの PCS 代替としての活用検討を実施した。

表 S2.1 各機器の役割

機器名称	役割
Power Conditioning System (PCS)	系統側 AC400V を電池電圧 DC650V に変換する双方向 ACDC コンバータ
Power Management Unit (PMU)	上位データ収集装置、GCU 及び PCS との双方向通信により下記を実施 <ul style="list-style-type: none"><li>データ収集装置へ各種情報を発信</li><li>タッチパネルとの通信（指令設定、モニタ）</li><li>充放電制御指令を PCS 及び GCU に発信</li><li>GCU 及び PCS からの各情報を収集し充放電制御を実施</li></ul>
Group Control Unit (GCU)	上位システムとの双方向通信により下記を実施 <ul style="list-style-type: none"><li>グループ全体の状態を PMU 及びデータ収集装置に発信</li><li>PMU からの指令を各 SCU に発信</li><li>各カートリッジ詳細情報を収集</li></ul>
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"><li>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</li><li>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</li><li>SCU 配下の各 SU の状態を統合して GCU に通知</li></ul>
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"><li>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</li><li>カートリッジ情報（電池状態）を監視</li><li>カートリッジ情報（電池状態）を SCU に通知</li></ul>

表 S2.2 今回用いた中古リチウムイオン電池等の仕様

項目	仕様 (1 ストリングあたり)	仕様 (3 ストリング)
定格電力	45kW	135kW
定格電圧	650kV	
定格電流	69.2A	207.6A
定格電力容量	97kWh	291kWh
使用温度	0~40°C	
カートリッジ数	22	66
カートリッジ内のセル構成	2 並列×12 直列	

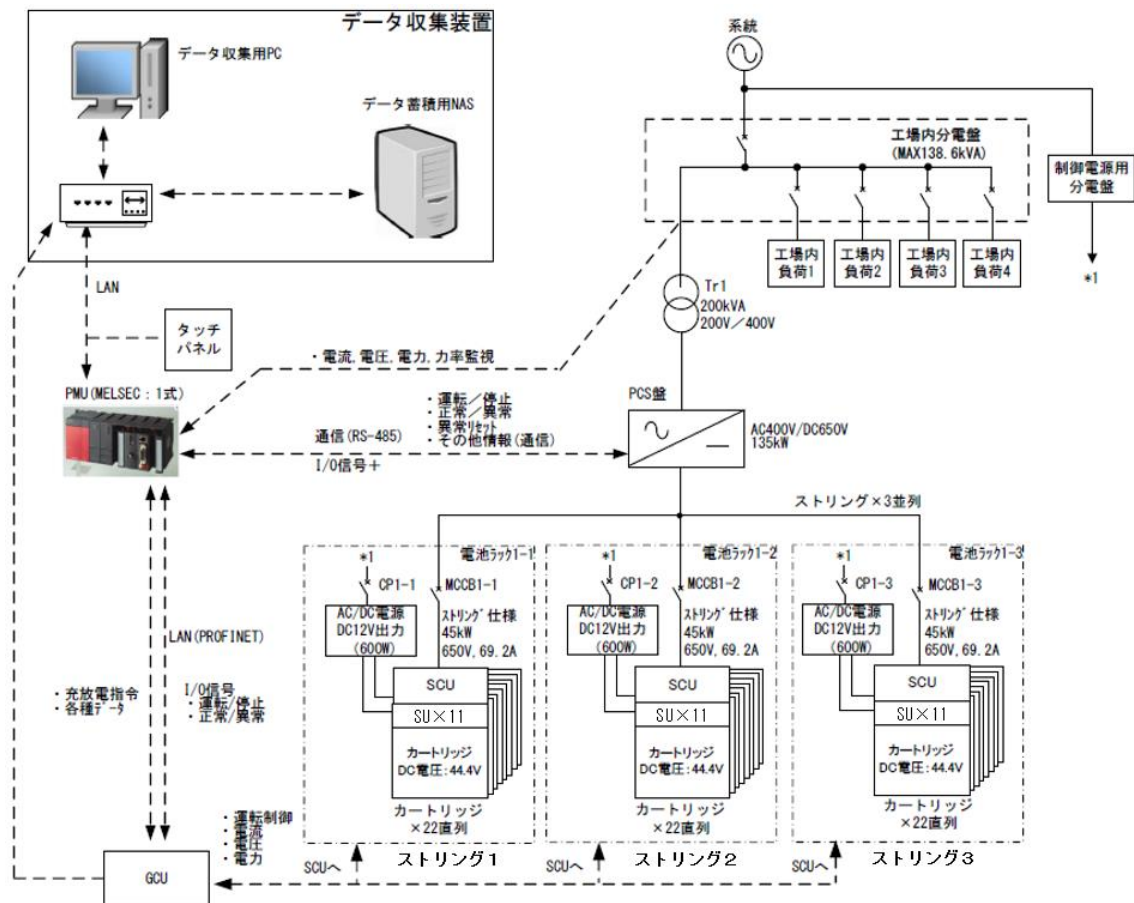


図 S2.1 実証設備システム構成図

実証試験では、構築した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、中古品混在による運用評価試験及び中古品性能評価、リチウムイオン電池とニッケル水素電池等のハイブリッド検討を実施した。また、車載インバータの PCS 代替としての活用検討を実施した。

### (1) 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 S2.2 に示す。

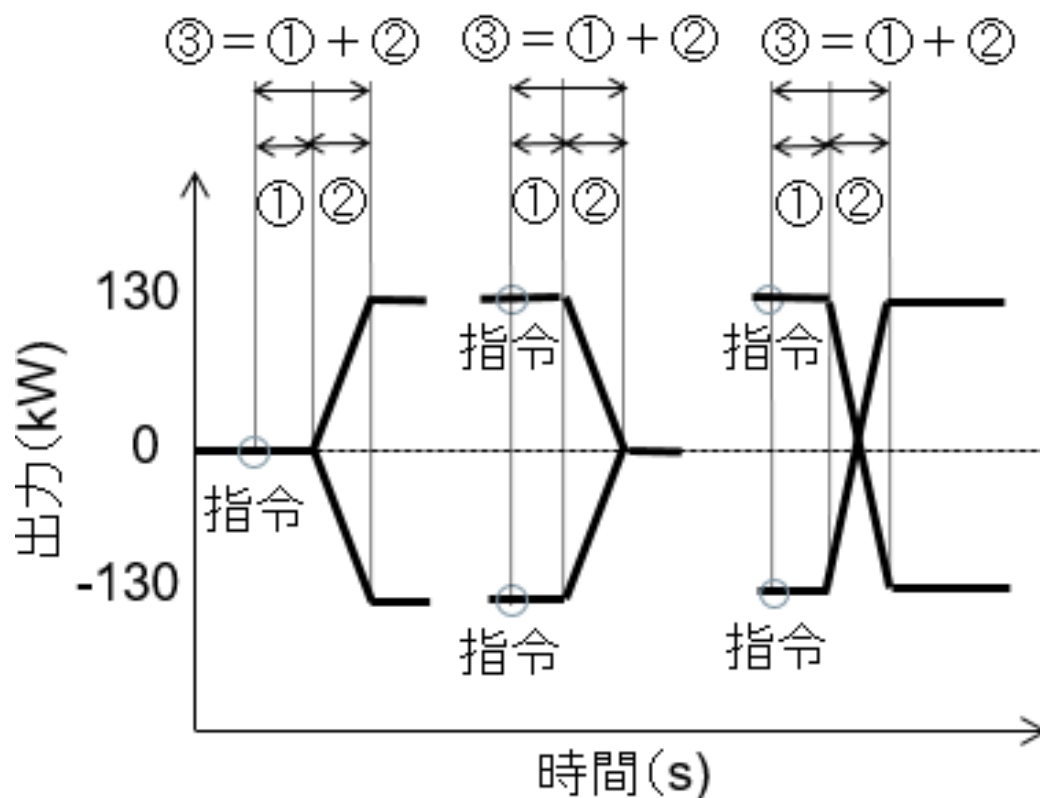


図 S2.2 PCS 応動試験波形イメージ

(2) 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 S2.3、図 S2.3 に示す。

表 S2.3 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	130	117
(2)	1800	130	117
(3)	10800	48	43
(4)	39600	13	11
(5)	57600	9	8

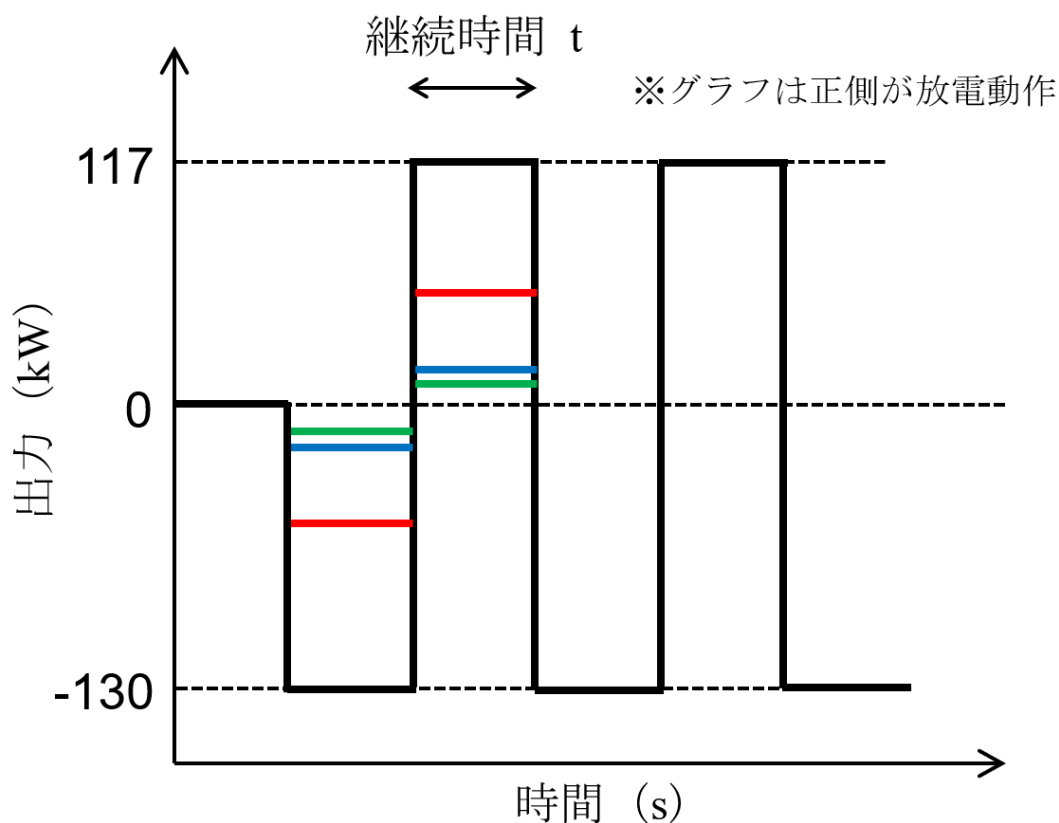


図 S2.3 一定出力・一定時間の充放電試験波形イメージ

試験結果を図 S2.4～図 S2.8 に示す。充電側に 2～5%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。また、出力電力に最大で±10kW 程度の振れがあるが、これは電流制御をスイッチング制御により行っているため、リップル電流が発生しており、その影響を受けていると考えられる。

SOC を使用上下限付近で使用する場合は、設定条件によっては出力制限がかかってしまい必要な出力が供給できない可能性があるため、実運用においては、充電と放電の出力を固定値とするのではなく、電池の状態を見ながら出力を可変させる、または動作時間を可変させて動作を行うようなシステムを構築する必要がある。また安定した出力電力を供給するためにリップル電流を可能な限り交流設備側にて抑制する必要がある。

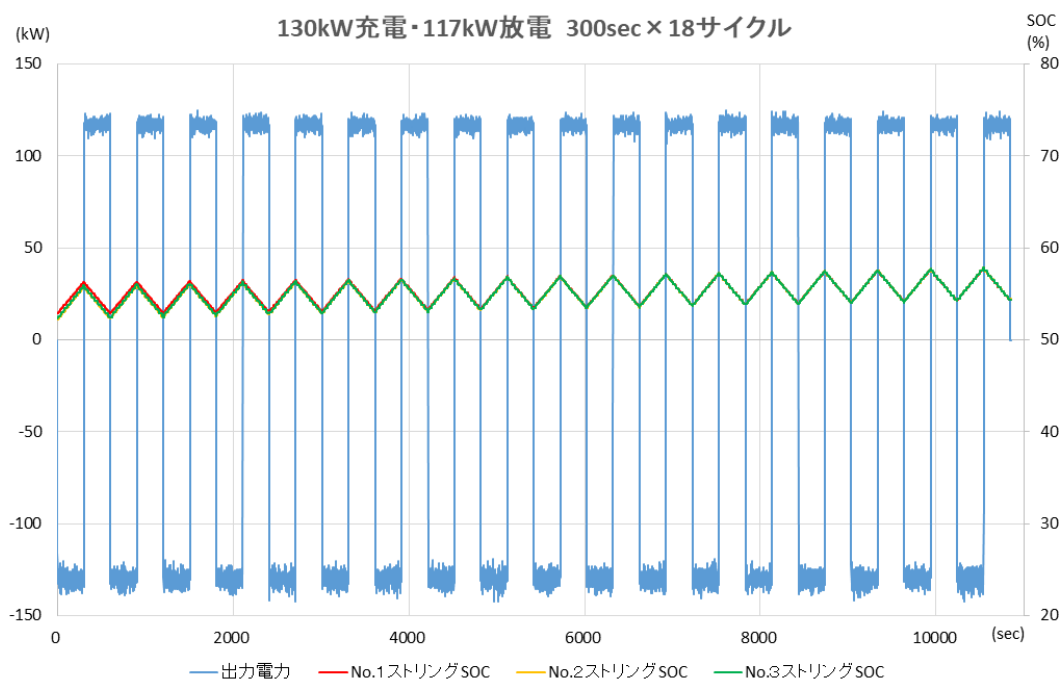


図 S2.4 試験条件 (1) 測定波形 (出力電力、SOC)



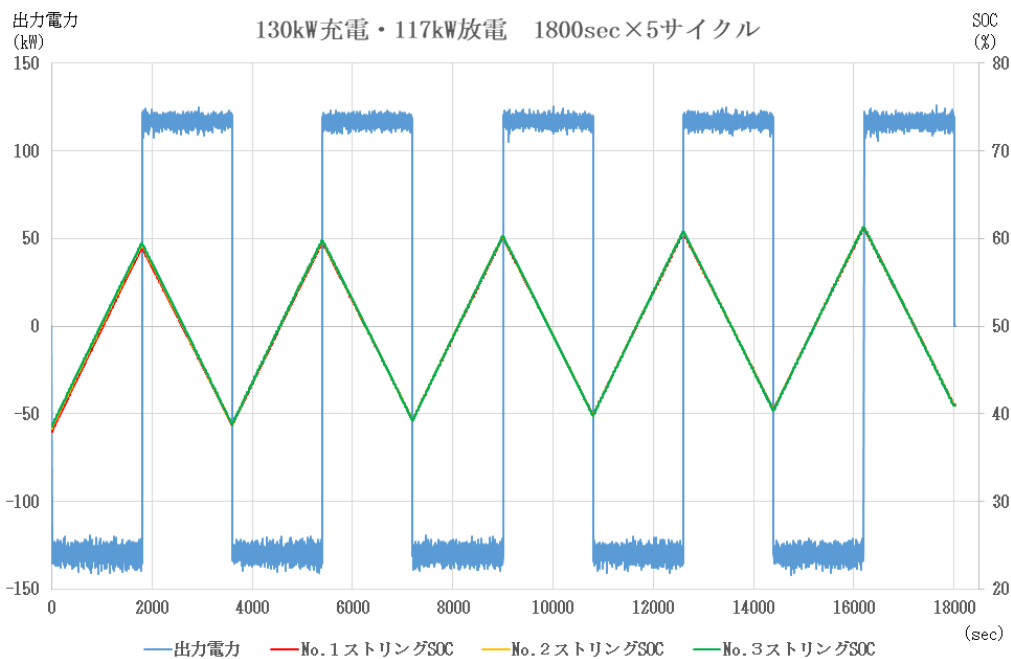


図 S2.5 試験条件 (2) 測定波形 (出力電力、SOC)

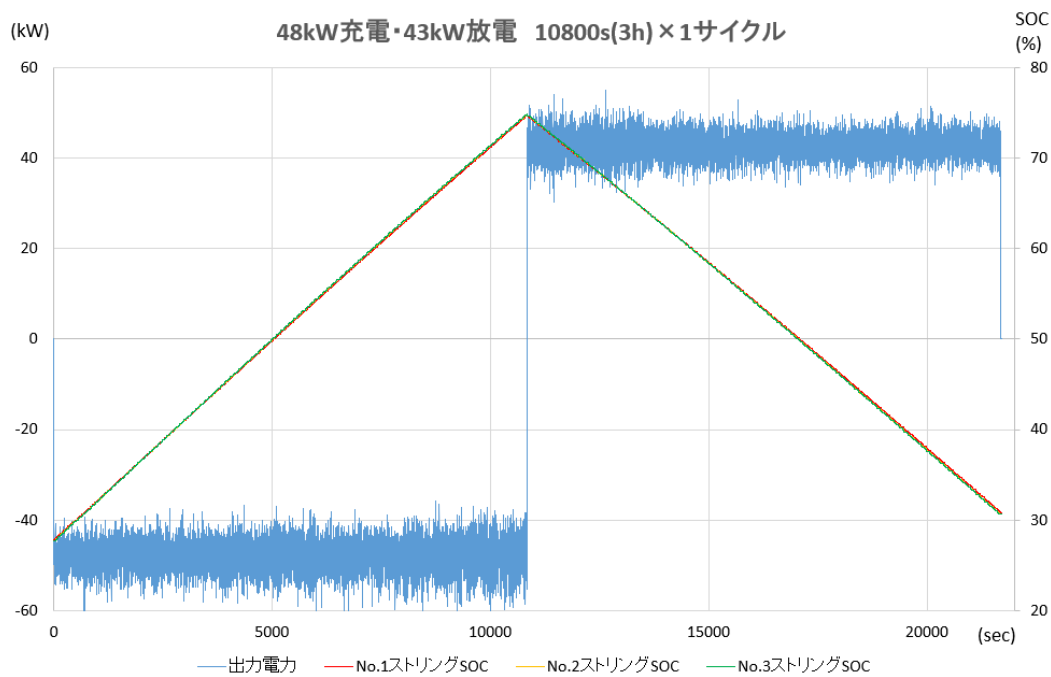


図 S2.6 試験条件 (3) 測定波形 (出力電力、SOC)

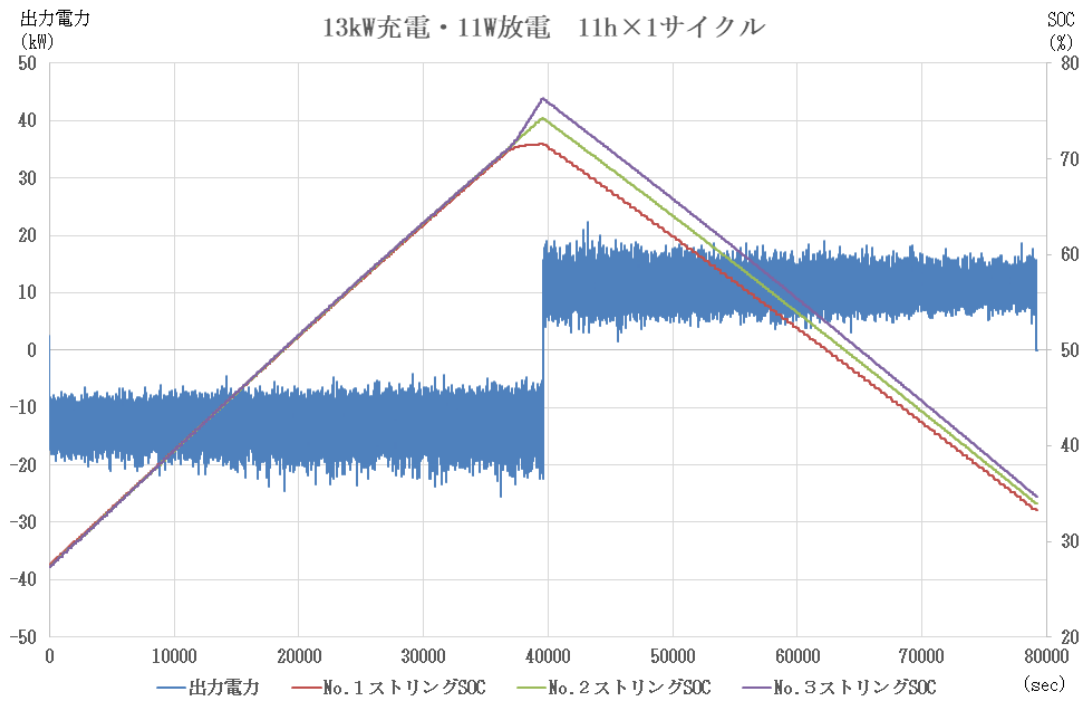


図 S2.7 試験条件 (4) 測定波形 (出力電力、SOC)

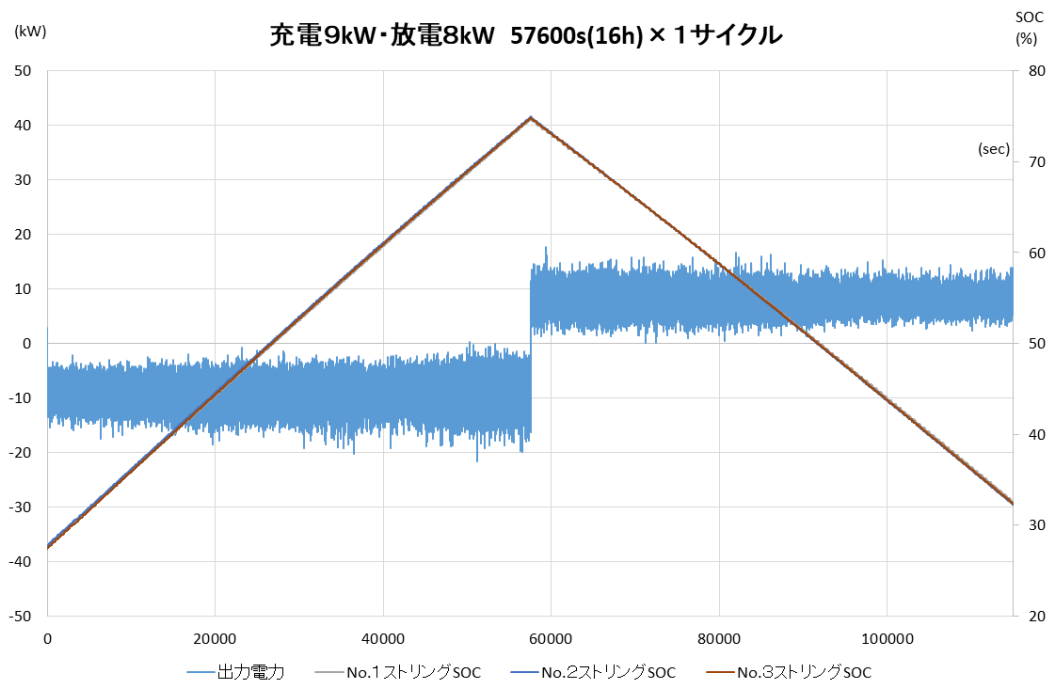


図 S2.8 試験条件 (5) 測定波形 (出力電力、SOC)

### (3) 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 S2.4、図 S2.9 に示す。

表 S2.4 短周期応動試験

条件	継続時間[s]	充電[kW]	放電[kW]
(1)	300	130	117
(2)	1800	130	117
(3)	39600	26	23

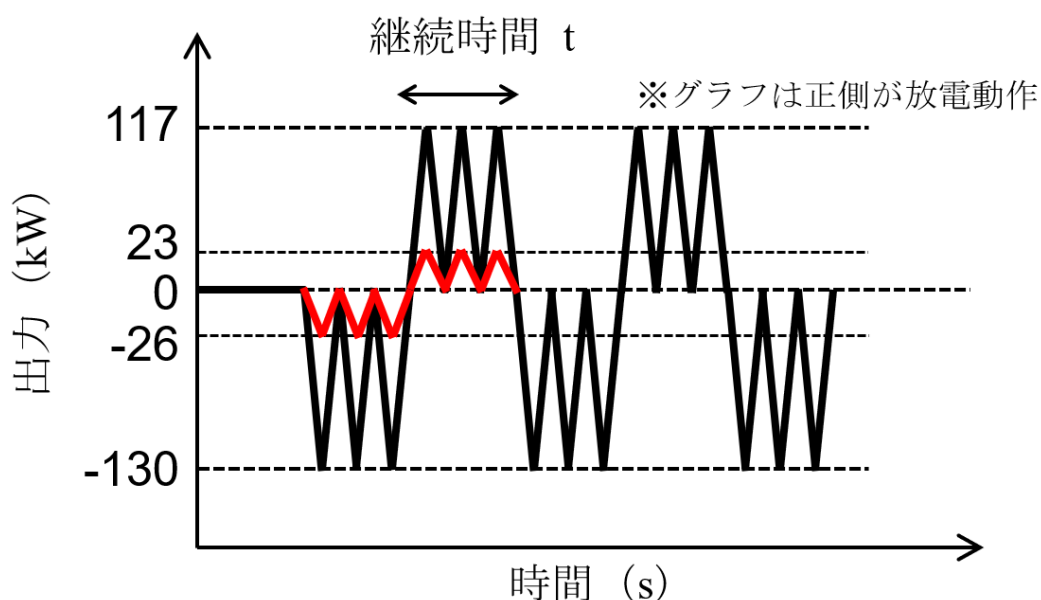


図 S2.9 短周期応動試験波形イメージ

試験結果を図 S2.10～図 S2.12 に示す。充電側に 2～4.5%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。また、出力電力に最大で±10kW 程度の振れがあるが、これは電流制御をスイッチング制御により行っているため、リップル電流が発生しており、その影響を受けていると考えられる。

SOC を使用上下限付近で使用する場合は、設定条件によっては出力制限がかかってしまい必要な出力が供給できない可能性があるため、実運用においては、充電と放電の出力を固定値とするのではなく、電池の状態を見ながら出力を可変させる、または動作時間を可変させて動作を行うようなシステムを構築する必要がある。また安定した出力電力を供給するためにリップル電流を可能な限り交流設備側にて抑制する必要がある。

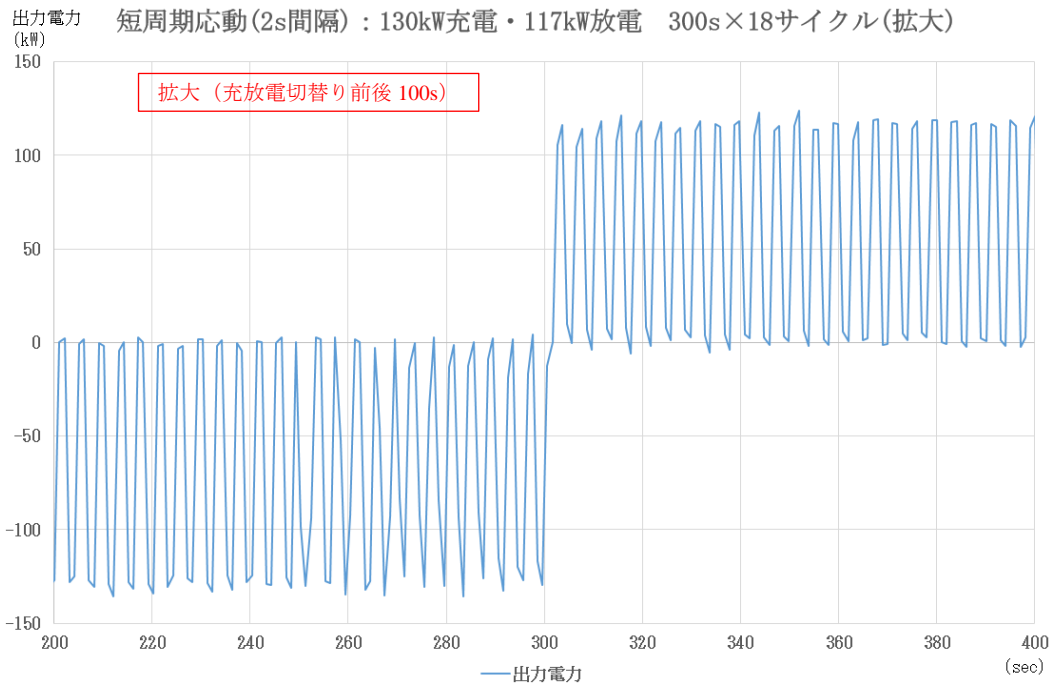


図 S2.10 試験条件 (1) 測定波形 (出力電力、SOC)

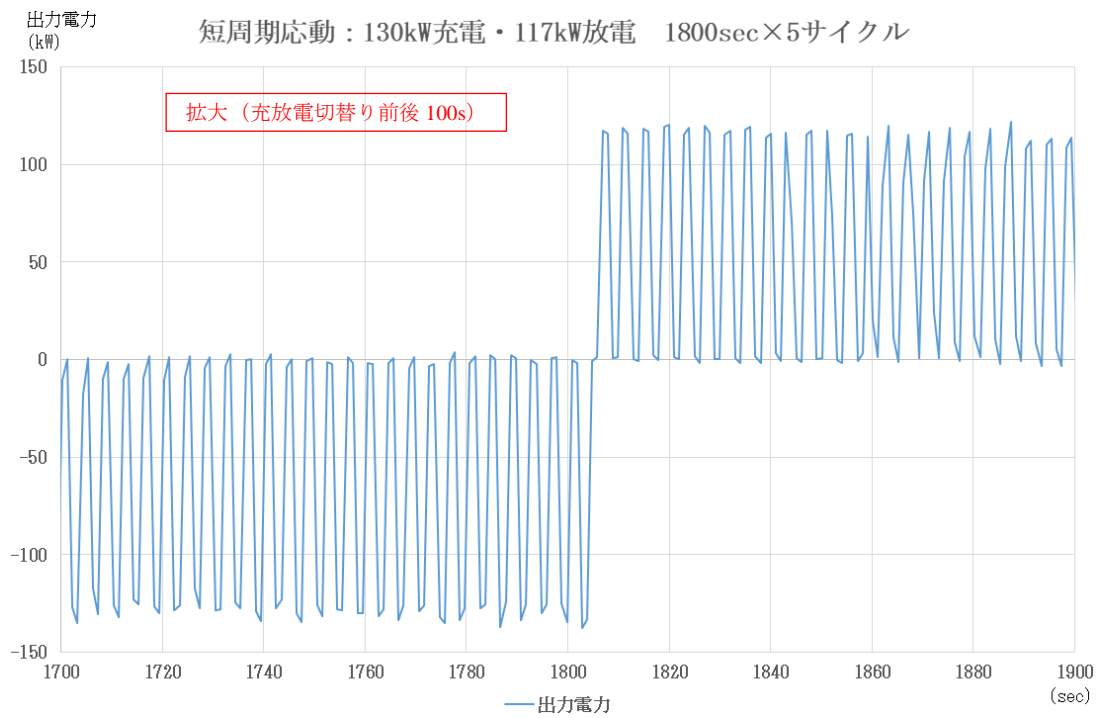


図 S2.11 試験条件 (2) 測定波形 (出力電力、SOC)

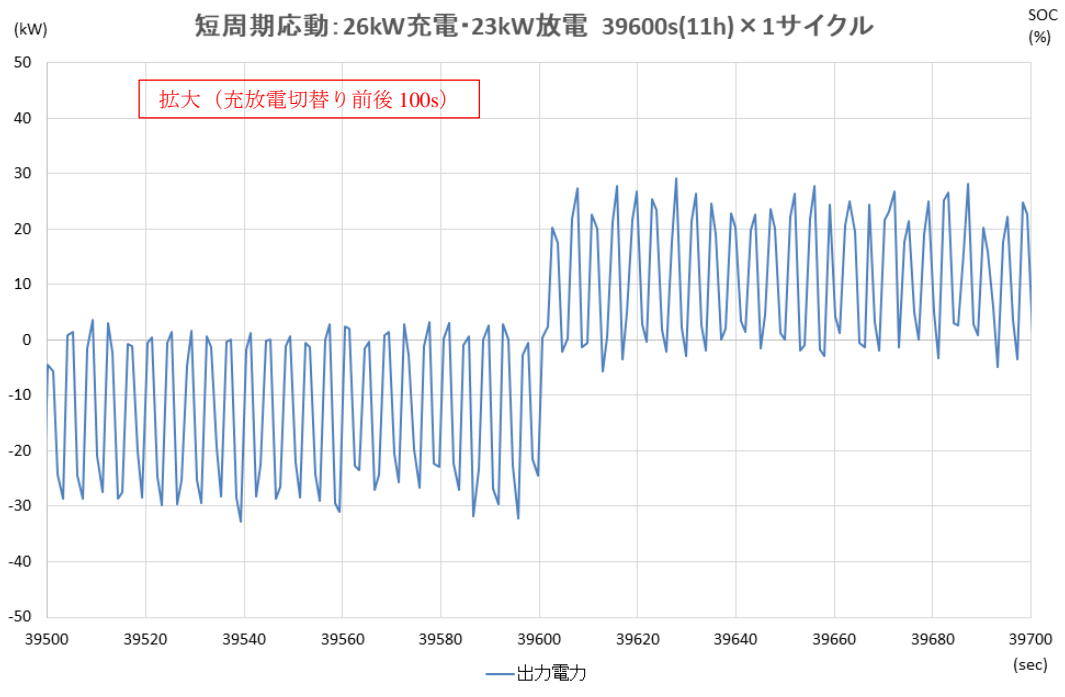


図 S2.12 試験条件 (3) 測定波形 (出力電力、SOC)

(4) 中古品混在による運用評価試験及び中古品性能評価

中古品混在での性能評価を行うため、リユース電池が直列接続されたストリング内に、50%の劣化を模擬した電池（以下、「劣化模擬電池」と記す。）を混在させ、Sweep 機能の有効/無効での充放電試験を行い、劣化模擬電池によらず全ての電池容量の最大使用可否について確認を行う。なお、出力は 65W で試験した。

試験結果を表 S2.5 及び図 S2.13、図 S2.14 に示す。測定結果から、電力量は充電・放電どちらも (1) > (2) となることが確認でき、Sweep 機能を有効にすることで、劣化模擬電池によらず全ての電池容量を最大限使用可能であることを確認できた。

表S2.5 中古品混在による運用評価試験 試験結果一覧

項目	(1) 劣化模擬電池+Sweep 機能有効	(2) 劣化模擬電池+Sweep 機能無効
充電電力量[kWh] (SOC25~75%)	150.6	75.2
放電電力量[kWh] (SOC25~75%)	142.9	73.1

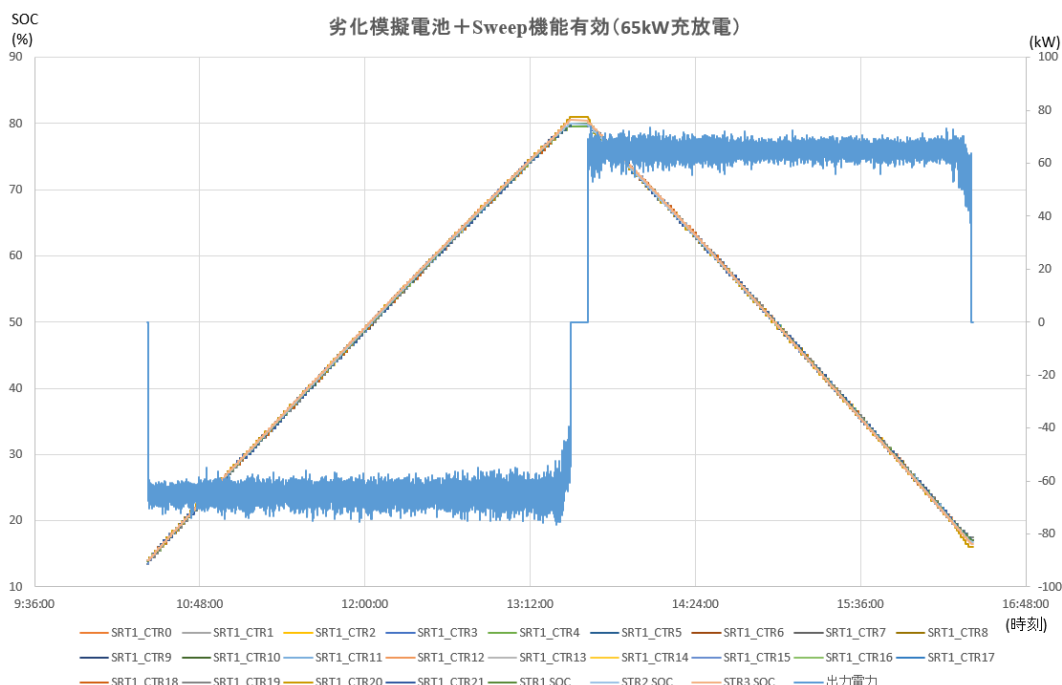


図 S2.13 中古品混在による運用評価試験 劣化模擬電池+Sweep 機能有効時の測定波形

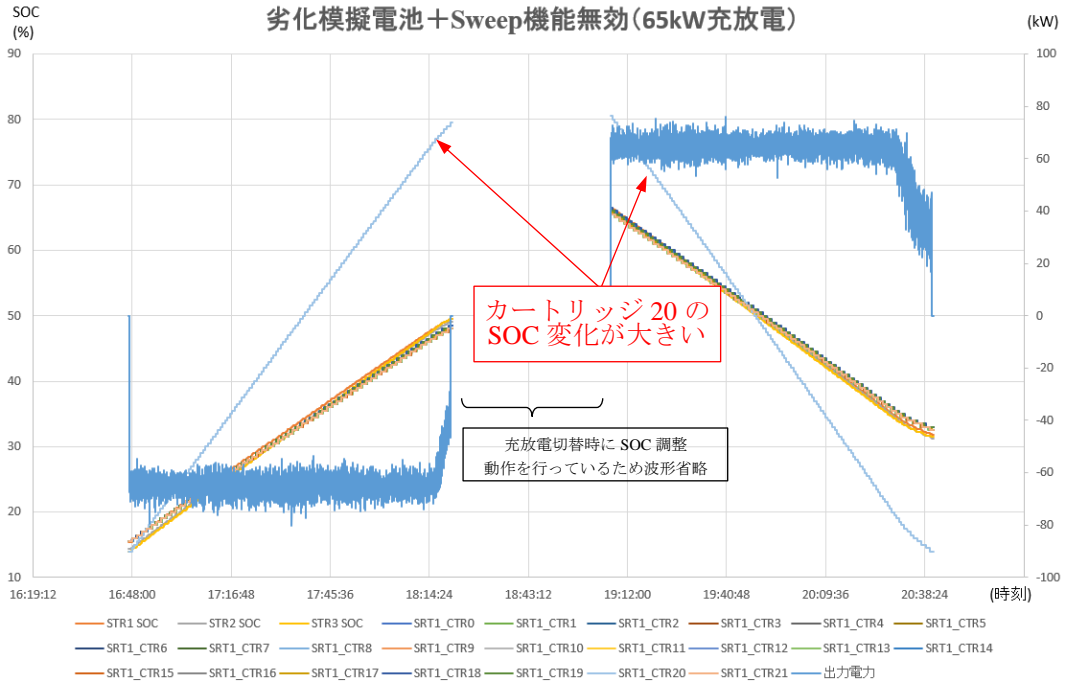


図 S2.14 中古品混在による運用評価試験 劣化模擬電池+Sweep機能無効時の測定波形

(5) リチウムイオン電池とニッケル水素電池等のハイブリッド検討

今回構築した Sweep 機能を活用することにより、ストリング単位で電池仕様を統一した異種電池混合の蓄電システムを構築でき、最小の電池数量で出力及び容量の両方の要求特性を同時に満足できると考えられる。設備構成イメージを図 S2.15 に示す。

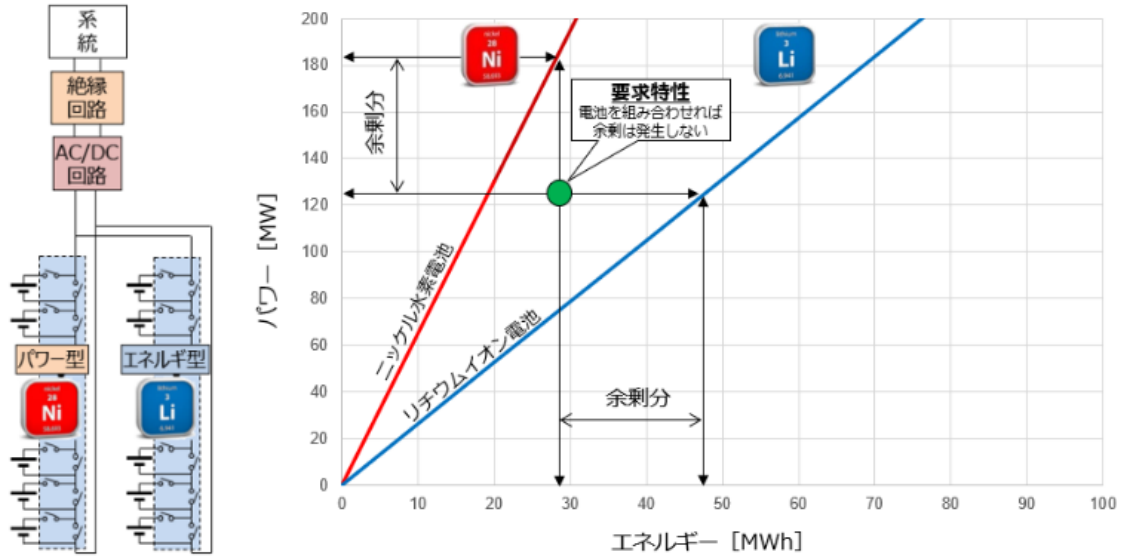


図 S2.15 異種電池の組み合わせによる設備構成 (イメージ)



(6) 車載インバータのリユース検討

図 S2.16 の測定回路を模擬したシミュレーション及び実証設備を構築し試験を行った。バッテリーシミュレータ (BTS1)、車載インバータ、フィルタ、電源発生装置を接続して系統電圧との同期及び、4.5kW の充電試験を行った。試験結果を図 S2.17、図 S2.18 に示す。試験結果から、電圧、電流が逆位相 (力率-1) であり、系統電圧と同期しつつ充電動作していることを確認した。しかし、電圧、電流においてまだ波形に乱れが残っていることから、系統接続するためには系統要件に合致した波形成形について検討を行う必要がある。

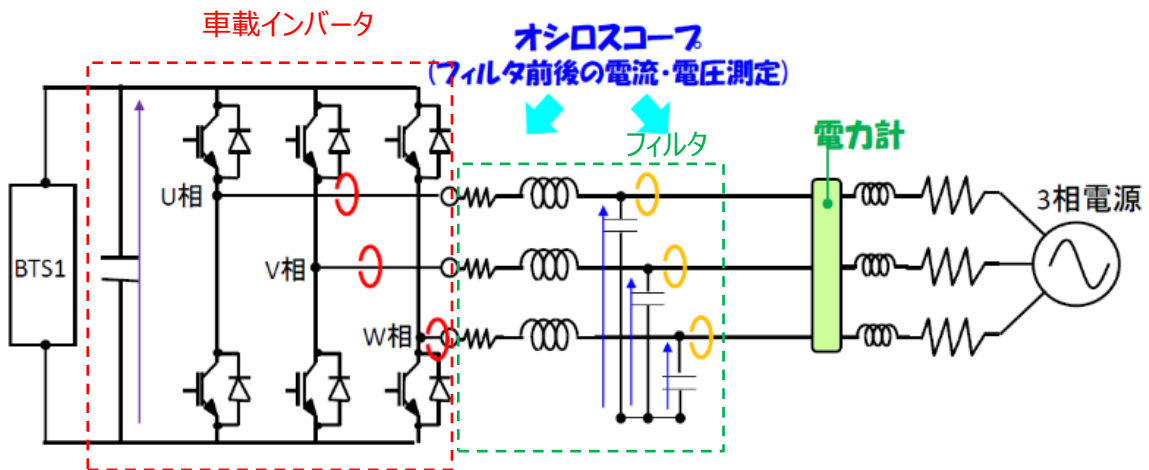


図 S2.16 車載インバータのリユース検討回路

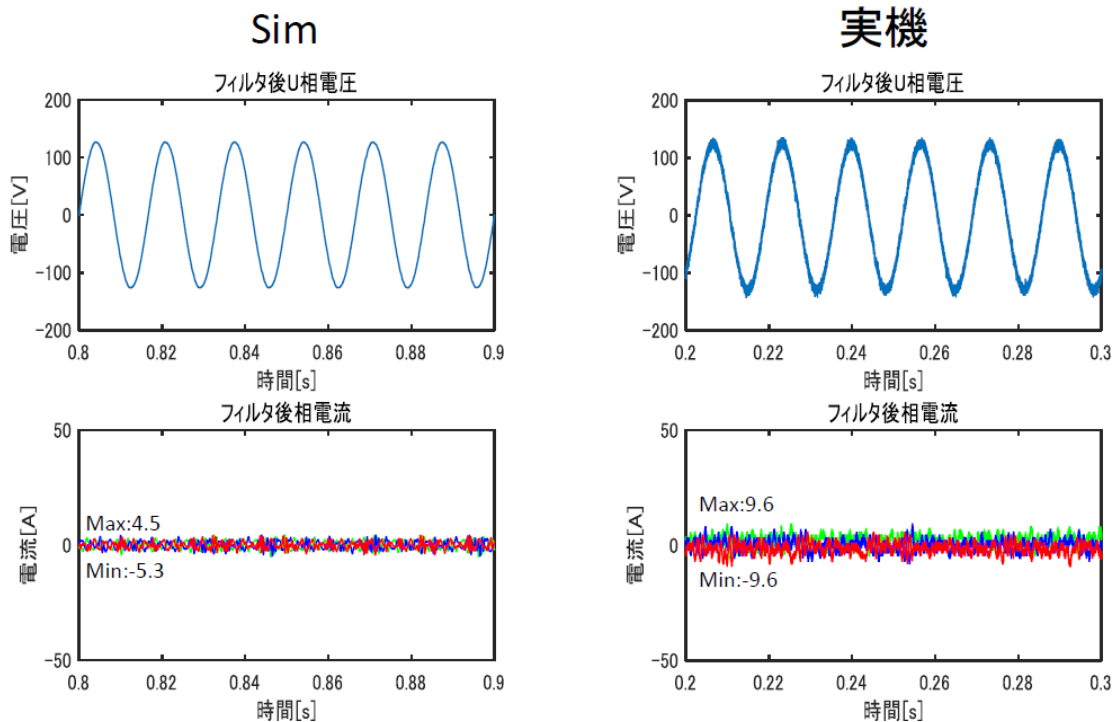


図 S2.17 系統電圧との同期

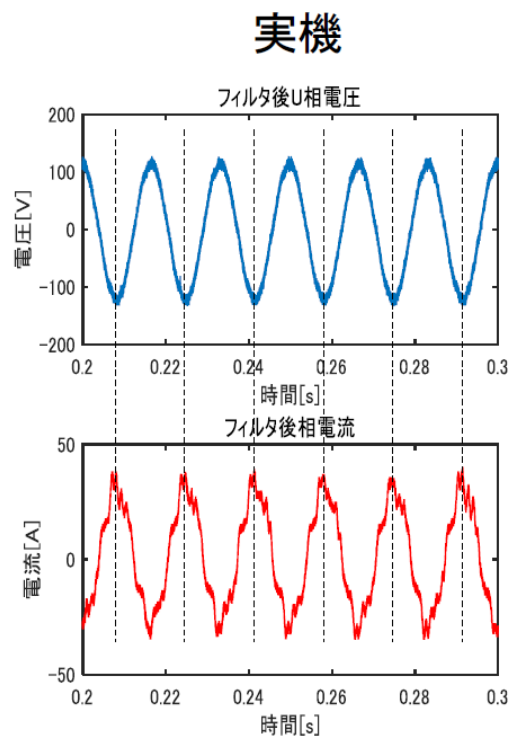
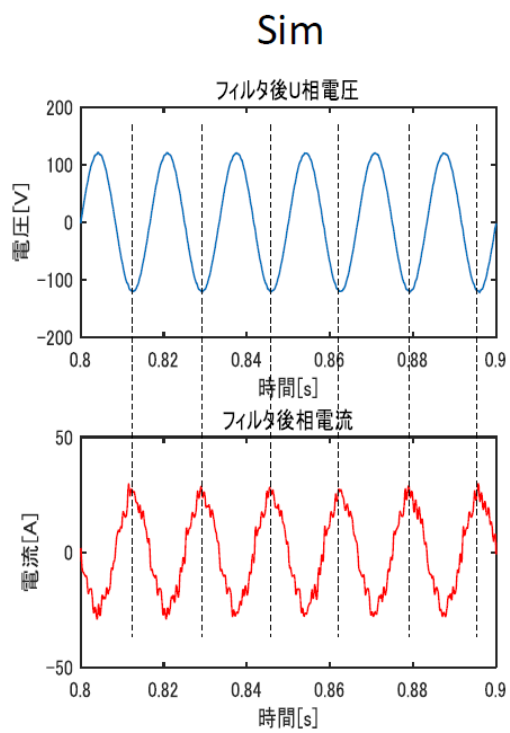


図 S2.18 4.5kW 充電試験

### 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。

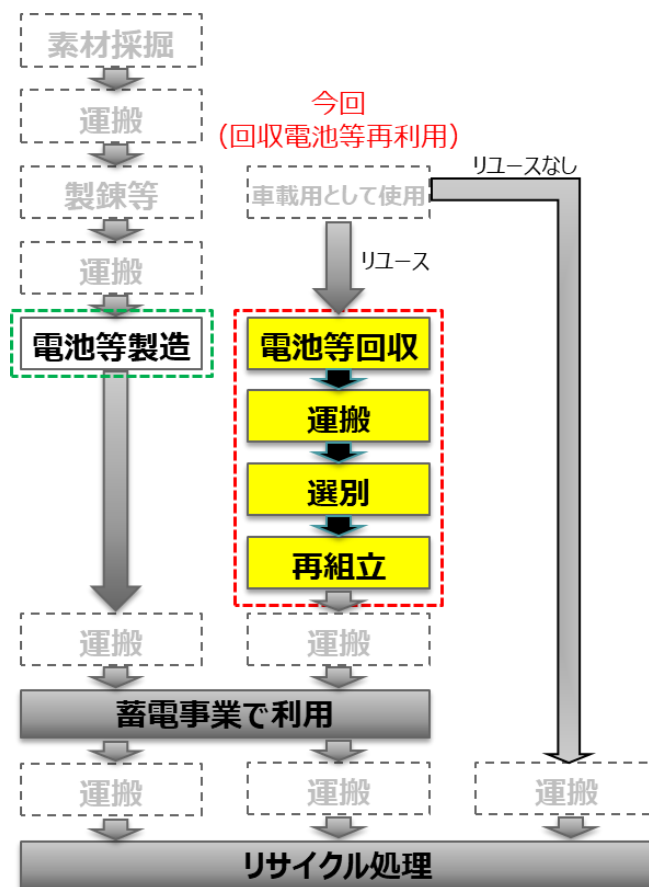


図 S3.1 新品電池製造及びリユース事業の各工程

#### (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 と仮定した。

ベースラインについては 10MW、10MWh 当たりの CO2 排出量を試算した結果、1016.18t 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 5.50t 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。

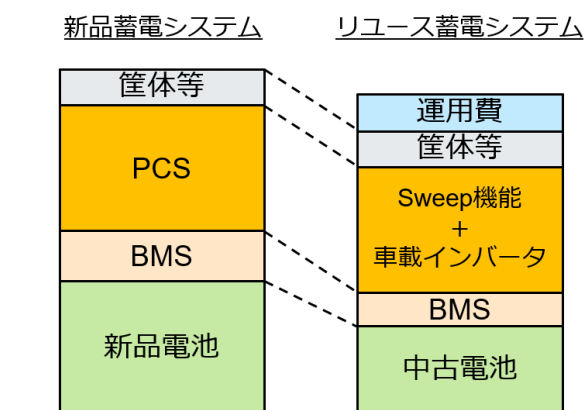


図 S4.1 新品蓄電システムとリユース蓄電システムの構築コスト（イメージ）

##### (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。

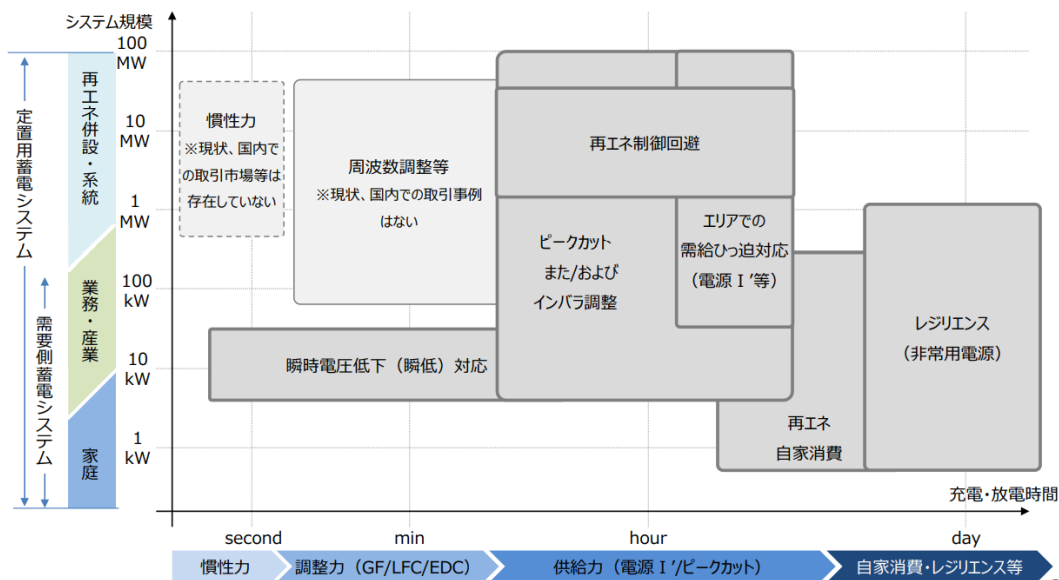


図 S4.2 定置用蓄電システムの設置場所とユースケース

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。

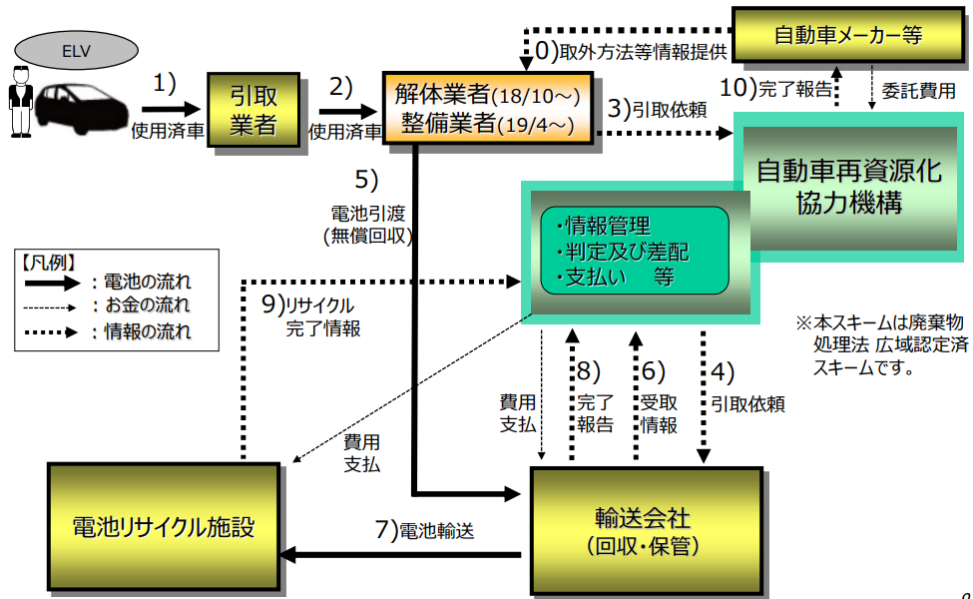


図 S4.3 使用済み車のリサイクルプロセスフロー

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



# Summary

## 1. Background

It is expected that a large number of used batteries will come into existence in the near future due to the recent spread of vehicles with electric motors such as EVs. Prediction of newly available used batteries is shown in Fig. S1.1.

Current technology to reuse batteries in vehicles is small scale and limited the same battery type and similar level of remaining capacity, leaving most of the used batteries being exported together with vehicles, and making the number of used batteries recovered and reused domestically quite limited. Fig. S1.2 and S1.3 show the number of used cars exported and the number of used batteries recovered.

Also, recycling technology is mainly about incineration followed by resource material recovery from residue and slag because it is easy to implement, which makes purity and recovery rates of recovered materials, including valuable metals, low and CO2 emissions from incineration an issue.

This demonstration project is to develop the following technologies with goals of achieving significant reductions in CO2 emissions throughout the life cycle, developing a system to circulate batteries with exhaustible resources domestically, preventing them from flowing out to overseas, and promoting secondary use of used lithium ion batteries with large performance differences by enhancing their safety, reliability, and price competitiveness.

- Safe and stable reuse control technology for used lithium ion batteries regardless of their deterioration conditions and types
- Technology for utilizing automotive parts other than used lithium-ion batteries to further expand the scope of reuse

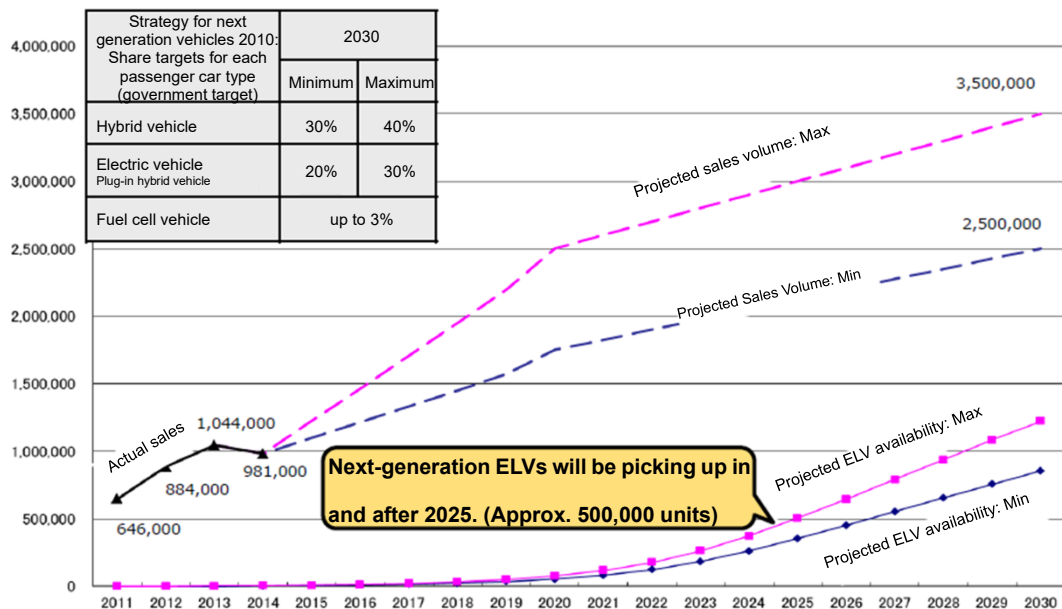


Fig. S1.1: Projected share of next-generation vehicles, Projected ELV (used vehicle) availability  
Source: Material from the 2019 Joint Meeting of the Industrial Structure Council and the Central Environment Council of the Japan Automobile Manufacturers Association, document 6-2



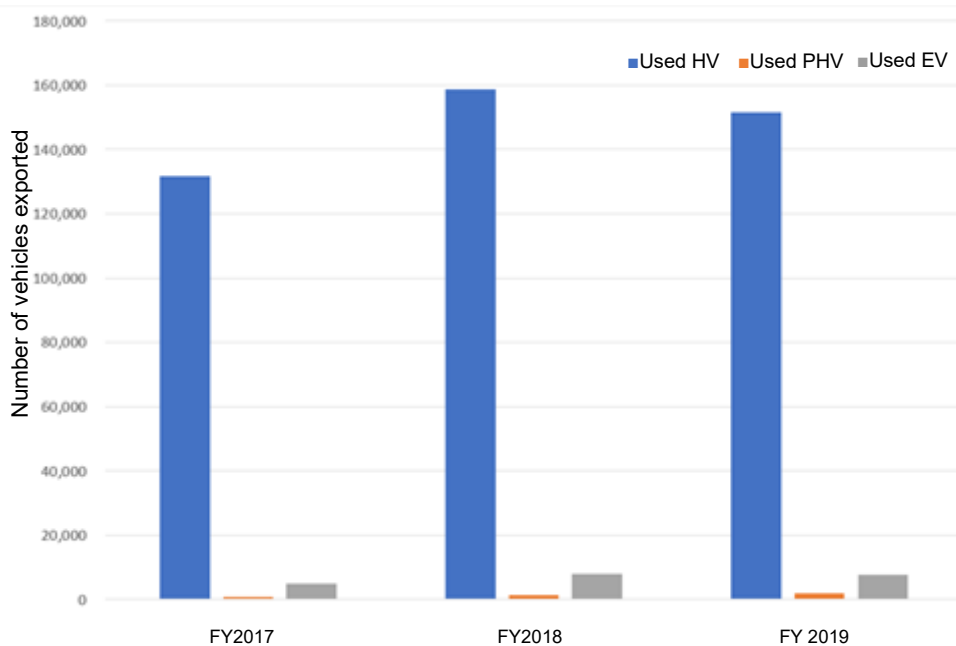


Fig. S1.2 Number of used cars (hybrid, plug-in hybrid, electric vehicle) exported  
Source: Trade Statistics, Ministry of Finance

	Li-ion battery	Nickel hydrogen battery	
Manufacturer's name	Isuzu Motors Limited SUBARU Co., Ltd. Nissan Motor Co., Ltd. Mazda Motor Corporation Mitsubishi Fuso Truck and Bus Corporation UD Trucks Co., Ltd.	Suzuki Corporation Toyota Motor Corporation Honda Motor Co., Ltd. Mitsubishi Motors Corporation Yamaha Motor Co., Ltd.	SUBARU Co., Ltd. Toyota Motor Corporation Nissan Motor Co., Ltd. Hino Motors, Ltd. Honda Motor Co., Ltd. Mazda Motor Corporation Mitsubishi Motors Corporation
Actual recovery	<b>FY 2019: 3,014</b> ( FY 2018: 2,364 FY 2017: 943 FY 2016: 656 )	FY 2019: 6,694 ( FY 2018: 7,214 FY 2018: 6,140 FY 2018: 4,839 )	
(Note) Totals from ELVs for each company			

Fig. S1.3 Actual number of recovered used batteries

Source: Material from the 2020 Joint Meeting of the Industrial Structure Council and the Central Environment Council of the Japan Automobile Manufacturers Association, document 4 -2

## 2. Implementation of the demonstration project

To develop a battery ecosystem to circulate used batteries, which are expected to come into existence in large quantity in and after 2025, it is necessary to expand and optimize the configuration of facilities using reuse batteries. Therefore, a minimum unit for a large-capacity power storage system was developed as a pilot facility assuming real operation, and an operation test was conducted by combining each control system and equipment. The main equipment used in the pilot facility is shown in Table S2.1, specifications of the used lithium-ion batteries are shown in Table S2.2, and the system configuration is shown in Fig. S2.1. The demonstration facility for reuse batteries was developed as a 135 kW power storage system, connecting 3 strings in parallel, each string connecting 22 cartridges in a series, and each cartridge (DC44.4 V) being a minimum control unit. Also, a battery control system has been developed that can charge and discharge batteries with different deterioration conditions efficiently even when large numbers of them are connected to form large capacity. We also examined the use of inverters in vehicles as PCS (Power Conditioning System) substitutes.

Table S2.1 Function of each equipment

Equipment name	Function
Power Conditioning System (PCS)	Bidirectional AC/DC converter for converting system side AC 400 V to battery voltage DC 650 V
Power Management Unit (PMU)	Executing the following functions through two-way communication with the host data collection unit, GCU, and PCS <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmission of various information to data collection equipment</li> <li>• Touch panel communication (command setting, monitor)</li> <li>• Transmission of charge/discharge control command to PCS and GCU</li> <li>• Collection of information from GCU and PCS to perform charge/discharge control</li> </ul>
Group Control Unit (GCU)	Executing the following functions through two-way communication with the host system <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmission of overall group conditions to PMU and the data collection device</li> <li>• Transmission of the command from PMU to each SCU</li> <li>• Collection of detailed information of each cartridge</li> </ul>
String Control Unit (SCU)	Executing the following functions through two-way communication with GCU <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmission of connection/disconnection signal to SU to realize the power level instructed from GCU</li> <li>• Determination of which SU to disconnect based on the cartridge information (battery conditions) from SU</li> <li>• Summarization of conditions of each SU under the control of SCU and notification of such to GCU.</li> </ul>
Sweep Unit (SU)	Executing following functions through two-way communication with SCU <ul style="list-style-type: none"> <li>• Connection/disconnection of a cartridge according to the connection/disconnection signal from SCU</li> <li>• Monitoring of cartridge information (battery conditions)</li> <li>• Notification of cartridge information (battery conditions) to SCU</li> </ul>

Table S2.2 Specifications of used lithium-ion batteries, etc. used in the project

Item	Specifications (per string)	Specifications (3 strings)
Rated power	45 kW	135 kW
Rated voltage	650kV	
Rated current	69.2A	207.6A
Rated power capacity	97 kWh	291 kWh
Operating temperature	0~40°C	
Number of cartridges	22	66
Cell configuration in a cartridge	2 parallels x 12 series	

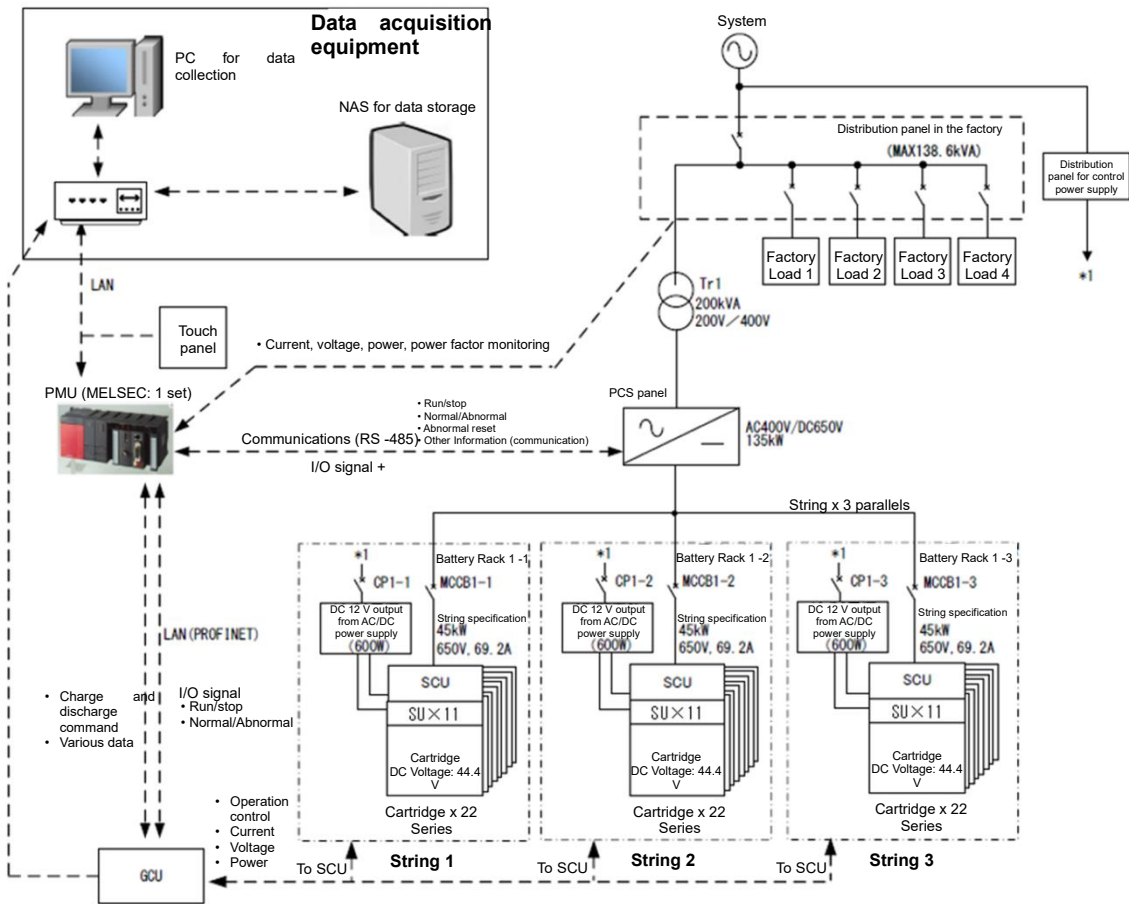


Fig. S2.1 System configuration of the demonstration facility

In the demonstration tests, the following was conducted: PCS response test to confirm the basic characteristics of the developed power storage system; charge-discharge test at a fixed output level for a fixed period of time, and a short cycle response test to confirm compliance with the requirements of the supply-demand adjustment market and the capacity market in the electric power system; test to evaluate operation with used products included and performance evaluation of used products; and study of hybrids such as a combination of lithium-ion and nickel-metal batteries. We also examined the use of inverters in vehicles as PCS (Power Conditioning System) substitutes.

(1) PCS response test

Durations were measured between transmission of command values and acceptance of the command values in 6 patterns of (1) stop → charge, (2) charge → stop, (3) stop → discharge, (4) discharge → stop, (5) charge → discharge, and (6) discharge → charge to confirm that all of them operate at a response speed of a short duration of less than 0.2 seconds. The test method is shown in Fig. S2.2.

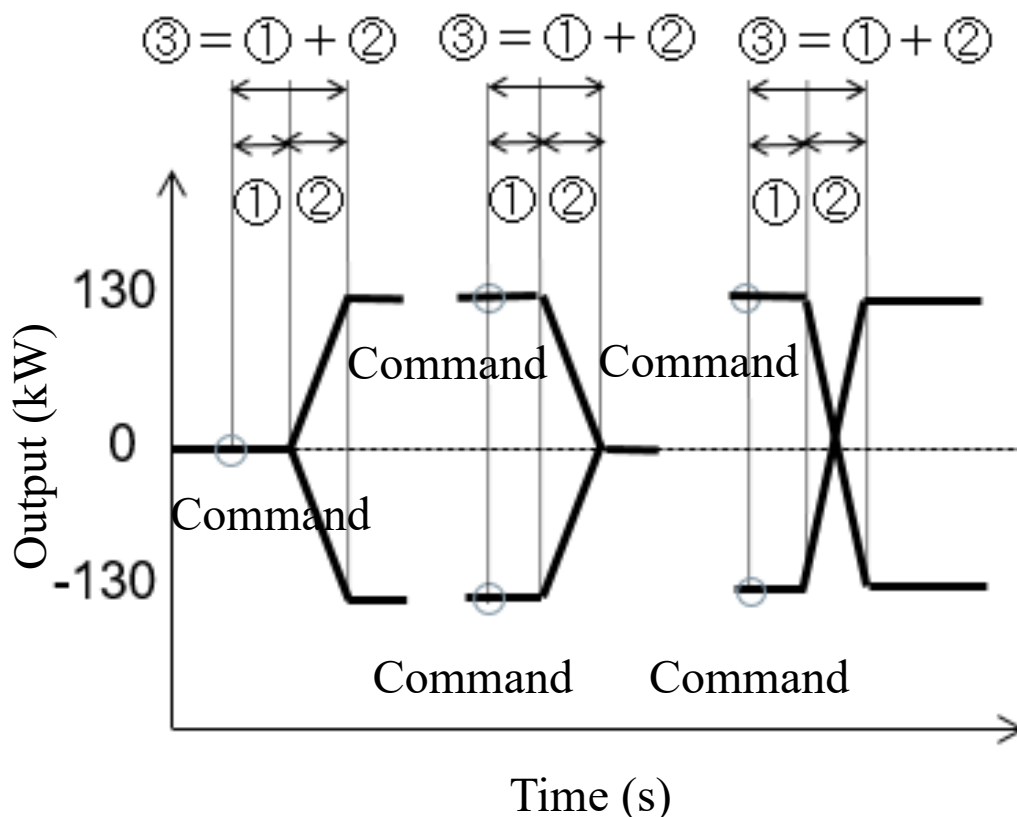


Fig. S2.2 PCS Response test, waveform image

(2) Test for charging/discharging at a fixed output level for a fixed period of time

In order to confirm compliance with the requirements of the supply-demand adjustment market and the capacity market, a test was conducted in which charging and discharging were repeated at a fixed output level for a fixed period of time. The test method is shown in Table S2.3 and Fig. S2.3.

Table S2.3 Test for charging/discharging at a fixed output level for a fixed period of time

Conditions	Duration [s]	Charge [kW]	Discharge [kW]
(1)	300	130	117
(2)	1800	130	117
(3)	10800	48	43
(4)	39600	13	11
(5)	57600	9	8

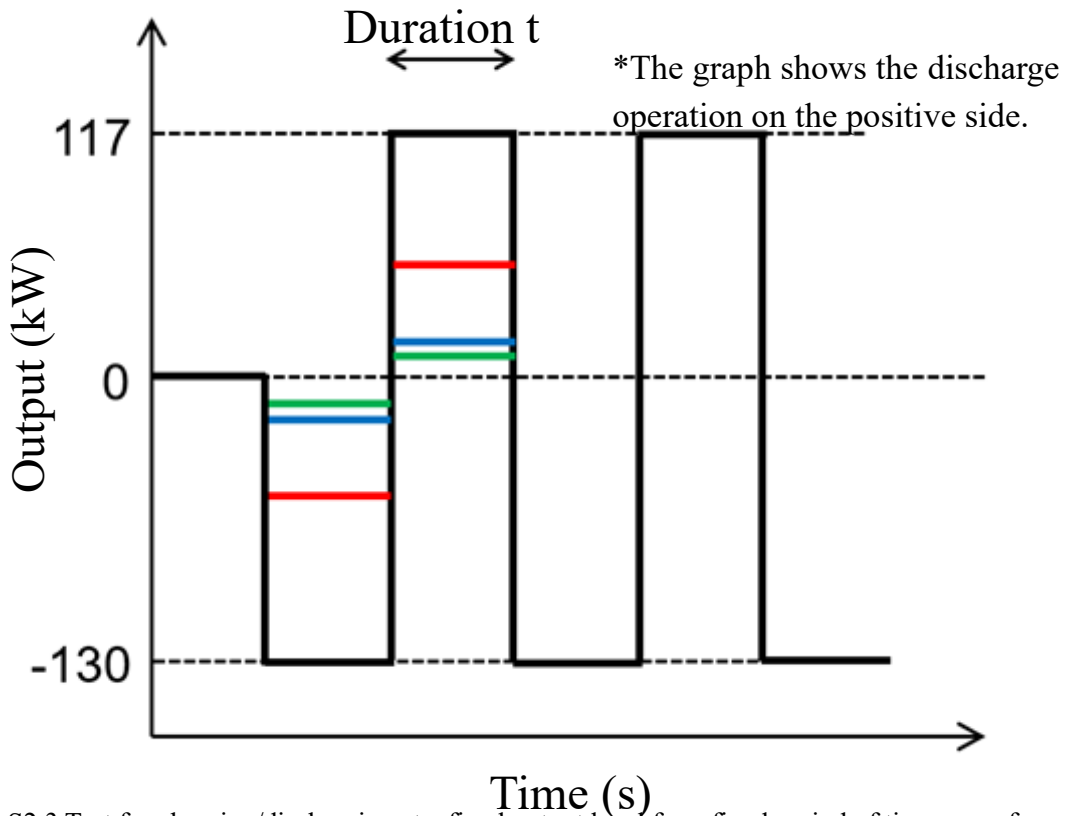


Fig. S2.3 Test for charging/discharging at a fixed output level for a fixed period of time, waveform image

The test results are shown in Fig. S2.4 through S2.8. Although there emerged about 2-5% SOC deviation on the charging side, it was confirmed that charging and discharging were possible under all test conditions (1) to (5). Also, there appeared a fluctuation of about  $\pm 10$  kW at the maximum in the output power, which can be attributed to the influence of a ripple current generated from switching control to control current.

When SOC is used in the vicinity of the lower limit of use, the output may be limited depending on the set conditions, and the required output may not be supplied. Therefore, in actual operation, it is necessary to configure a system in which the output or operation duration can be changed while observing the state of the battery, instead of setting the output of the charge and discharge to a fixed value. Also, in order to supply stable output power, it is necessary to suppress the ripple current as much as possible on the AC equipment side.

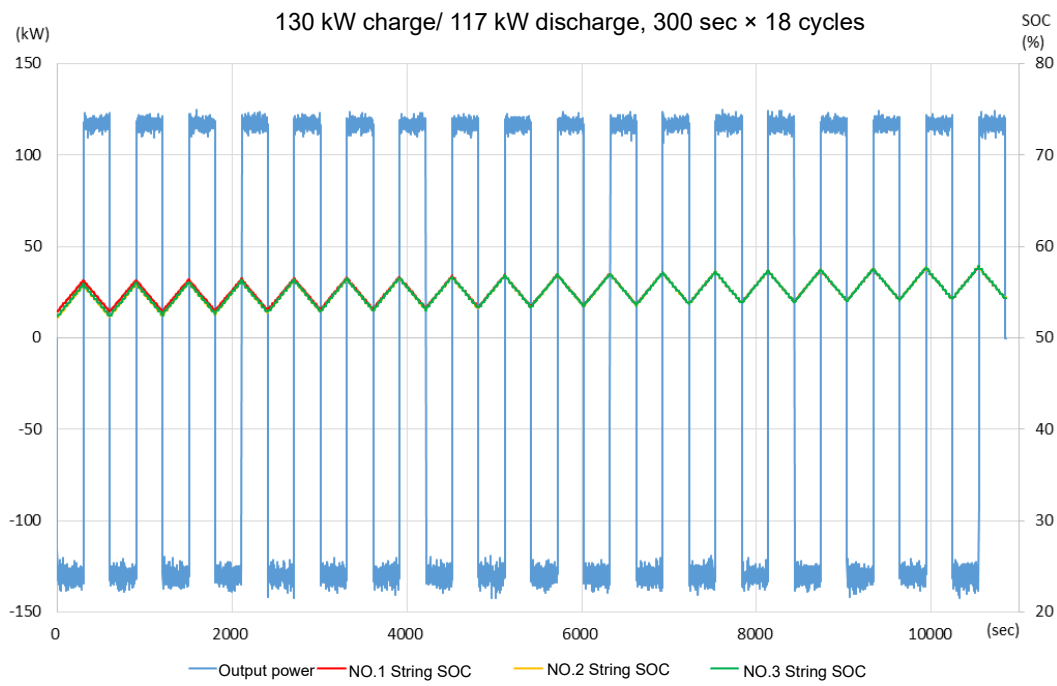


Fig. S2.4 Test conditions (1) Measured waveform (Output power, SOC)

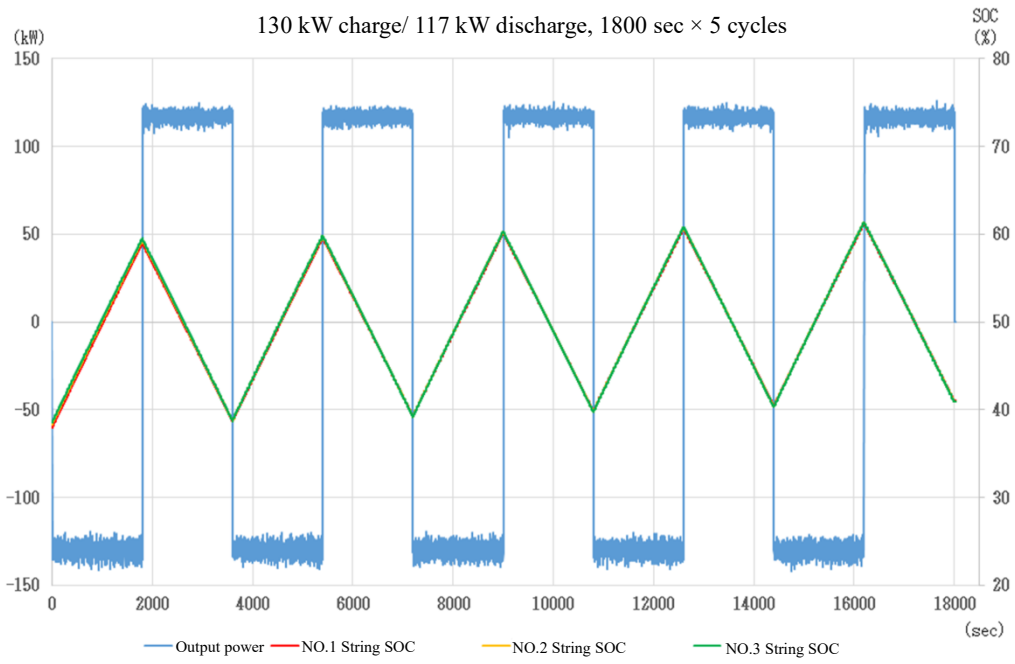


Fig. S2.5 Test conditions (2) Measured waveform (Output power, SOC)

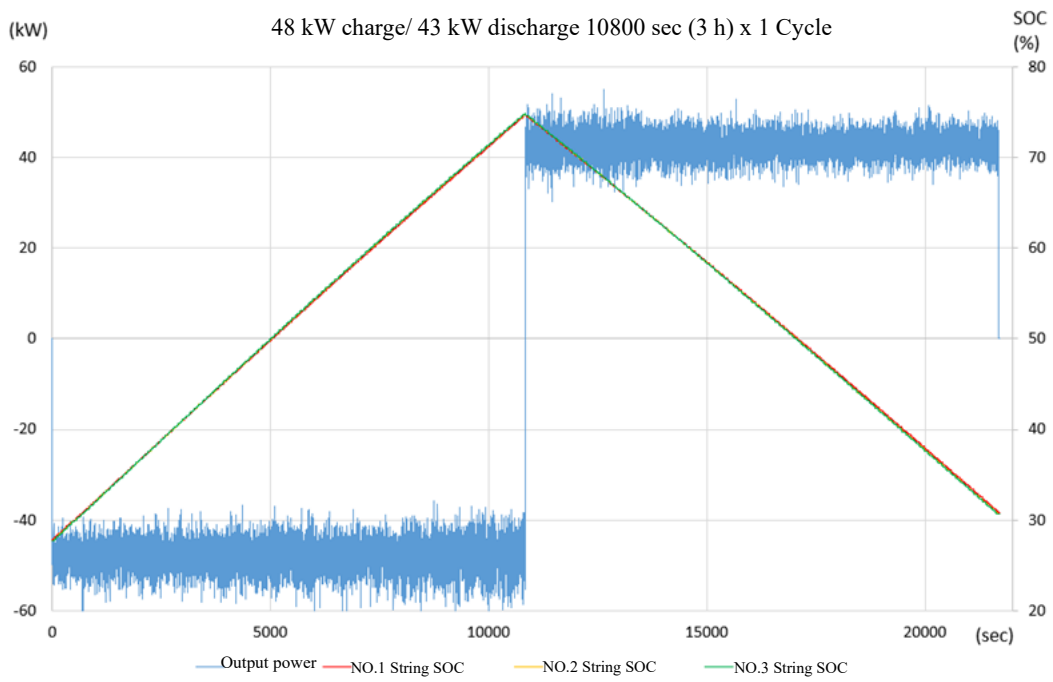


Fig. S2.6 Test conditions (3) Measured waveform (Output power, SOC)

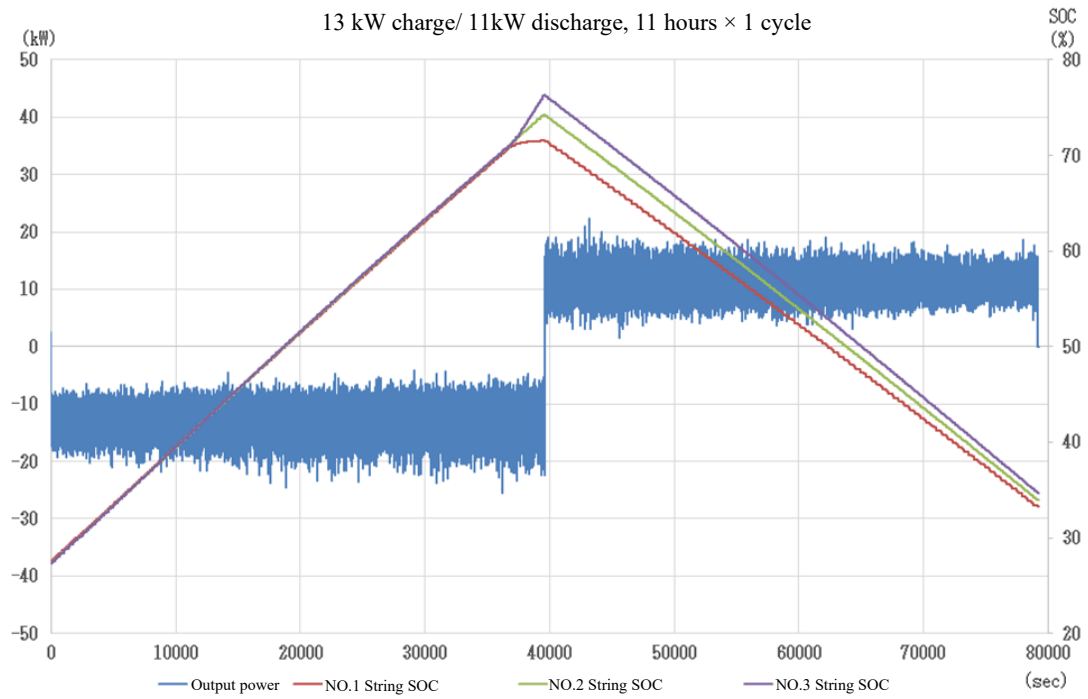


Fig. S2.7 Test conditions (4) Measured waveform (Output power, SOC)

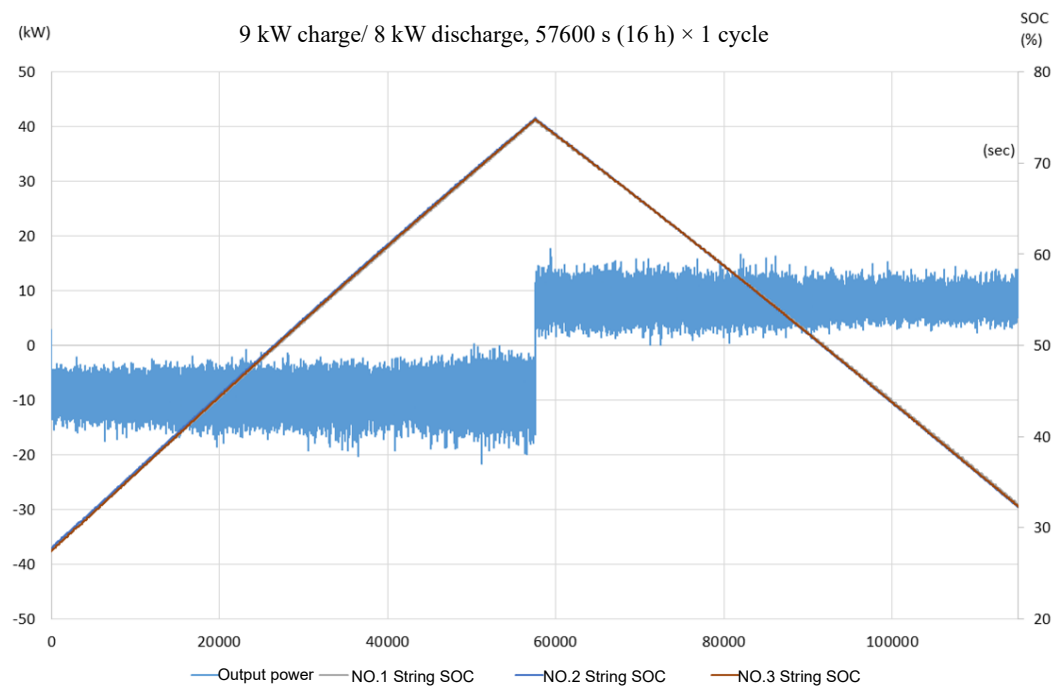


Fig. S2.8 Test conditions (5) Measured waveform (Output power, SOC)



(3) Short cycle response test

In order to confirm compliance with the requirements of the supply-demand adjustment market and the capacity market, a test was conducted in which charging and discharging were repeated in a short cycle (2 seconds). The test method is shown in Table S2.4 and Fig. S2.9.

Table S2.4 Short cycle response test

Conditions	Duration [s]	Charge [kW]	Discharge [kW]
(1)	300	130	117
(2)	1800	130	117
(3)	39600	26	23

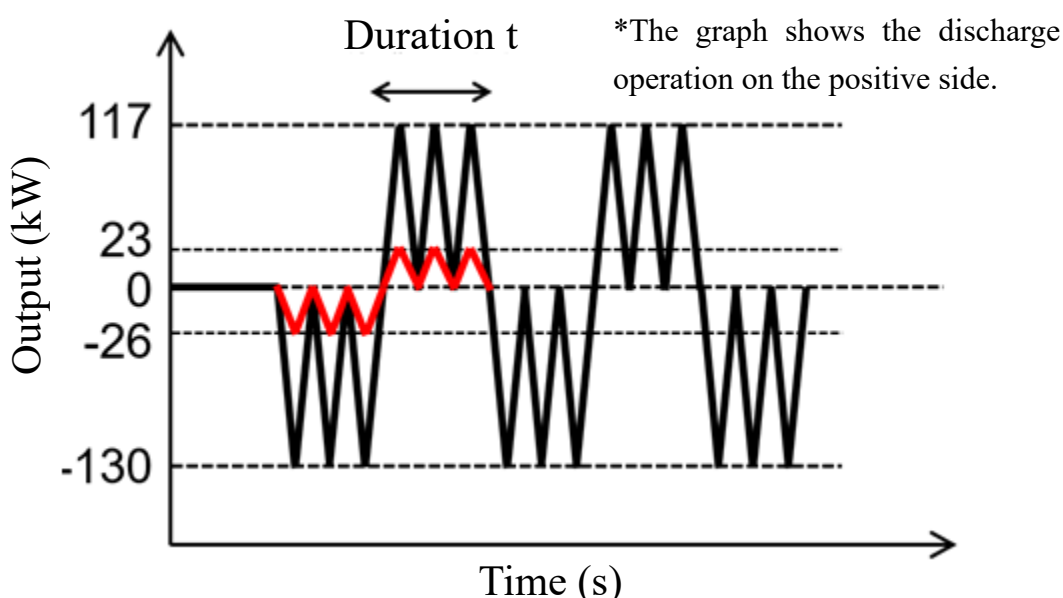


Fig. S2.9 Short cycle response test, waveform image

The test results are shown in Fig. S2.10 through S2.12. Although there emerged about 2-4.5% SOC deviation on the charging side, it was confirmed that charging and discharging in a short cycle were possible under all test conditions (1) to (3). Also, there appeared a fluctuation of about  $\pm 10$  kW at the maximum in the output power, which can be attributed to the influence of a ripple current generated from switching control to control current.

When SOC is used in the vicinity of the lower limit of use, the output may be limited depending on the set conditions, and the required output may not be supplied. Therefore, in actual operation, it is necessary to configure a system in which the output or operation duration can be changed while observing the state of the battery, instead of setting the output of the charge and discharge to a fixed value. Also, in order to supply stable output power, it is necessary to suppress the ripple current as much as possible on the AC equipment side.

Short cycle response (2 s interval): 130 kW charge/ 117 kW discharge 300 s × 18 cycles (enlarged)

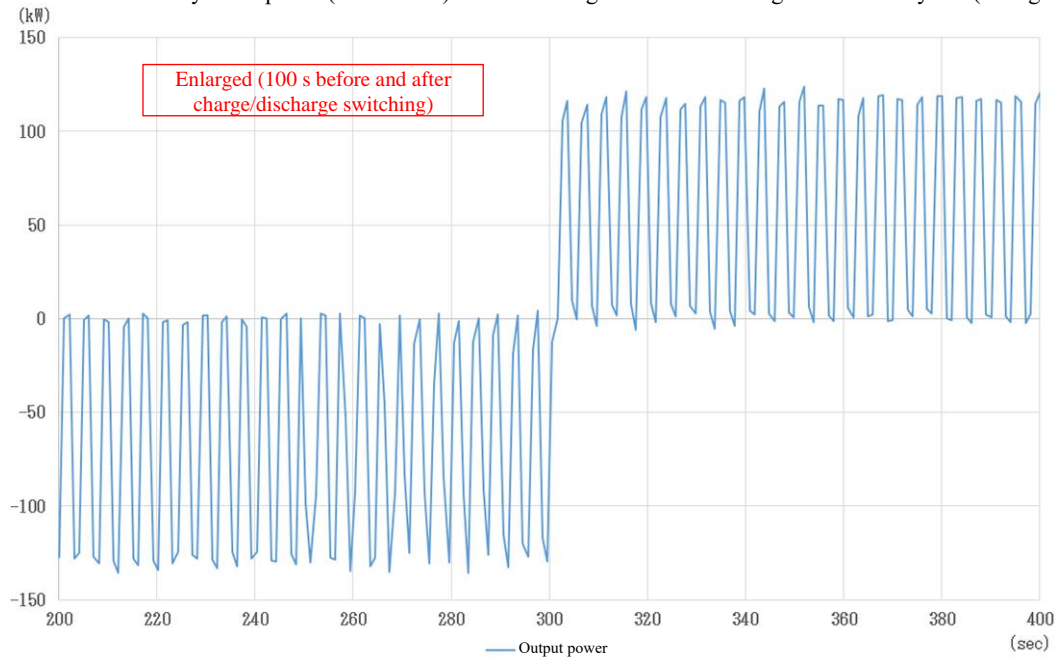


Fig. S2.10 Test conditions (1) Measured waveform (Output power, SOC)

Short cycle response: 130 kW charge/ 117 kW discharge, 1800 sec × 5 cycles

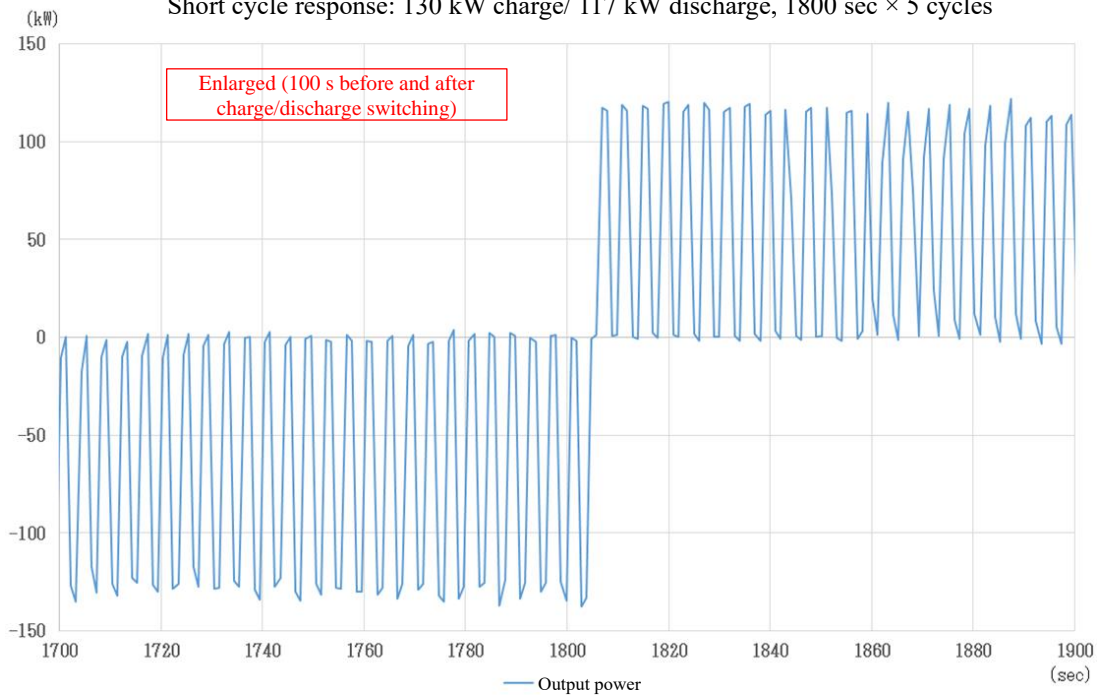


Fig. S2.11 Test conditions (2) Measured waveform (Output power, SOC)

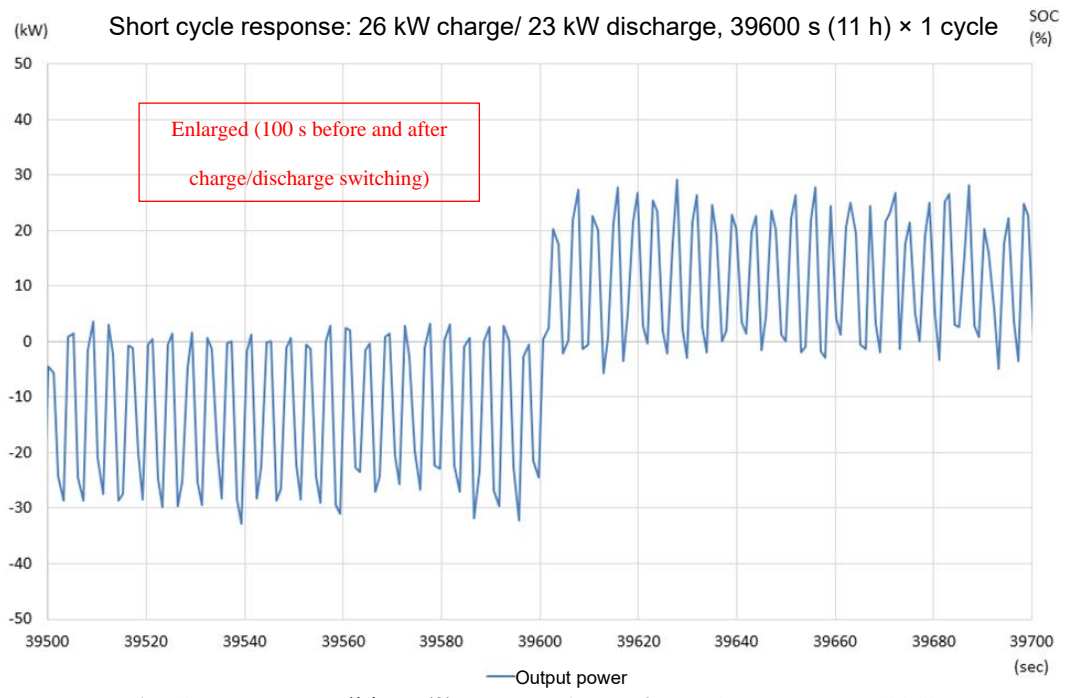


Fig. S2.12 Test conditions (3) Measured waveform (Output power, SOC)

(4) Test to evaluate operation with used products included and performance evaluation of used products

In order to evaluate performance with used batteries included, batteries simulating 50% deterioration (hereinafter referred to as “degradation simulation batteries”) were included in a string in which reuse batteries were connected in a series, and charge/discharge tests with the Sweep function enabled/disabled were conducted to confirm the full usage of all battery capacities regardless of the deteriorated simulated batteries. The test was conducted with output set at 65 W.

The test results are shown in Table S2.5 and Fig. S2.13, S2.14. From the measurement results, it was confirmed that the amount of electric power was (1) > (2) for both charge and discharge and, by enabling the Sweep function, it was confirmed that all battery capacities can be used to their fullest, regardless of the degradation simulation battery.

Table S2.5 List of test results, Test to evaluate operation with used products included

Item	(1) Degradation simulation battery + Sweep function enabled	(2) Degradation simulation battery + Sweep function disabled
Charged power [kWh] (SOC25-75%)	150.6	75.2
Discharged power [kWh] (SOC25-75%)	142.9	73.1

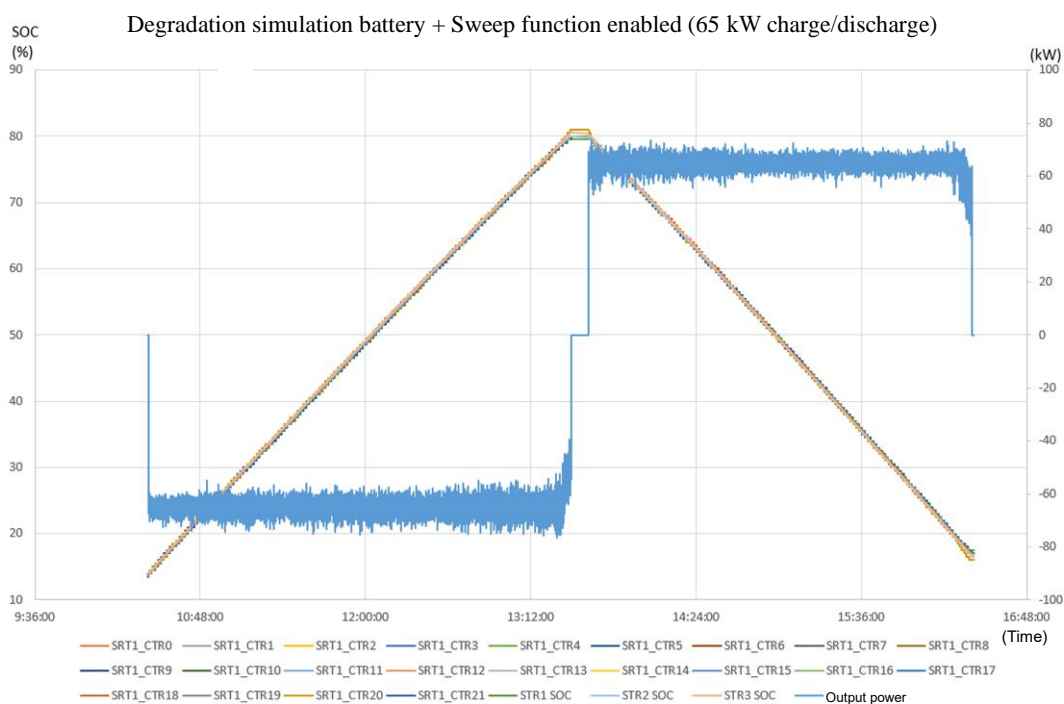


Fig. S2.13 Measured waveform when degraded simulated battery + Sweep function enabled, test to evaluate operation with used products included

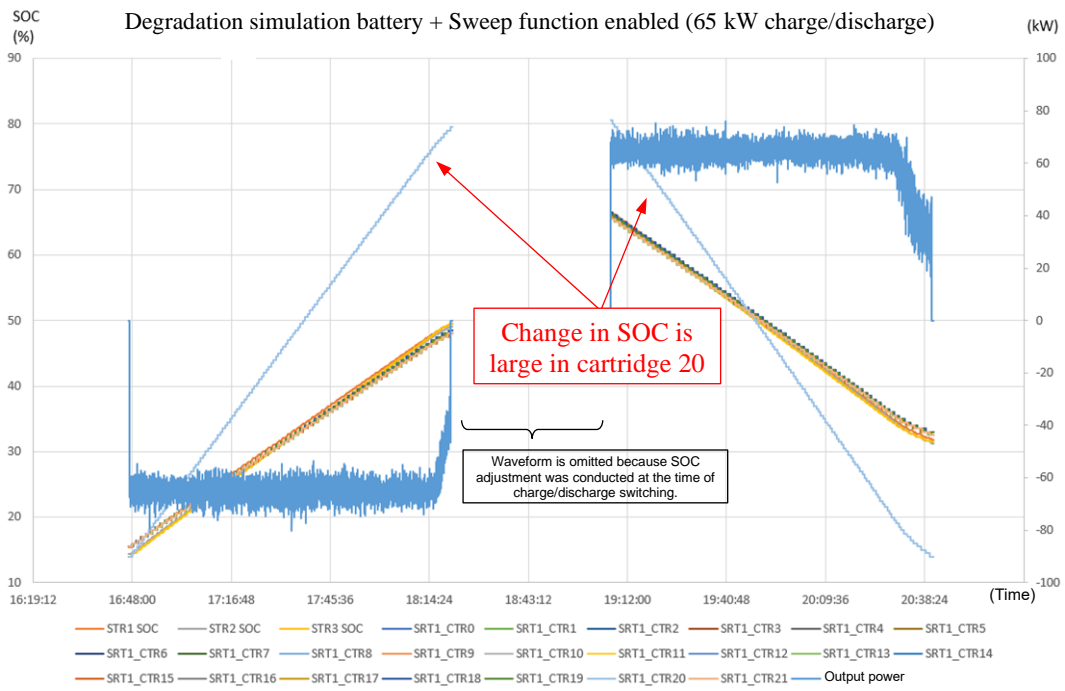


Fig. S2.14 Measured waveform when degraded simulated battery + Sweep function disabled, test to evaluate operation with used products included

(5) Study of hybrids such as a combination of lithium-ion and nickel-metal batteries

By utilizing the Sweep function developed this time, it is possible to construct a storage system using different types of batteries with battery specifications unified within a string unit, and the system should satisfy the required characteristics of both output and capacity simultaneously with the minimum battery quantity. The equipment configuration image is shown in Fig. S2.15.

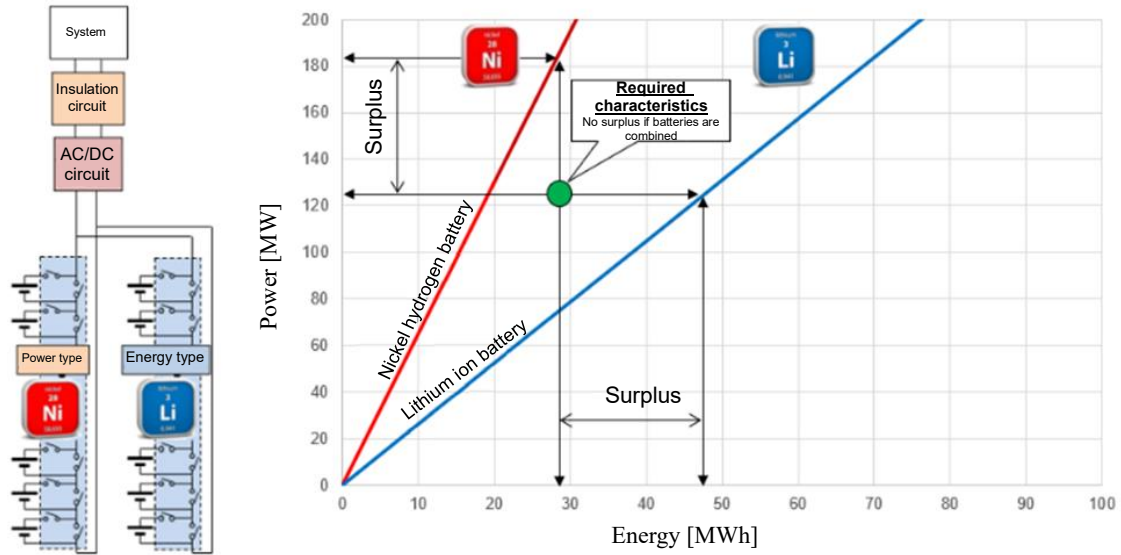


Fig. S2.15 Facility configuration combining different types of batteries (image)

(6) Reuse of automotive inverters

A simulation of the measurement circuit of Fig. S2.16 and demonstration facility were developed and tests were conducted. A battery simulator (BTS1), an in-vehicle inverter, a filter, and a power supply generator were connected, and synchronization with grid voltage and a 4.5 kW charging test were conducted. The test results are shown in Fig. S2.17 and S2.18. From the test results, it was confirmed that the voltage and current were in opposite phase (Power Factor -1), and the charging operation was performed while synchronizing with the grid voltage. However, since some distortion remains in the waveform of the voltage and current, it is necessary to study the wave formation that meets the grid requirements in order to connect to the grid.

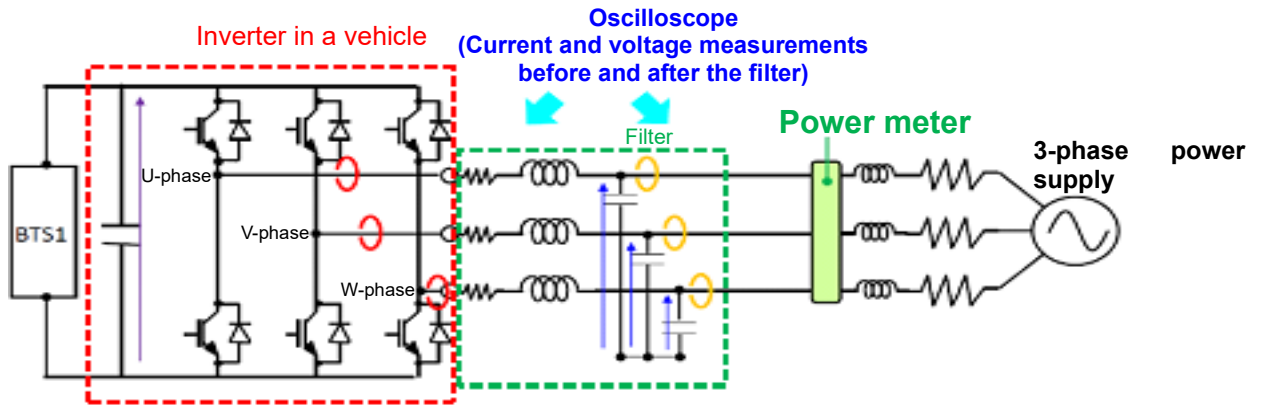


Fig. S2.16 Study circuit of automotive inverter reuse

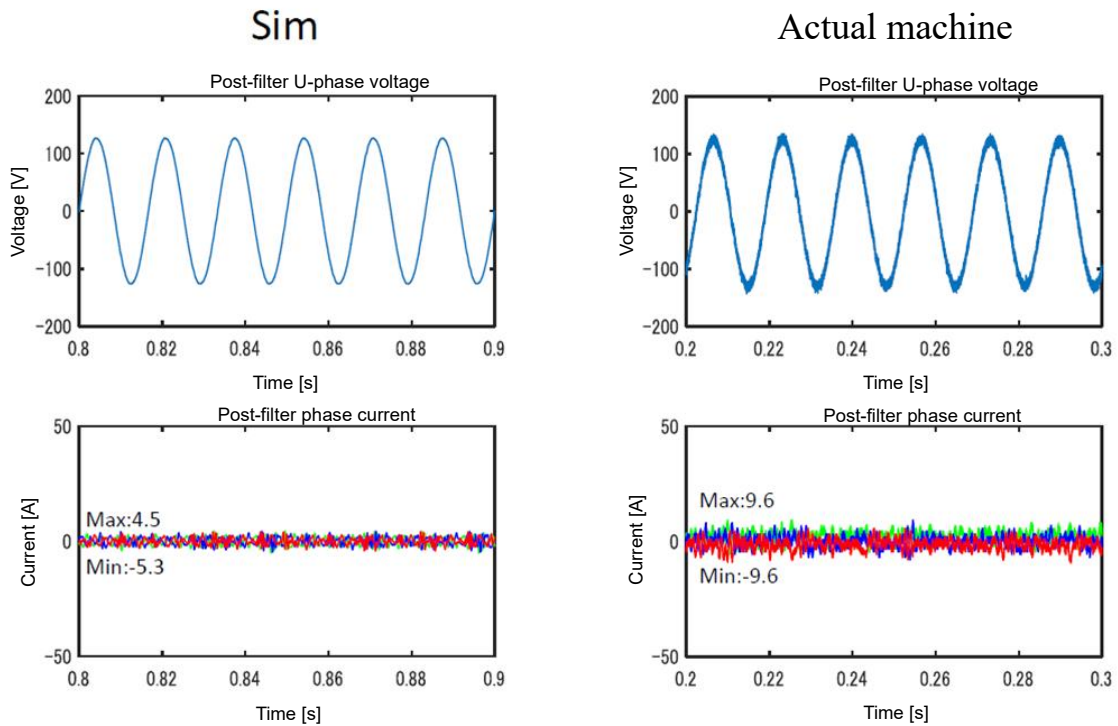
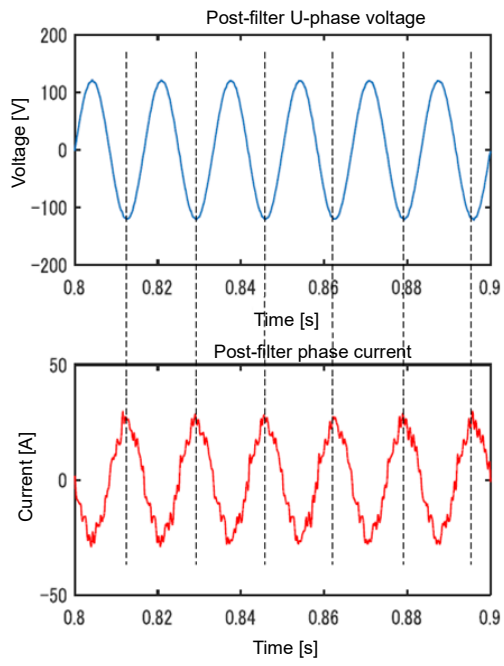


Fig. S2.17 Synchronization with grid voltage

### Sim



### Actual machine

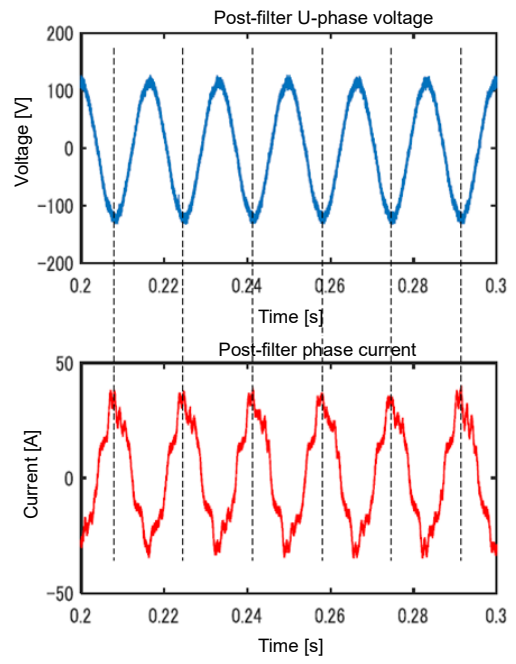


Fig. S2.18 4.5 kW charging test



### 3. Impact on environment improvement and CO2 emission reduction

Fig. S3.1 shows the main processes of manufacturing new batteries as the baseline and the reuse business this time reusing collected batteries.

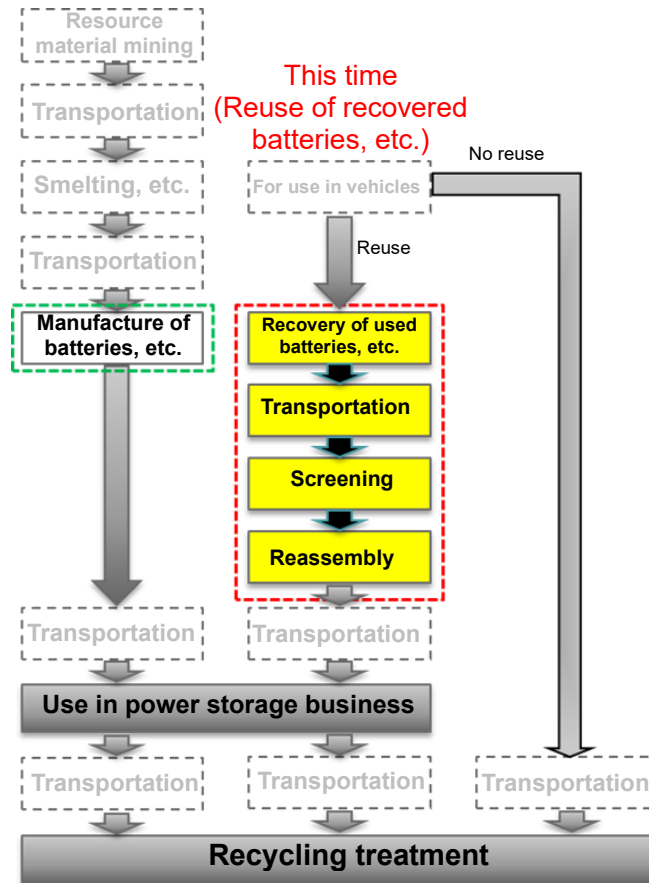


Fig. S3.1 Processes of new battery manufacturing and reuse business

(1) Impact on environmental improvement

Although not subject to evaluation in this demonstration project, reuse of in-vehicle batteries is expected to have a positive impact on reducing resources and energy required to manufacture new batteries in the baseline.

(2) Impact on CO2 emissions reduction

In the impact evaluation of the environmental improvement, 10 MW and 10 MWh were assumed for a power storage system to be connected to the grid.

For the baseline, the estimated CO2 emissions per 10 MW and 10 MWh is 1016.18 tons. On the other hand, CO2 emissions calculated based on this project is estimated to be 5.50 tons, confirming its superiority over the baseline.

#### 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.

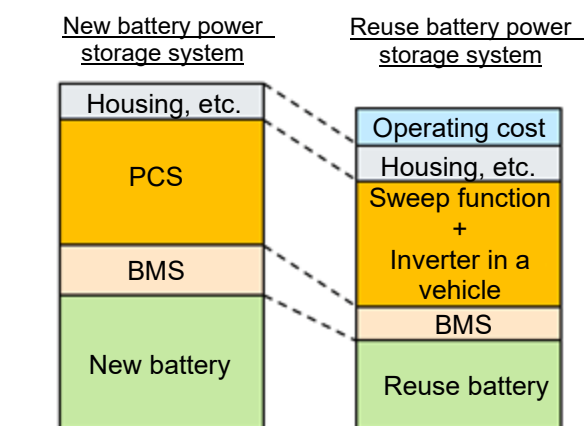


Fig. S4.1 Construction cost of new battery storage system and reuse battery storage system (image)

##### (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.

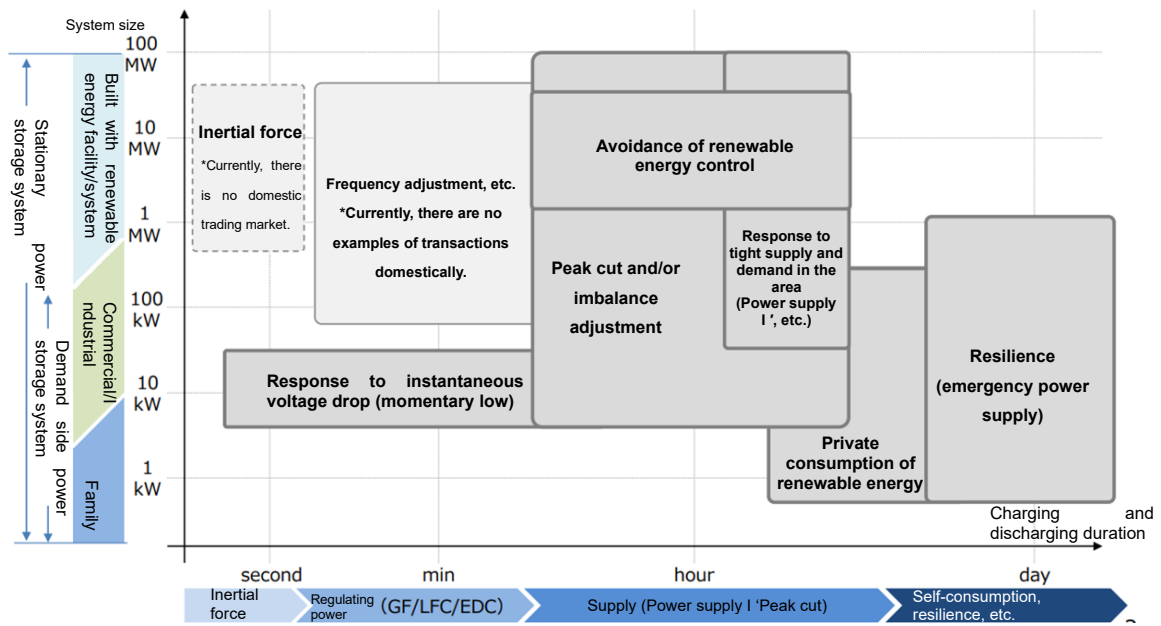


Fig. S4.2 Location and use case of the stationary power storage system

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.

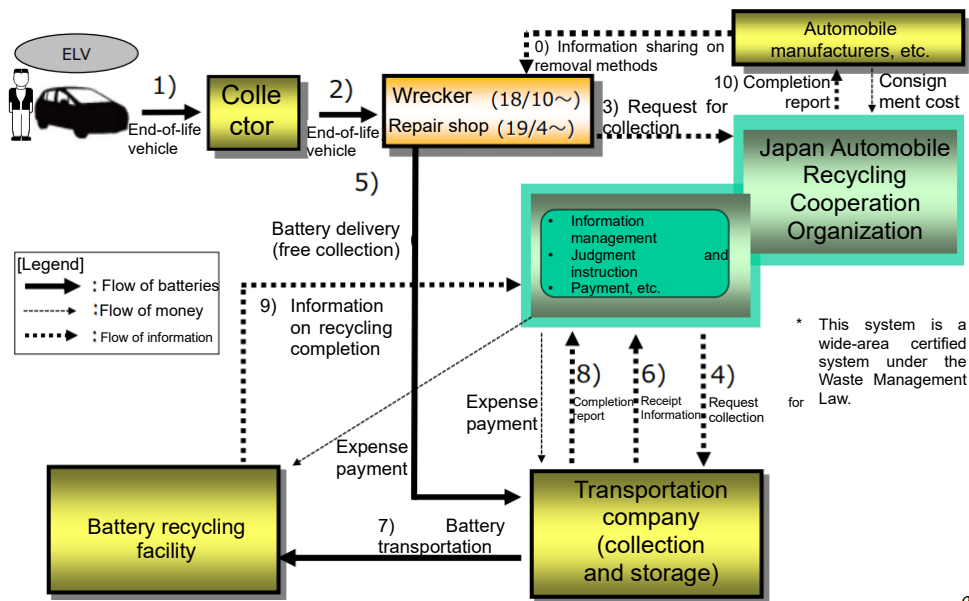


Fig. S4.3 Recycling system flow for end-of-life vehicles

Source: Material from the 2019 Joint Meeting of the Industrial Structure Council and the Central Environment Council of the Japan Automobile Manufacturers Association, document 6 -2



# 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
2.2.2. PCS 応動試験.....	12
2.2.3. 一定出力・一定時間の充放電試験.....	13
2.2.4. 短周期応動試験.....	14
2.2.5. 中古品混在による運用評価試験及び中古品性能評価 .....	15
2.2.6. リチウムイオン電池とニッケル水素電池等のハイブリッド検討 .....	16
2.2.7. 車載インバータのリユース検討.....	17
2.3. 実証試験結果 .....	18
2.3.1. PCS 応動試験.....	18
2.3.2. 一定出力・一定時間の充放電試験.....	22
2.3.3. 短周期応動試験.....	31
2.3.4. 中古品混在による運用評価試験及び中古品性能評価 .....	38
2.3.5. リチウムイオン電池とニッケル水素電池等のハイブリッド検討 .....	41
2.3.6. 車載インバータのリユース検討.....	42
2.3.7. 試験結果のまとめ.....	45
2.4. 考察及び今後の展開.....	46
3. 環境改善効果及び CO2 排出量削減効果 .....	47
3.1. 環境改善効果 .....	47
3.2. CO2 排出量削減効果.....	48
4. 今後の経済性向上に向けた取り組み.....	50
4.1. 経済性向上の可能性.....	50
4.2. 事業の展開可能性.....	52
4.3. 今後の事業化見通し.....	56

# 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、近い将来に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したCO2排出量の大幅な削減の達成に加え、枯渇性資源を含む電池の海外流出を防ぎ国内還流する仕組みづくり、性能差の大きい中古リチウムイオン電池の安全性・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。

- ・ 中古リチウムイオン電池の劣化状態や種類に依らない安全で安定したリユース制御技術
- ・ 更なるリユース範囲拡大のための中古リチウムイオン電池以外の車載品活用技術

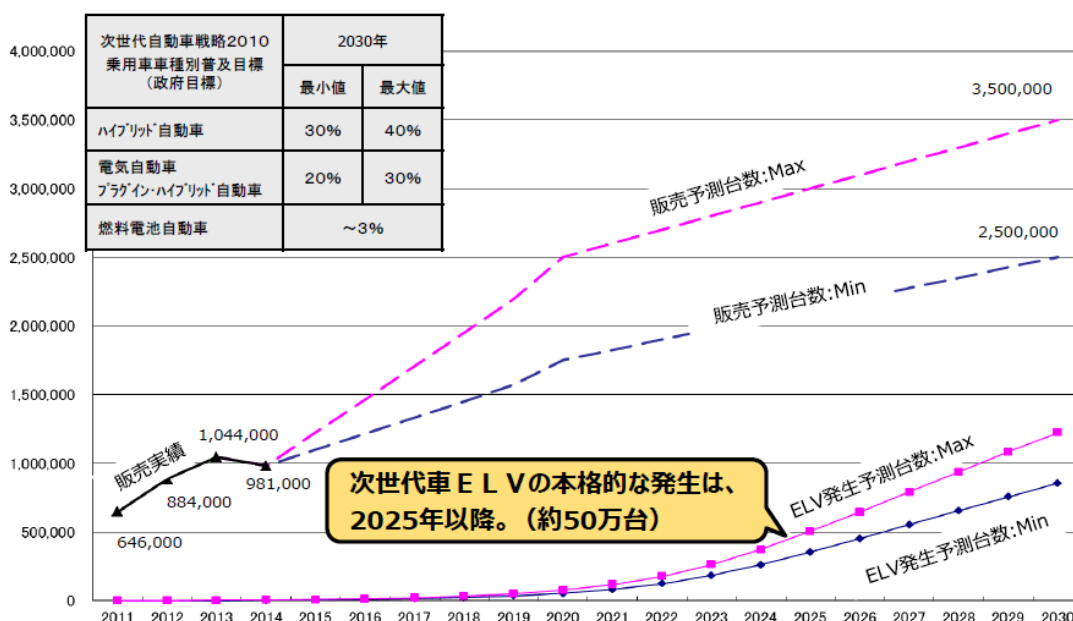


図 1.1 次世代車普及見通し・ELV（使用済み自動車）発生台数予測

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

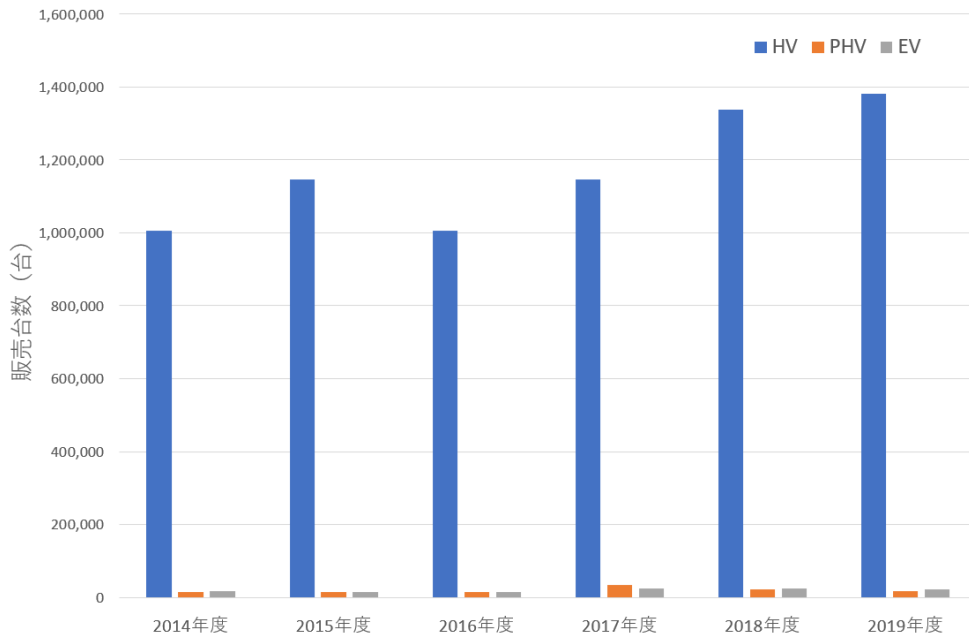


図1.2 次世代車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）販売台数  
 出典：（一社）次世代自動車振興センターHP <http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai.html>

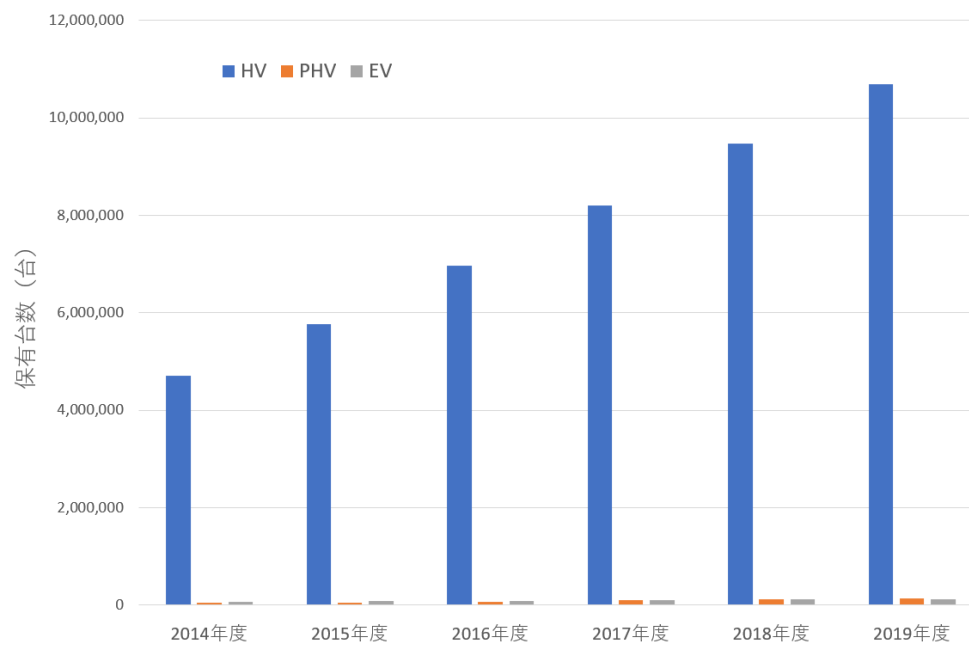


図1.3 次世代車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）保有台数  
 出典：（一社）次世代自動車振興センターHP <http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai3.html>



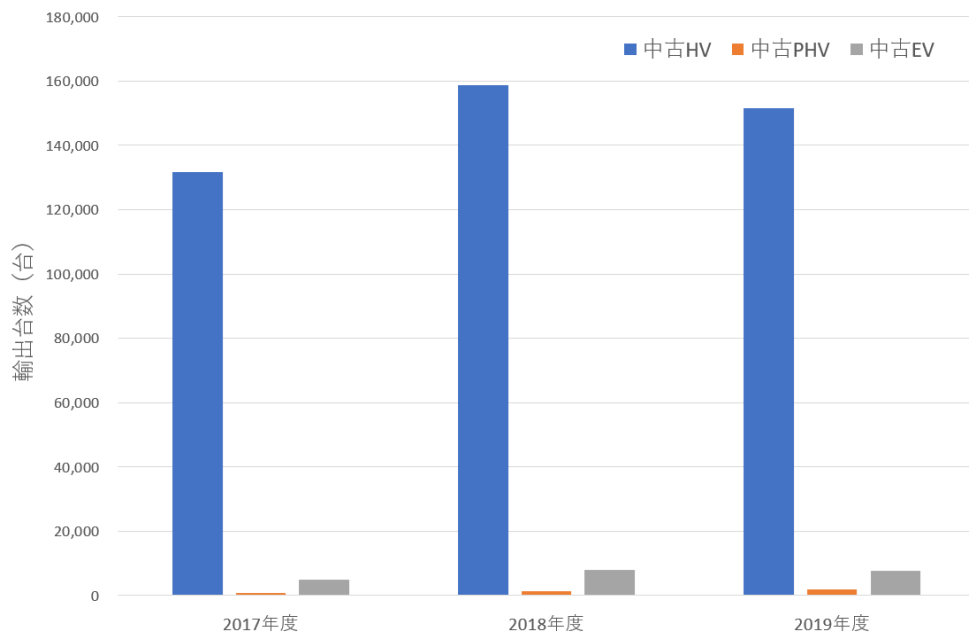


図1.4 中古車（ハイブリッド、プラグインハイブリッド、電気自動車）輸出台数  
出典：財務省貿易統計

	Li-ion電池	ニッケル水素電池	
メーカー名	いすゞ自動車(株) (株)SUBARU 日産自動車(株) マツダ(株) 三菱ふそうトラック・バス(株) UDトラックス(株)	スズキ(株) 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	<b>2019年度：3,014個</b> (2018年度：2,364個 2017年度：943個 2016年度：656個)	2019年度：6,694個 (2018年度：7,214個 2017年度：6,140個 2016年度：4,839個)	
<small>(注)ELVからの発生 各社合計値</small>			

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 2020年度産構審・中環審合同会議資料 参考資料4-2

## 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。

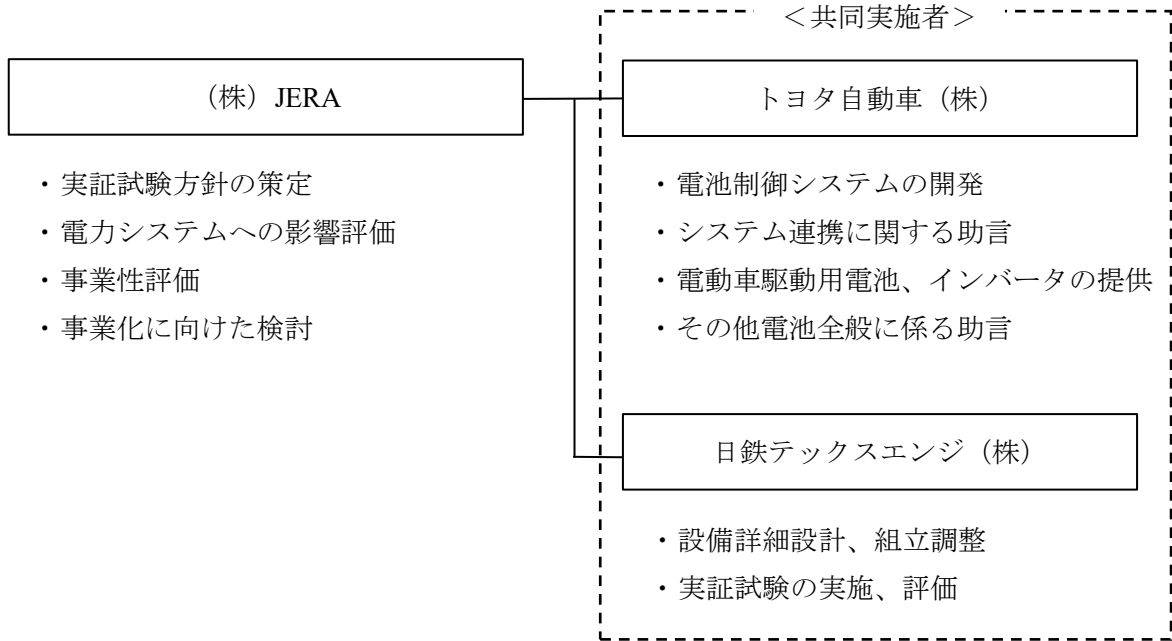


図 1.6 事業実施体制図及び役割

### 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のリユース、異種電池のハイブリッド検討に関して、日鉄テックスエンジ(株)リユース蓄電システム構築に関して合計3回以上の打合せを行った。主に愛知県名古屋市にて打合せを行ったが、日鉄テックスエンジ(株)が構築した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、福岡県北九州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。

現状、中古電池を活用したリユース蓄電システムは技術面やコストの観点から小規模な設備構成に限定されていることから、中古電池を活用した設備構成の大容量・最適化検討を行うことにより中古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目指す。また、中古電池は劣化状態にバラツキがあり、これらを大量に組み合わせた場合の制御技術が確立されていないことが課題である。

本実証事業は、小規模の電池リユース設備システムを構築し、各機器の組合せによる動作検証を行い、システムとしての問題点を洗い出し、設備の最適化とリユース電池の制御方法の確立を目的とする。また、事業性を見出す為、本実証事業を通じてシステムのコストダウンだけでなく、中古電池以外の車載品活用技術についても検討を行う。

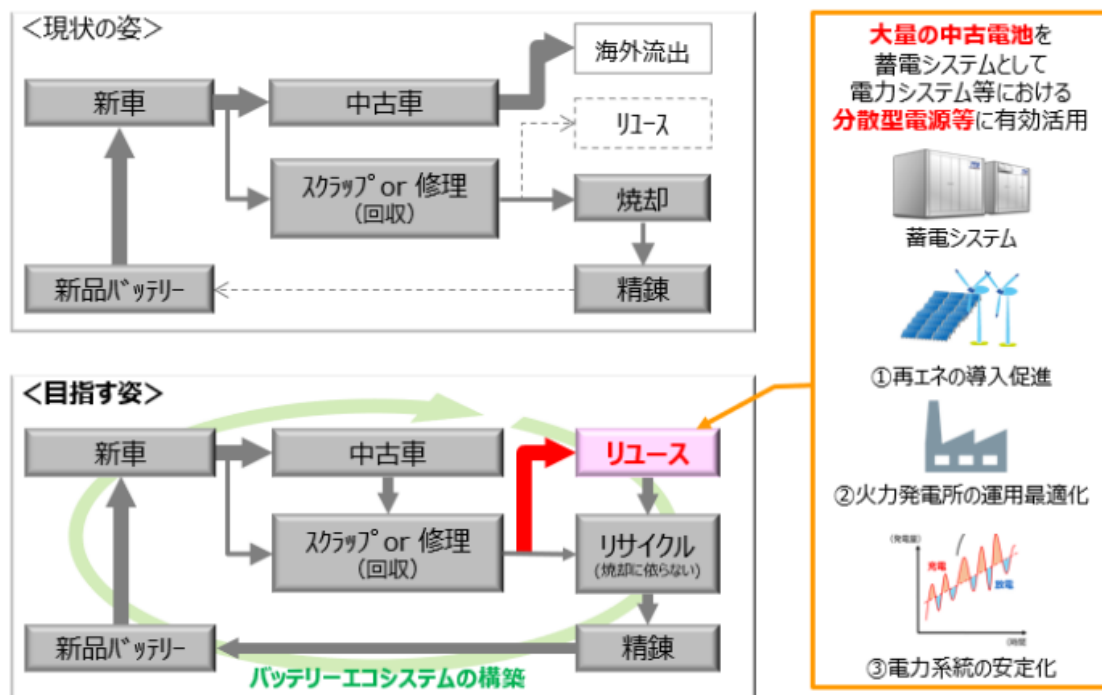
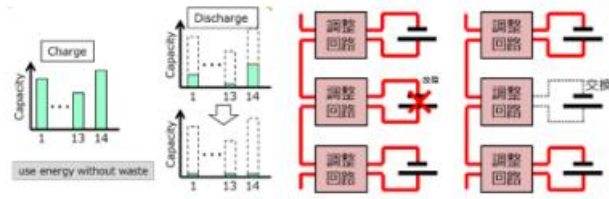
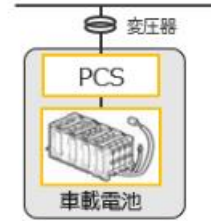


図 2.1 中古電池を循環させるバッテリーエコシステム (イメージ)

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



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



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



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及び中古リチウムイオン電池等の仕様について表 2.1、表 2.2 に示す。また、システム構成図を図 2.3、使用した機器の外観写真を図 2.4 に示す。

Power Conditioning System (以下、「PCS」と記す。)～ String Control Unit (以下、「SCU」と記す。)及び Sweep Unit (以下、「SU」と記す。)～ リユース電池の構成となっている。リユース電池の構成はカートリッジ (DC44.4V) を 22 直列 (以下、「ストリング」と記す。)とし、SCU 及び SU により各カートリッジの状態を監視し、使用するカートリッジ数を制御しながら動作を行う。本実証試験では、1 台の PCS に対して 3 ストリング分の設備を用意した。

システム全体の動作としては、タッチパネルからの指令を受けた Power Management Unit (以下、「PMU」と記す。)が PCS 及び Group Control Unit (以下、「GCU」と記す。)に動作指令を出すことにより、リユース電池の充放電動作を行う。充電動作については、系統側 AC 電圧 400V を PCS により DC 電圧 650V へと変換し、リユース電池へ電力を供給する。放電動作については、充電動作の逆で、電池電圧 DC650V を PCS により AC 電圧 400V へと変換し、リユース電池から系統側へ電力を返す動作を行う。

本設備での PCS の DC 側出力定格は 135kW としているが、本実証試験においては試験場の容量制限により DC 側出力は最大 130kW で試験を行うこととした。また、電池の使用温度上限は 45℃とした。

表 2.1 各機器の役割

機器名称	役割
Power Conditioning System (PCS)	系統側 AC400V を電池電圧 DC650V に変換する双方向 ACDC コンバータ
Power Management Unit (PMU)	上位データ収集装置、GCU 及び PCS との双方向通信により下記を実施 <ul style="list-style-type: none"> <li>・データ収集装置へ各種情報を発信</li> <li>・タッチパネルとの通信（指令設定、モニタ）</li> <li>・充放電制御指令を PCS 及び GCU に発信</li> <li>・GCU 及び PCS からの各情報を収集し充放電制御を実施</li> </ul>
Group Control Unit (GCU)	上位システムとの双方向通信により下記を実施 <ul style="list-style-type: none"> <li>・グループ全体の状態を PMU 及びデータ収集装置に発信</li> <li>・PMU からの指令を各 SCU に発信</li> <li>・各カートリッジ詳細情報を収集</li> </ul>
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"> <li>・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</li> <li>・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</li> <li>・SCU 配下の各 SU の状態を統合して GCU に通知</li> </ul>
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"> <li>・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</li> <li>・カートリッジ情報（電池状態）を監視</li> <li>・カートリッジ情報（電池状態）を SCU に通知</li> </ul>

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	仕様 (1 ストリングあたり)	仕様 (3 ストリング)
定格電力	45kW	135kW
定格電圧	650kV	
定格電流	69.2A	207.6A
定格電力容量	97kWh	291kWh
使用温度	0~40°C	
カートリッジ数	22	66
カートリッジ内のセル構成	2 並列×12 直列	

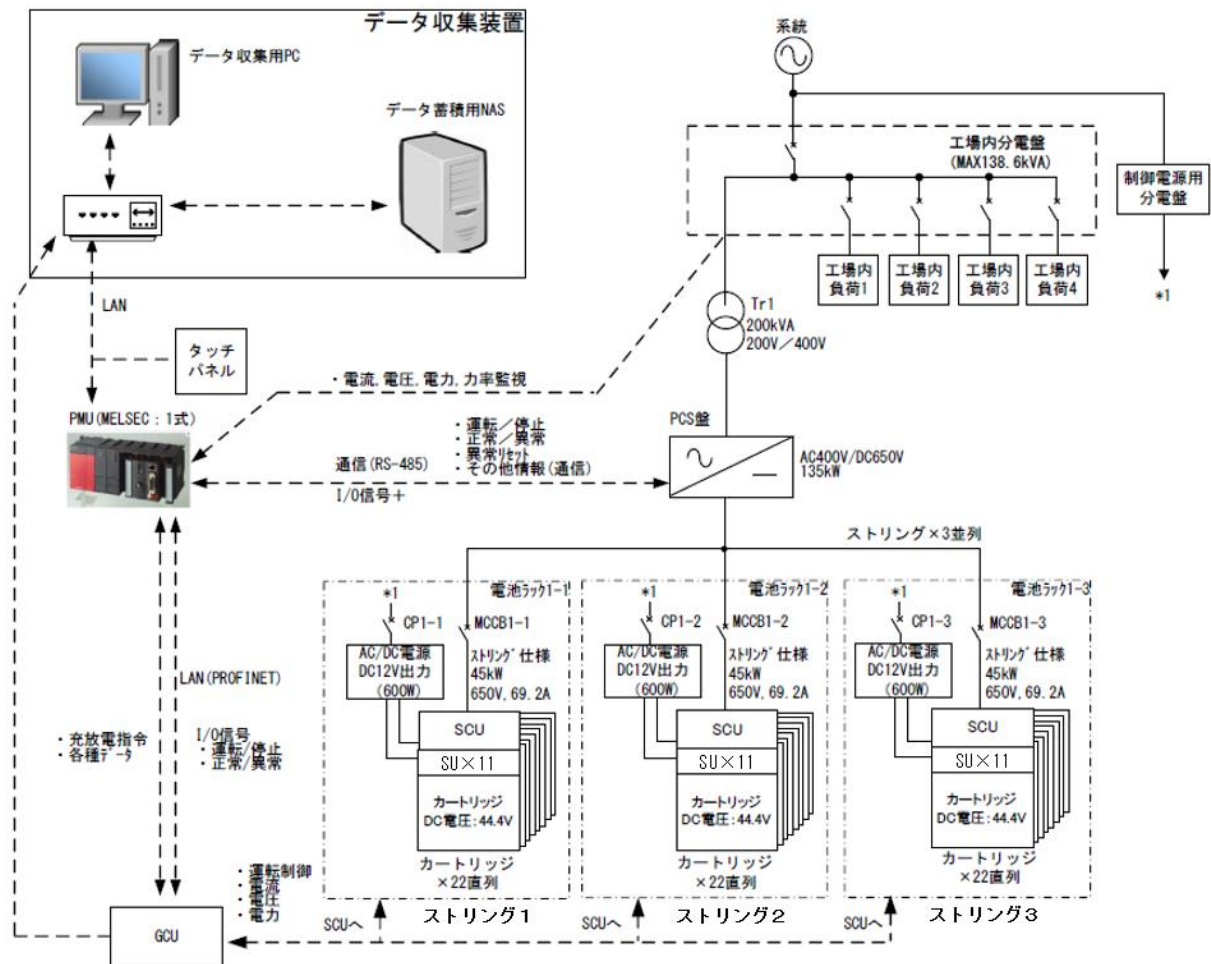


図 2.3 実証試験システム構成図



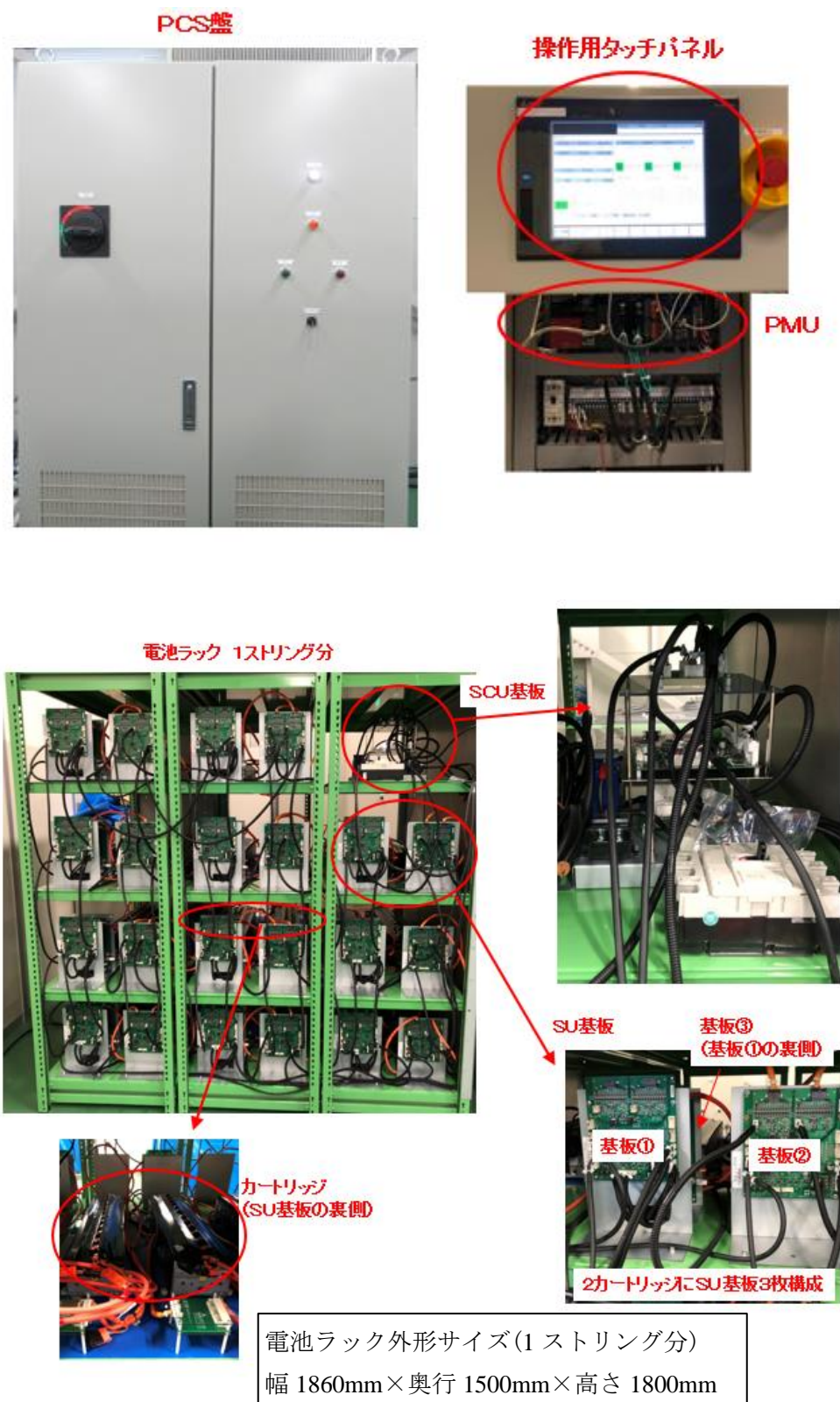


図2.4 使用機器外観写真

### 2.2.2. PCS 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、PCS 応動速度が重要となってくる。PMU から指令値が送信され、PCS 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 PCS 応動速度を把握する。図 2.5 に波形イメージ図を示す。

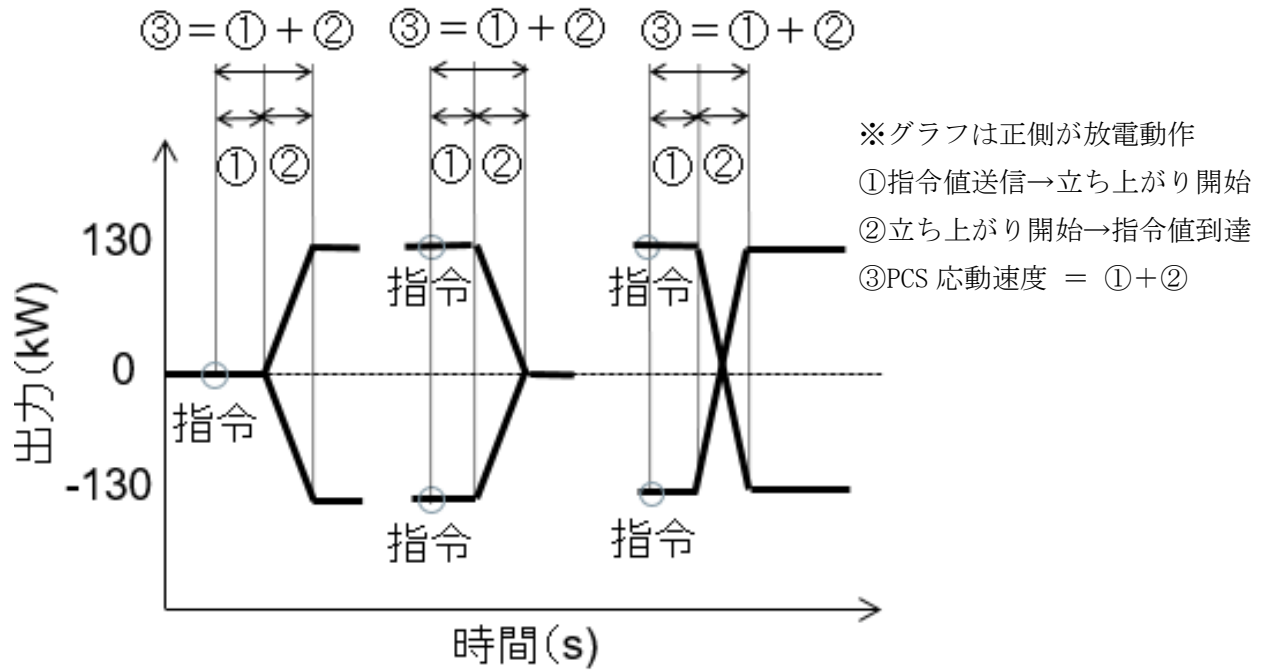


図 2.5 PCS 応動試験波形イメージ

### 2.2.3. 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。需給調整市場、容量市場にて要求される要件を表 2.3 に示す。また、図 2.6 に試験条件及び波形イメージ図を示す

表 2.3 各市場要件

< 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 130kW、放電 117kW 継続時間  $t=300$  秒 (5 分)  $\times$  18 サイクル
- (2) 充電 130kW、放電 117kW 継続時間  $t=1800$  秒 (30 分)  $\times$  5 サイクル
- (3) 充電 48kW、放電 43kW 継続時間  $t=10800$  秒 (3 時間)  $\times$  1 サイクル
- (4) 充電 13kW、放電 11kW 継続時間  $t=39600$  秒 (11 時間)  $\times$  1 サイクル
- (5) 充電 9kW、放電 8kW 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

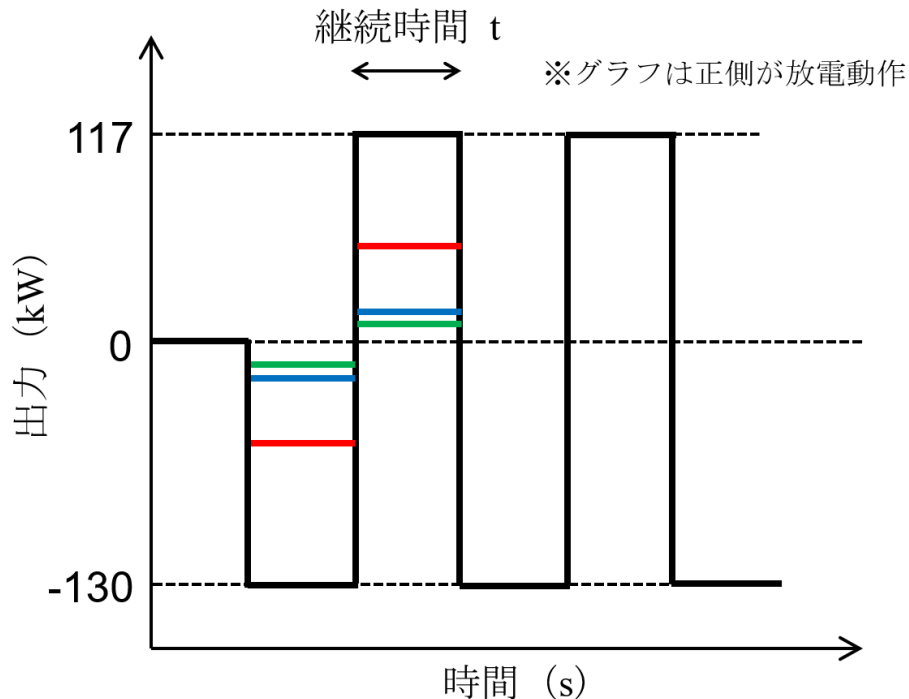


図 2.6 一定出力・一定時間の充放電試験波形イメージ

### 2.2.4. 短周期応動試験

短周期（周期は「PCSの応動速度」の結果による）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）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。需給調整市場、容量市場にて要求される要件を表 2.4 に示す。また、図 2.7 に試験条件及び波形イメージ図を示す。

表 2.4 各市場要件

< 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)		

#### < 試験条件 >

- (1) 充電 130kW、放電 117kW 継続時間  $t=300$  秒 (5 分)  $\times$  18 サイクル
- (2) 充電 130kW、放電 117kW 継続時間  $t=1800$  秒 (30 分)  $\times$  5 サイクル
- (3) 充電 26kW、放電 23kW 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

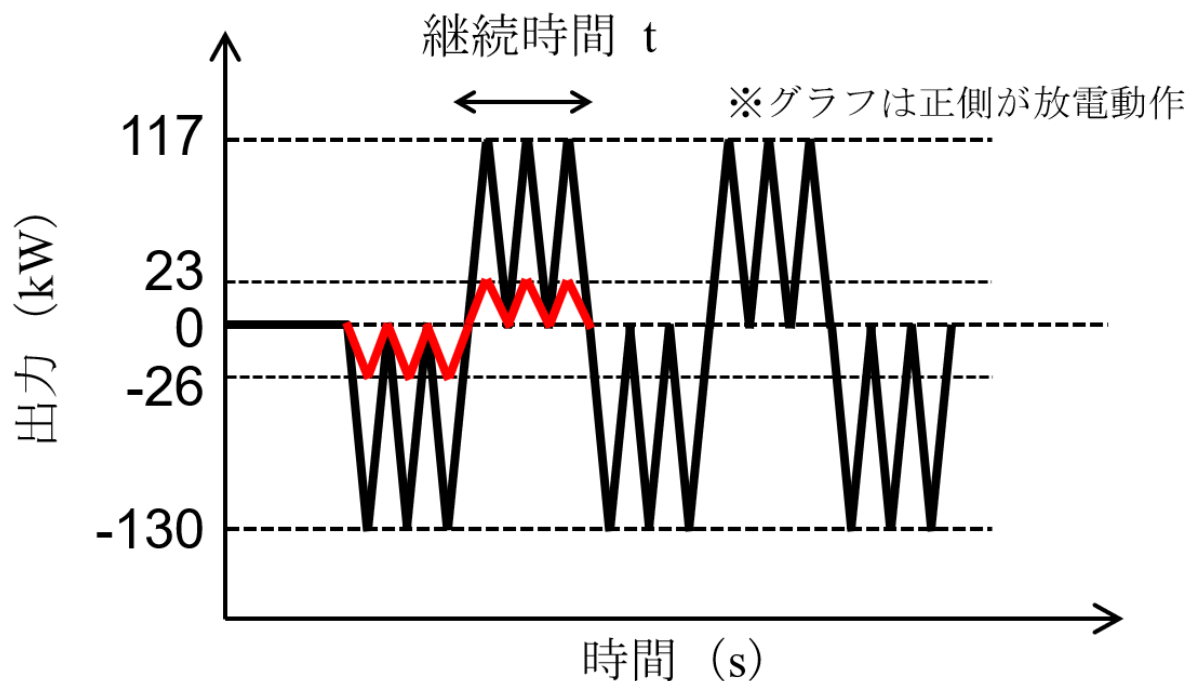


図 2.7 短周期応動試験波形イメージ

#### 2.2.5. 中古品混在による運用評価試験及び中古品性能評価

中古品混在での運用確認及び性能評価を行うため、リユース電池が直列接続されたストリング内に、劣化を模擬した電池（以下、「劣化模擬電池」と記す。）を混在させ、Sweep機能の有効/無効での充放電試験を行い、劣化模擬電池によらず全ての電池容量の最大使用可否について確認を行う。

#### 2.2.6. リチウムイオン電池とニッケル水素電池等のハイブリッド検討

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。

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、電池を過剰に設置することになるため、電池の組合せ方法について検討を行う。

### **2.2.7. 車載インバータのリユース検討**

車載用インバータの交直変換回路部を活用し、系統を模擬した電源装置に接続し、三相交流波形の形成及び系統電圧との同期、フィルタによる高調波の削減効果を確認する

## 2.3. 実証試験結果

### 2.3.1. PCS 応動試験

図 2.8 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。試験結果を表 2.5 及び図 2.9～図 2.14 に示す。

試験結果から、各条件で 0.2 秒以内という短時間で応動速度で動作することが確認できた。また、各条件の波形において立ち上がり時のリンギング、オーバーシュートやアンダーシュートが発生せず、安定して立ち上がっていることが確認できた。

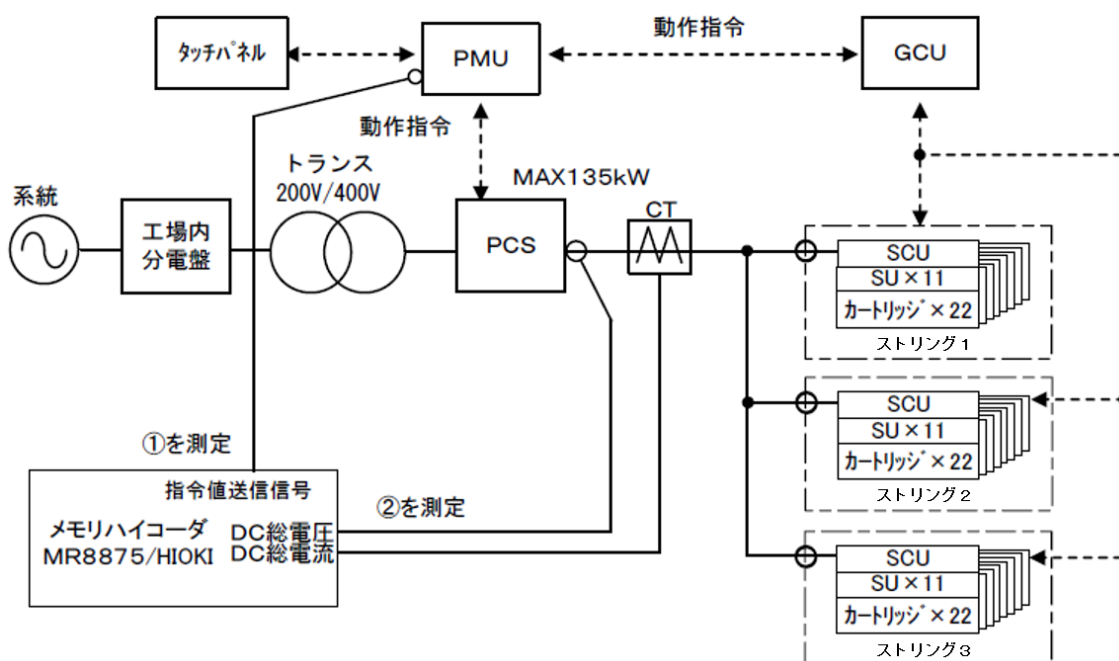


図 2.8 PCS 応動試験測定回路

表 2.5 PCS 応動試験 各条件での試験結果一覧

条件	①指令～立上り開始の時間[s]	②応答時間[s]	③合計時間[s]
(1) 停止→充電	0.033～0.105	0.013～0.017	0.046～0.122
(2) 充電→停止	0.047～0.116	0.014～0.017	0.061～0.133
(3) 停止→放電	0.058～0.130	0.014～0.020	0.072～0.150
(4) 放電→停止	0.070～0.139	0.020～0.026	0.090～0.165
(5) 充電→放電	0.079～0.088	0.028～0.040	0.107～0.128
(6) 放電→充電	0.026～0.093	0.028～0.032	0.054～0.125



PCS応動試験 停止→充電

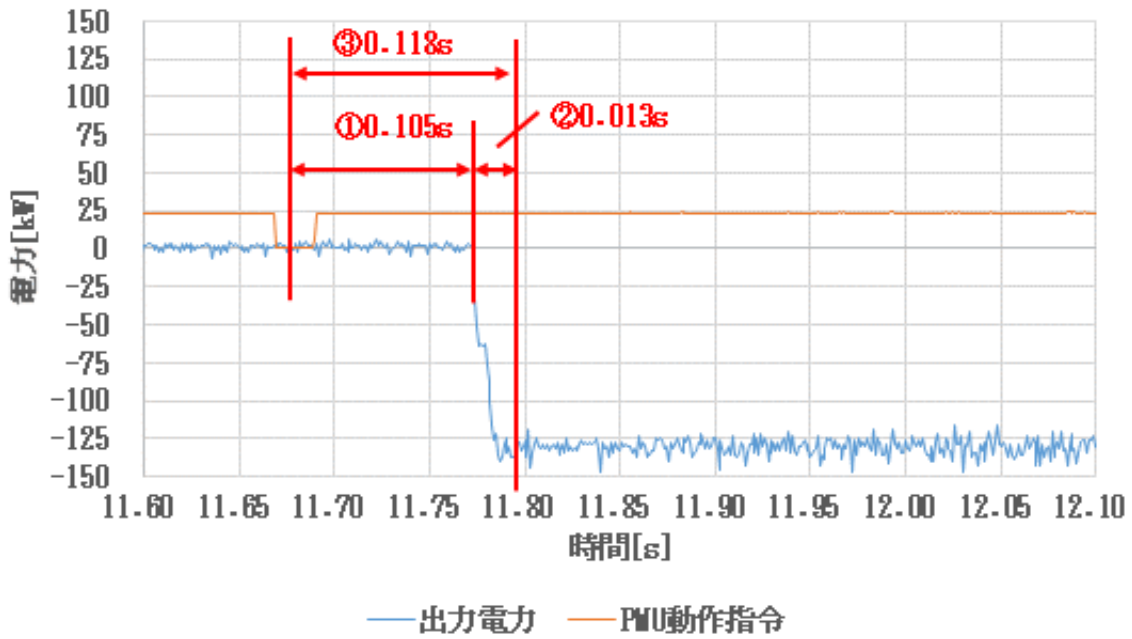


図 2.9 (1) 停止→充電試験 測定波形

PCS応動試験 充電→停止

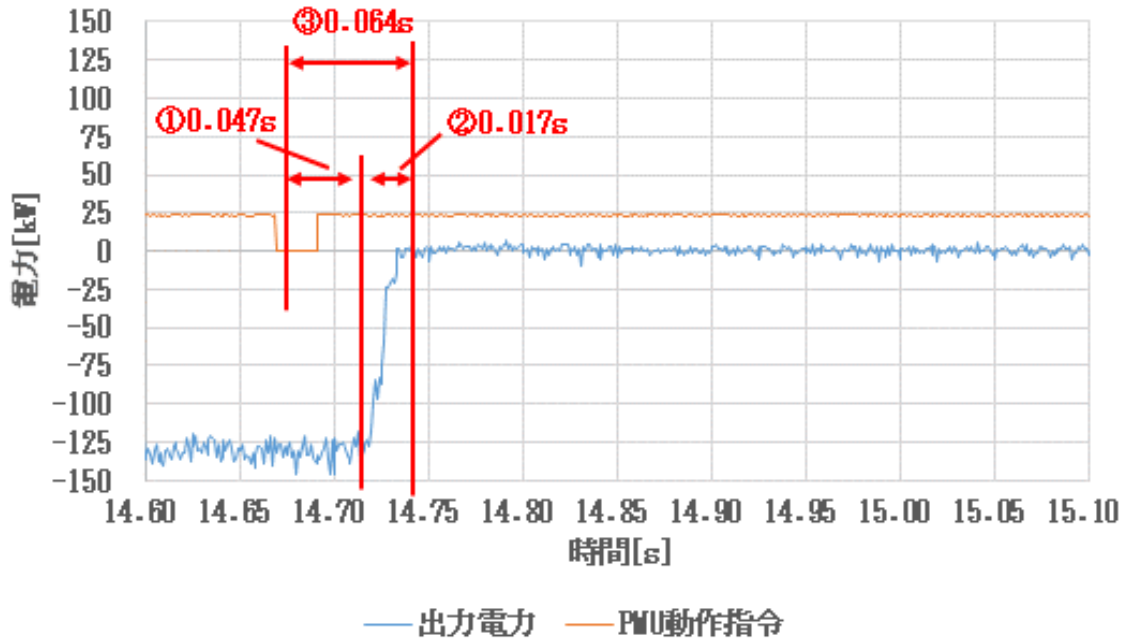


図 2.10 (2) 充電→停止試験 測定波形

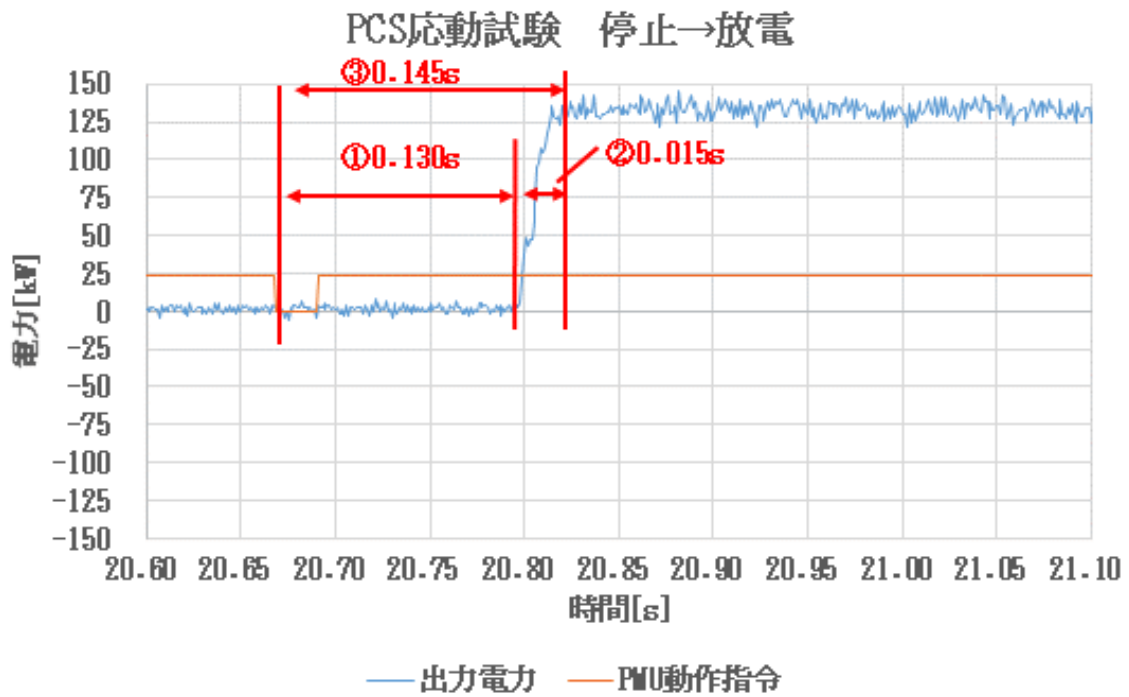


図 2.11 (3) 停止→放電試験 測定波形

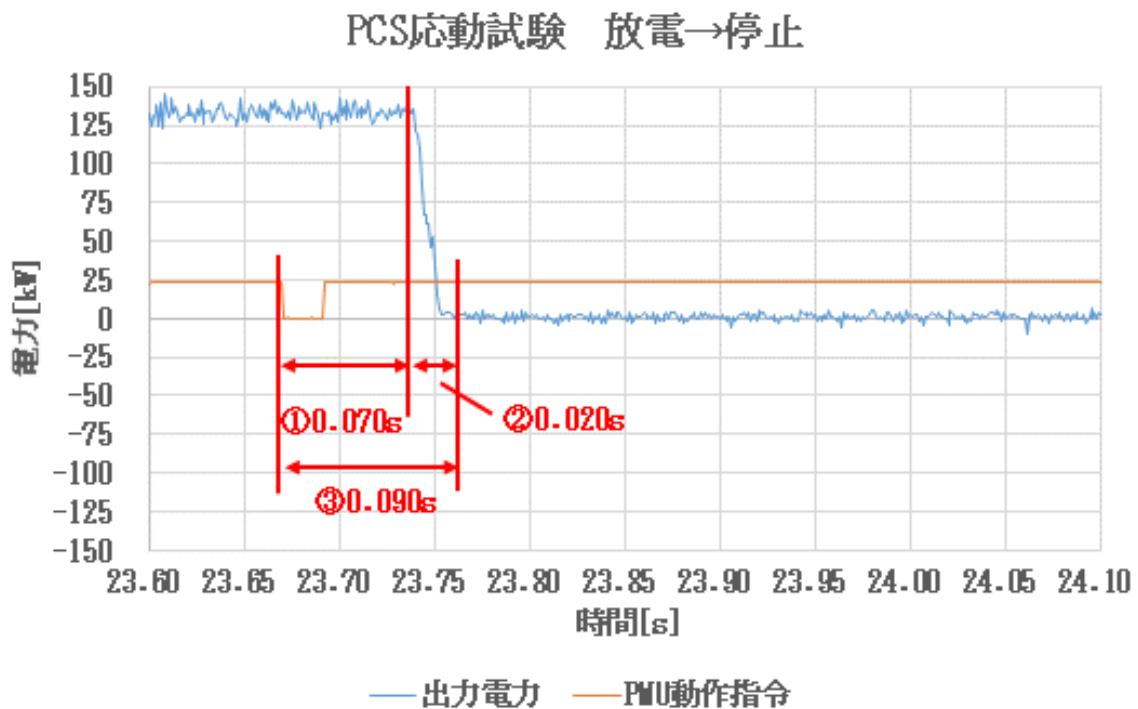


図 2.12 (4) 放電→停止試験 測定波形

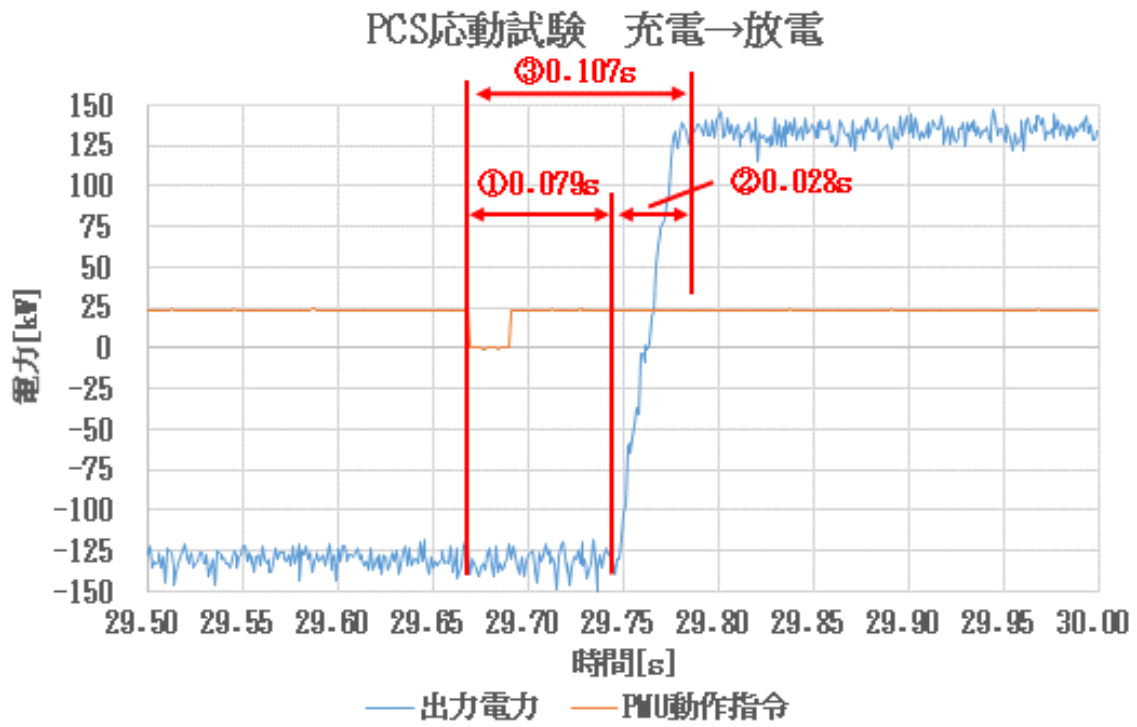


図 2.13 (5) 充電→放電試験 測定波形

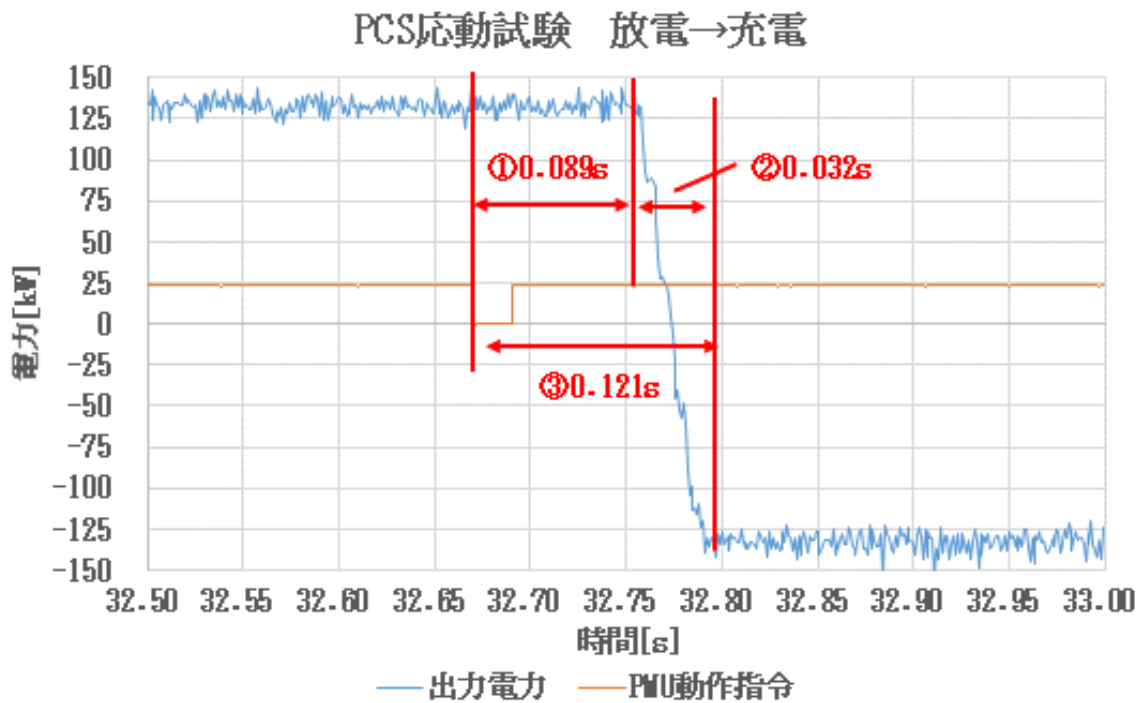


図 2.14 (6) 放電→充電試験 測定波形

### 2.3.2. 一定出力・一定時間の充放電試験

図 2.15 の測定回路で試験を行った。試験条件の出力電力の算出根拠は、(1) 300s、(2) 1800s においては充電動作を最大出力 130kW とし、放電動作及び(3) 10800s、(4) 39600s、(5) 59600s においては事前に測定した電池の充放電容量から出力を算出した。算出方法は以下に示す。

<算出方法>

充電電力量：145kWh、放電電力量：131kWh、充放電効率：145kWh / 131kWh × 100 = 90%

- ・試験条件 (1)、(2) の放電動作：130kW × 90% = 117kW
- ・試験条件 (3) の充電動作：145kWh / 3h = 48kW、放電動作：131kWh / 3h = 43kW
- ・試験条件 (4) の充電動作：145kWh / 11h = 13kW、放電動作：131kWh / 11h = 11kW
- ・試験条件 (5) の充電動作：145kWh / 16h = 9kW、放電動作：131kWh / 16h = 8kW

※各計算結果において、端数は切り捨て

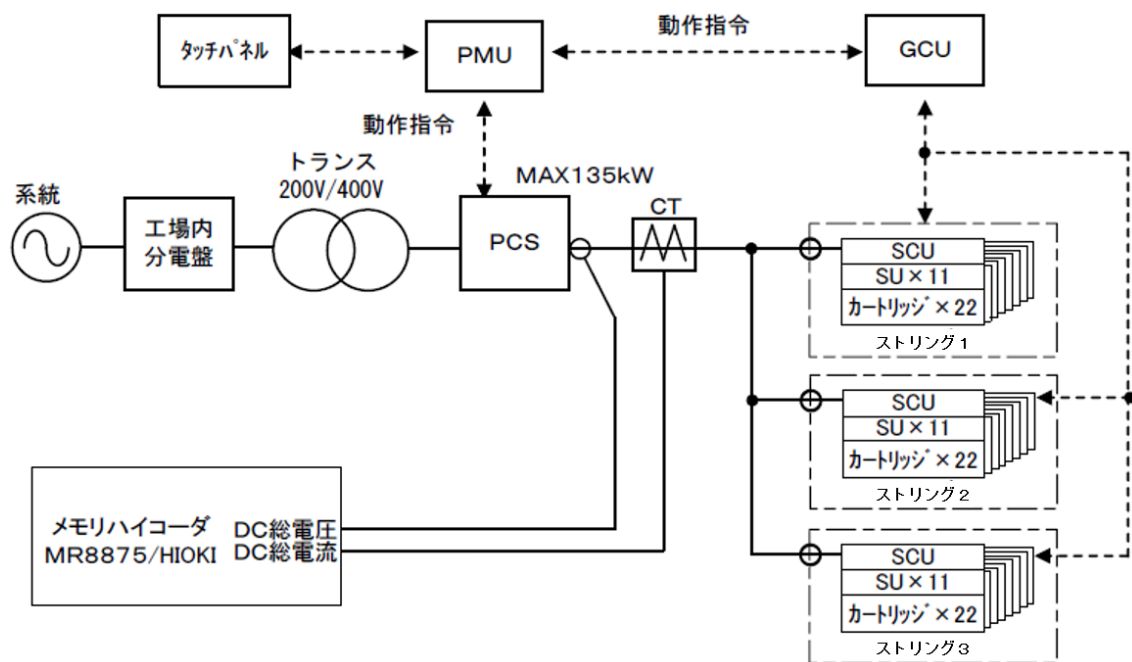


図 2.15 一定出力・一定時間の充放電試験測定回路

#### (1) 試験条件 (1) の試験結果

図 2.16、図 2.17 に 300s × 18 サイクルの試験結果を示す。図 2.16 は、動作時間に対する出力電力及びストリング 1～3 の各 SOC の波形で、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。SOC の変動に関しては、300s × 18 サイクルで充電側に約 2% の偏りがあったが、SOC 使用範囲 (25%～75%) 内で十分に動作可能であることが確認できた。また、出力電力に最大で ±10kW 程度の振れがあるが、これは電流制御をスイッチング制御により行っているため、リップル電流が発生してお

り、その影響を受けていると考えられる。

図 2.17 は各ストリング内のカートリッジ及び棚内の温度上昇値（現在温度－試験開始時温度により算出）の最大値と最小値の推移を示しており、温度上昇が大きかったのはストリング 3 のカートリッジであった。18 サイクルでのカートリッジの最大温度上昇は約 11.5℃、最小温度上昇は約 8.4℃であり、測定波形から充電時の発熱が大きく温度が上昇し、放電時は発熱が小さくなっていることがわかる。また、今回の設定条件においては、温度上昇は飽和しなかったことがわかる。

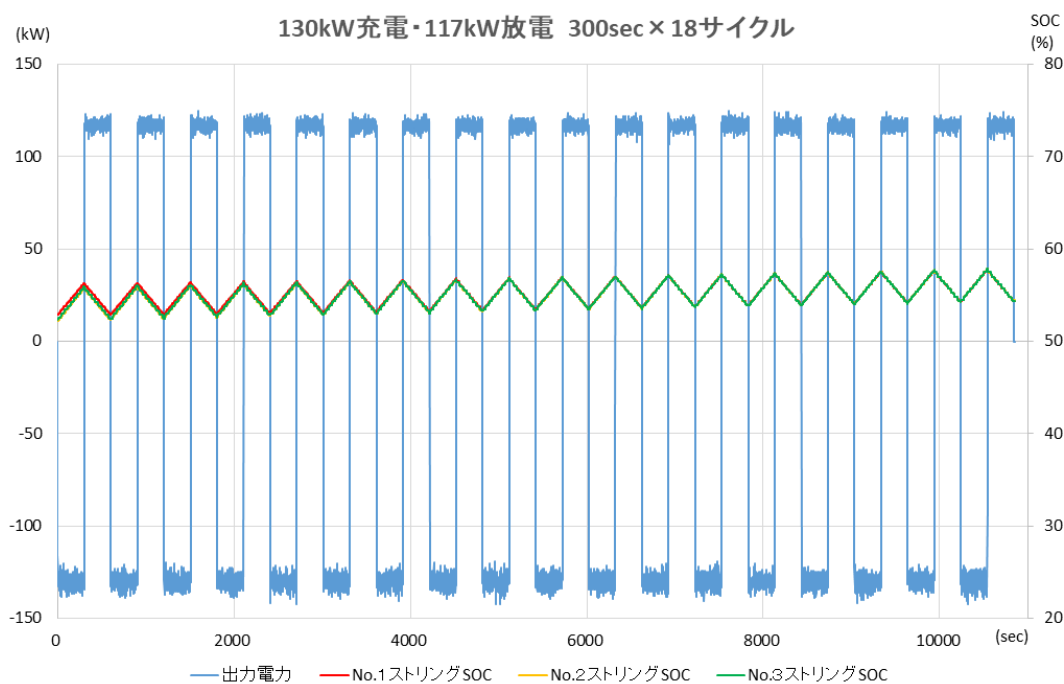


図 2.16 試験条件 (1) 測定波形 (出力電力、SOC)

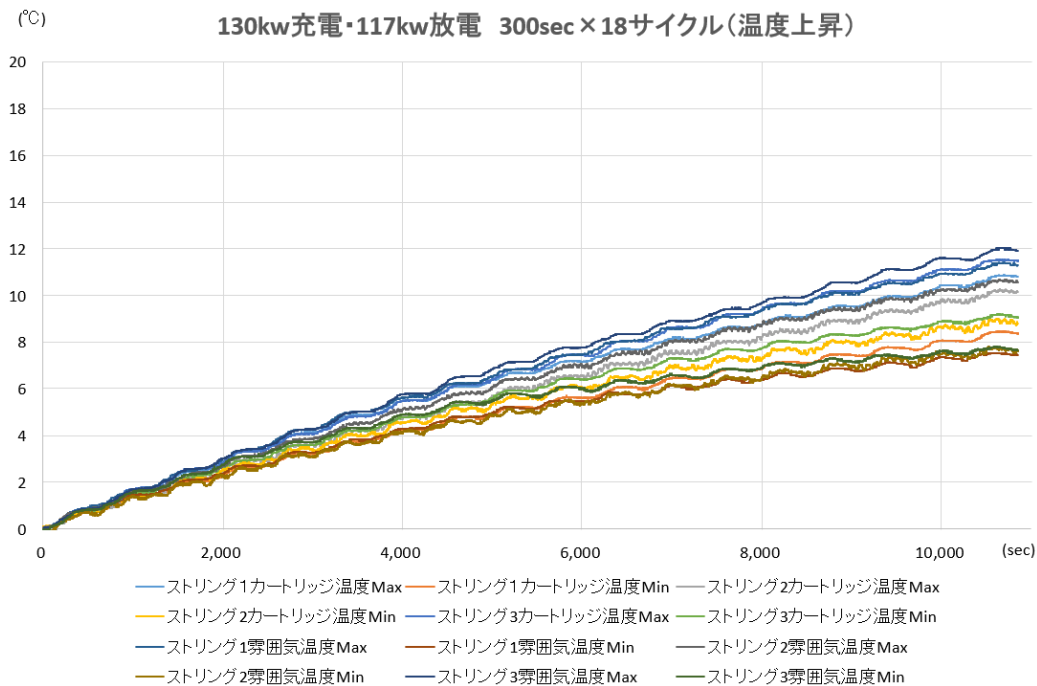


図 2.17 試験条件 (1) 測定波形 (温度)

(2) 試験条件 (2) の試験結果

図 2.18、図 2.19 に 1800s×5 サイクルの試験結果を示す。図 2.18 は、動作時間に対する出力電力及びストリング 1～3 の各 SOC の波形で、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、1800s×5 サイクルで充電側に約 3%の偏りがあったが、SOC 使用範囲 (25%～75%) 内で十分に動作可能であることが確認できた。また、出力電力の振れに関しては試験条件 (1) の内容と同様であると考えられる。

図 2.19 は各ストリング内のカートリッジの温度上昇値 (現在温度－試験開始時温度により算出) の最大値と最小値の推移を示しており、温度上昇が大きかったのはストリング 1 のカートリッジであった。5 サイクルでのカートリッジの最大温度上昇は約 23.0℃、最小温度上昇は約 17.3℃であり、測定波形から充電時に充電時の発熱が大きく温度が上昇し放電時は発熱が小さくなっていることがわかる。また、今回の設定条件においては、温度上昇は飽和しなかったことがわかる。

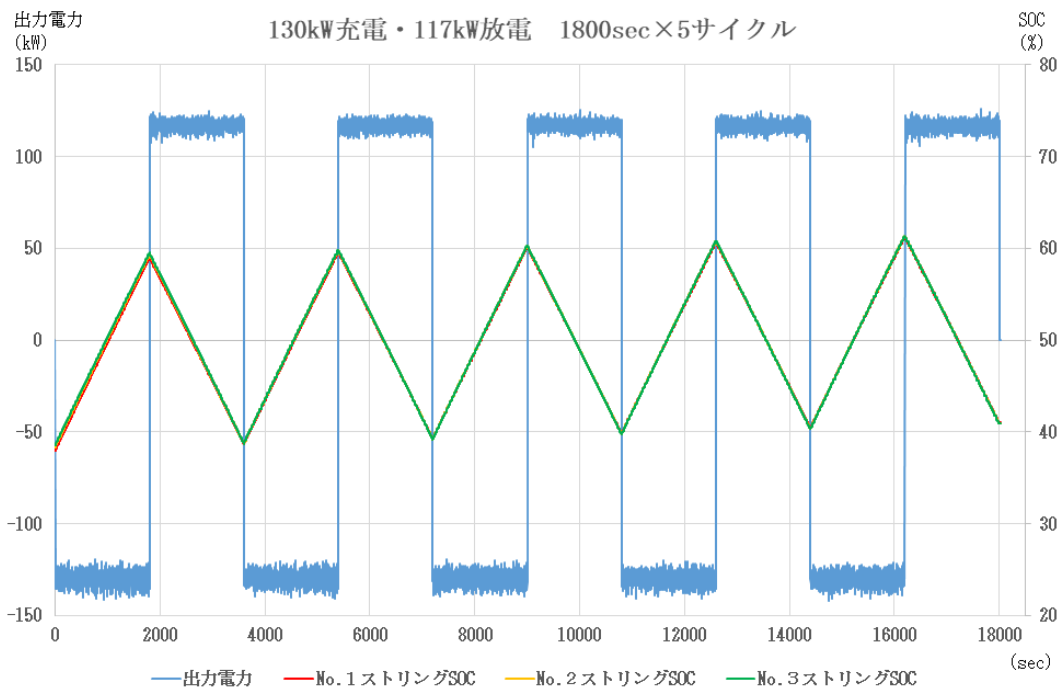


図 2.18 試験条件 (2) 測定波形 (出力電力、SOC)

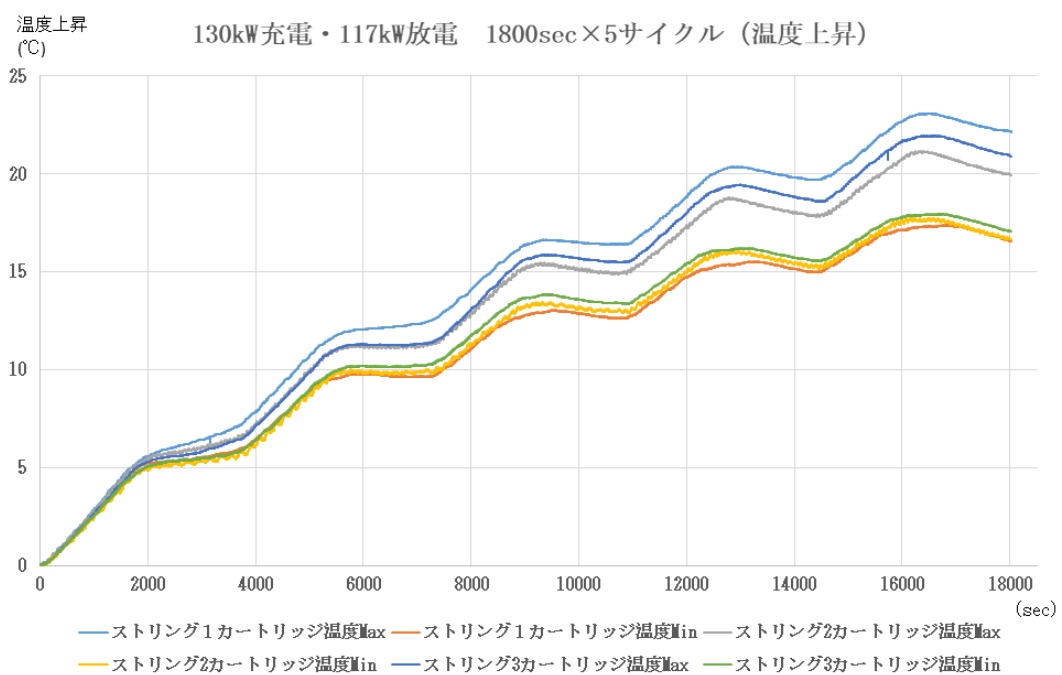


図 2.19 試験条件 (2) 測定波形 (温度)

(3) 試験条件 (3) の試験結果

図 2.20、図 2.21 に 10800s (3h) ×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.20 は、動作時間に対する出力電力及びストリング 1~3 の各 SOC の波形で、この結果から 3h×1 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、3h×1 サイクルで充電側に約 3%の偏りがあった。試験サイクル数が増加すれば、徐々に充電過多の状態となり、充電動作時に出力制限が掛かってしまうと考えられる。

また、出力電力の振れに関しては試験条件（1）の内容と同様であると考えられる。

図 2.21 は各ストリング内のカートリッジの温度上昇値（現在温度－試験開始時温度により算出）の最大値と最小値の推移を示しており、今回の設定条件においては、温度上昇が飽和していることがわかる。

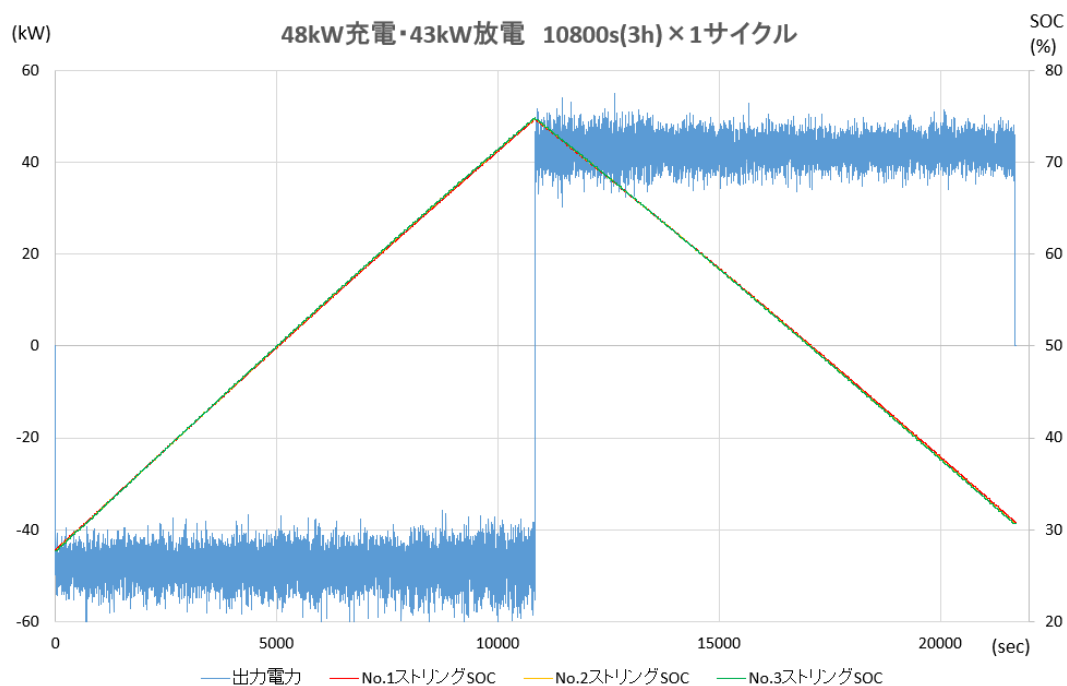


図 2.20 試験条件（3）測定波形（出力電力、SOC）



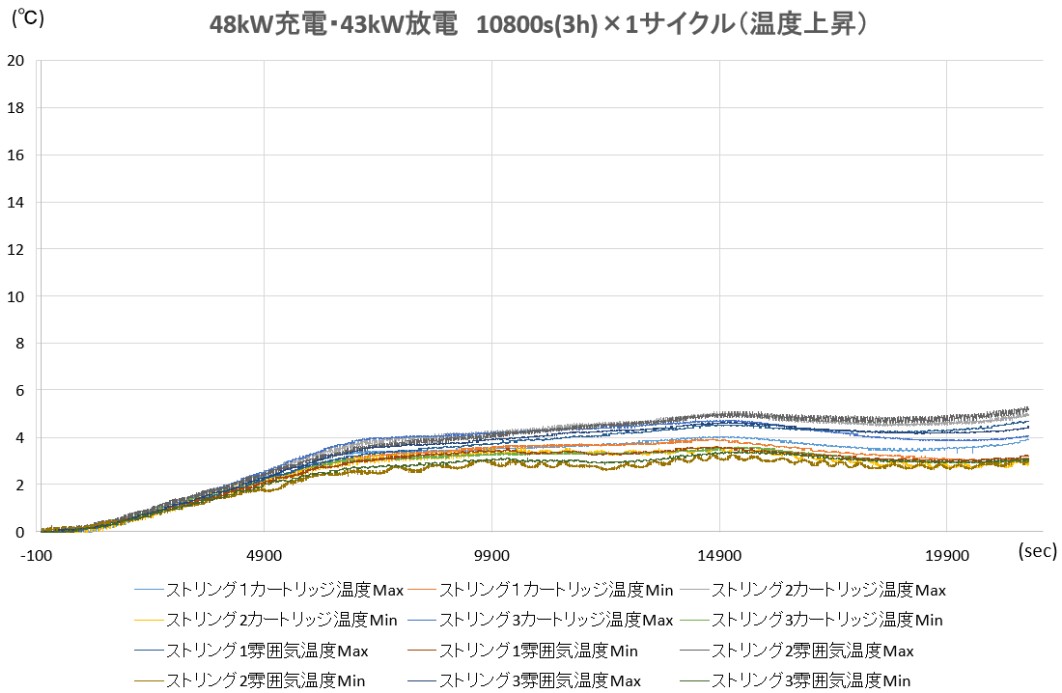


図 2.21 試験条件 (3) 測定波形 (温度)

#### (4) 試験条件 (4) の試験結果

図 2.22、図 2.23 に 39600s (11h) × 1 サイクルの試験結果を示す。図 2.22 は、動作時間に対する出力電力及びストリング 1~3 の各 SOC の波形で、この結果から 11h×1 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、ストリングごとにばらつきがあり、充電時にストリング 1 が出力制限に掛かってしまっているが、その分ストリング 3 の出力が上昇しているため、システム全体の出力としては変わっていない。充電終了時の SOC は高い順にストリング 3 > スtring 2 > スtring 1 となっており、1 サイクル終了時の SOC は 3 スtring 分の平均として充電側に約 5% の偏りがあった。試験条件 (3) の結果と同様に、試験サイクル数が増加すれば、出力制限が掛かってしまうと考えられる。

また、出力電力の振れに関しては試験条件 (1) の内容と同様であると考えられるが、充電においては時間が経つにつれて出力の振れ幅が大きくなっており、放電においては時間が経つにつれて出力の振れ幅が小さくなっていくのが確認できる。これは電池容量が増加すると、リップル電流が増加し、電池容量が減少するとリップル電流が減少しているためだと考えられる。

図 2.23 は各ストリング内のカートリッジの温度上昇値 (現在温度 - 試験開始時温度により算出) の最大値と最小値の推移を示しており、今回の設定条件においては、温度上昇が飽和していることがわかる。

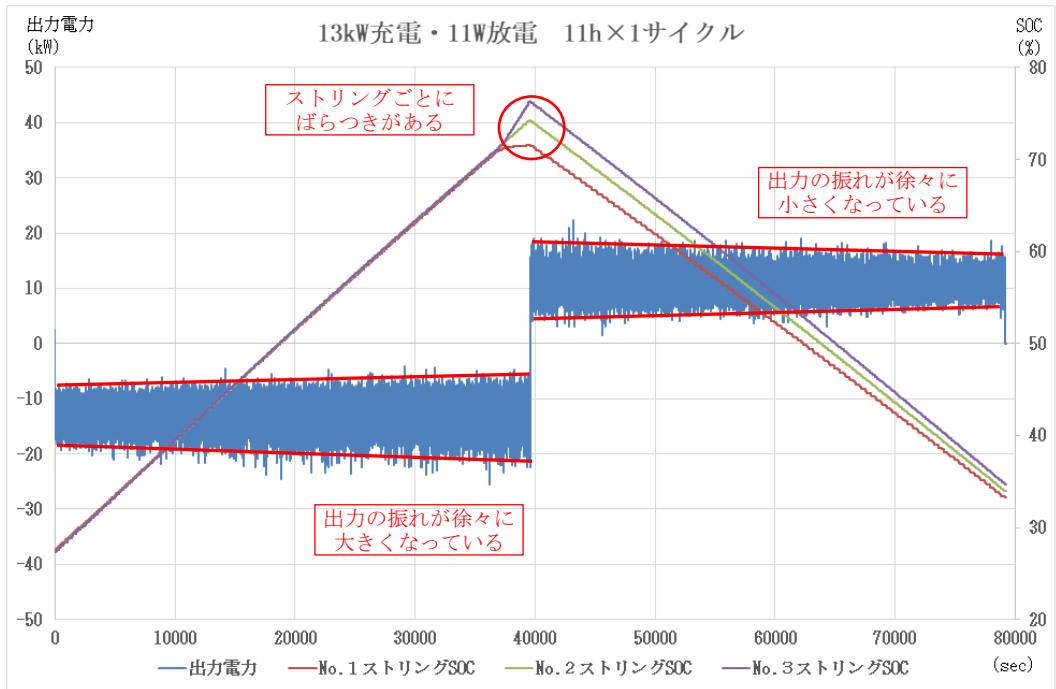


図 2.22 試験条件 (4) 測定波形 (出力電力、SOC)

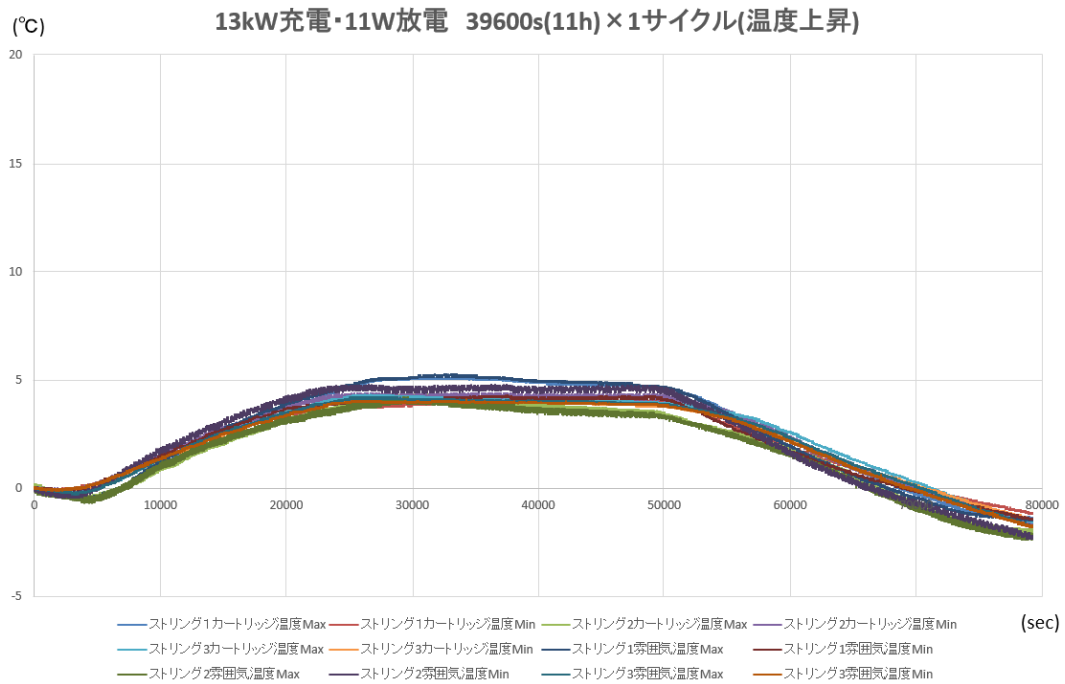


図 2.23 試験条件 (4) 測定波形 (温度)

(5) 試験条件 (5) の試験結果

図 2.24、図 2.25 に 57600s (16h) ×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.24 は、動作時間に

対する出力電力及びストリング 1~3 の各 SOC の波形で、この結果から 16h×1 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、16h×1 サイクルで充電側に約 5%の偏りがあった。試験サイクル数が増加すれば、徐々に充電過多の状態となり、充電動作時に出力制限が掛かってしまうと考えられる。

また、出力電力の振れに関しては試験条件 (1) の内容及び試験条件 (4) の内容と同様であると考えられる。

図 2.25 は各ストリング内のカートリッジの温度上昇値（現在温度－試験開始時温度により算出）の最大値と最小値の推移を示しており、今回の設定条件においては、温度上昇が飽和していることがわかる。

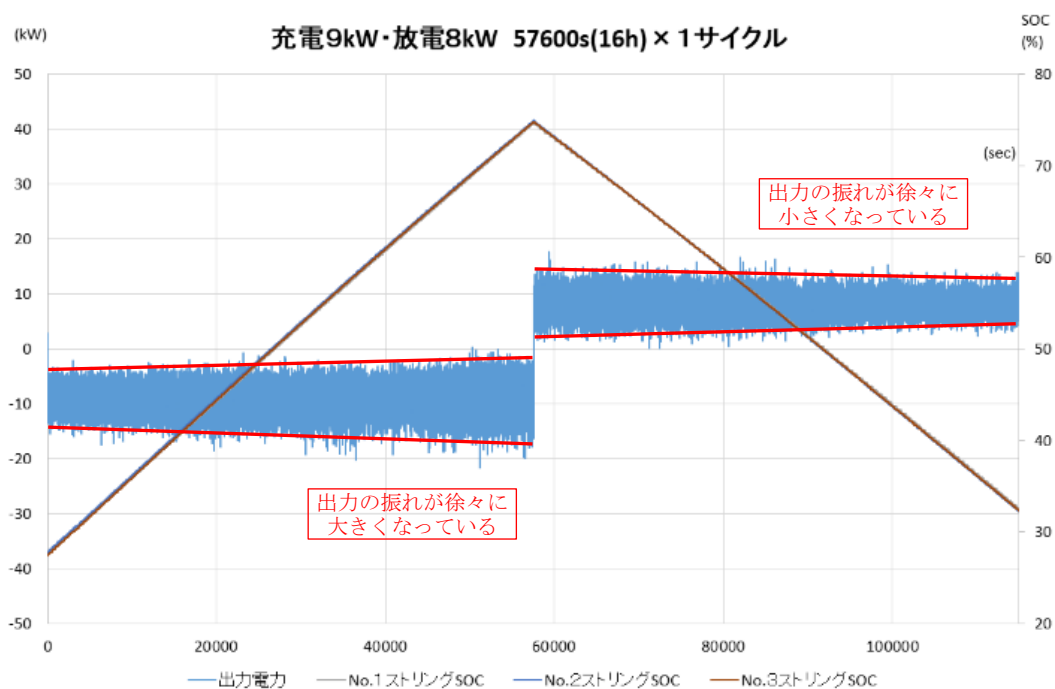


図2.24 試験条件 (5) 測定波形 (出力電力、SOC)

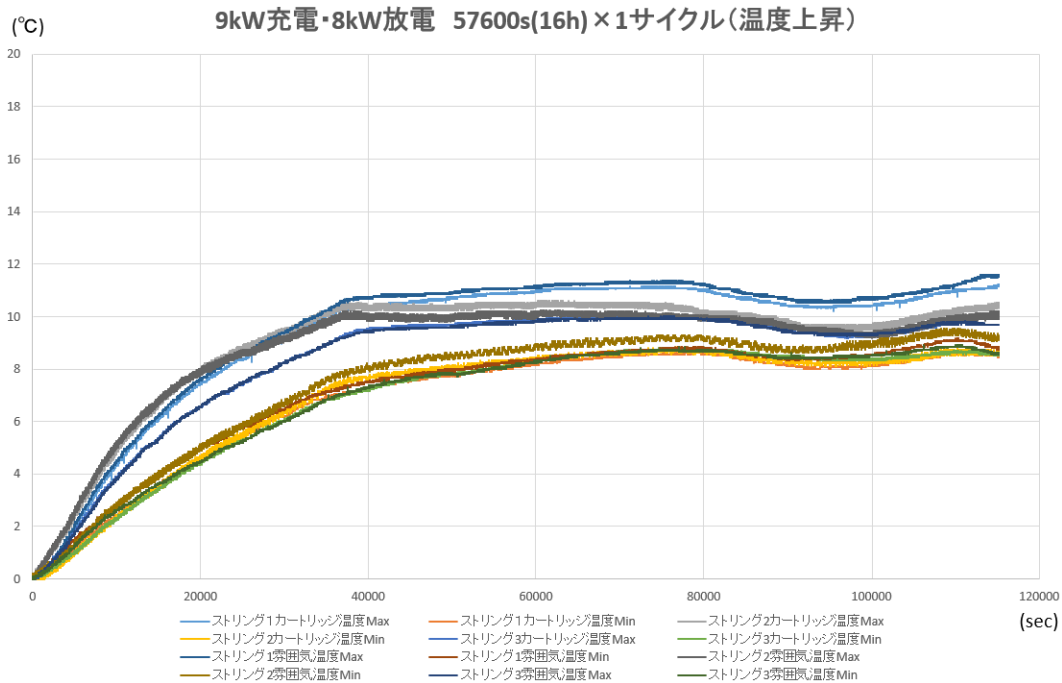


図2.25 試験条件 (5) 測定波形 (温度)

#### (6) 試験結果まとめ

上記 (1) ~ (5) の結果から、SOC を使用上下限付近で使用する充放電のサイクル条件で動作させる場合は、出力制限がかかってしまう可能性があるため、実運用においては、充電と放電の出力を固定値とするのではなく、電池の状態を見ながら出力を可変させる、または動作時間を可変させて動作を行うようなシステムを構築する必要がある。また出力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リップル電流を可能な限り抑制する必要がある。

電池温度の上昇に関しては、130kW 出力の際に温度が安定することなく上昇を続けており、連続で出力し続けると温度上限で出力に制限が掛かってしまう可能性がある。今回の設備では安全上の問題から各ストリングを鉄板で囲っていることもあり棚内の温度も上がりやすく、それに伴い電池温度も上昇しやすい環境となっている。実運用において電池の温度の影響を受けずに動作を可能にするためには、棚内の排気や電池冷却の方法なども検討する必要がある。

### 2.3.3. 短周期応動試験

図 2.26 の測定回路で試験を行った。試験条件の出力電力の算出根拠は、2.3.2 一定出力・一定時間の充放電試験と同様の方法で算出した。ただし、短周期応動試験は出力→休止であり、出力後に休止が入るため、試験条件 (3) 39600s について出力電力は算出値の 2 倍とする。(試験条件 (1) 300s、(2) 1800s は最大出力のため 2 倍としない)

<算出方法>

充電電力量：145kWh、放電電力量：131kWh、充放電効率：145kWh / 131kWh × 100 = 90%

・試験条件 (1)、(2) の放電動作：130kW × 90% = 117kW

・試験条件 (3) の充電動作：145kWh / 11h × 2 = 26kW、放電動作：131kWh / 11h × 2 = 23kW

※各計算結果において、端数は切り捨て

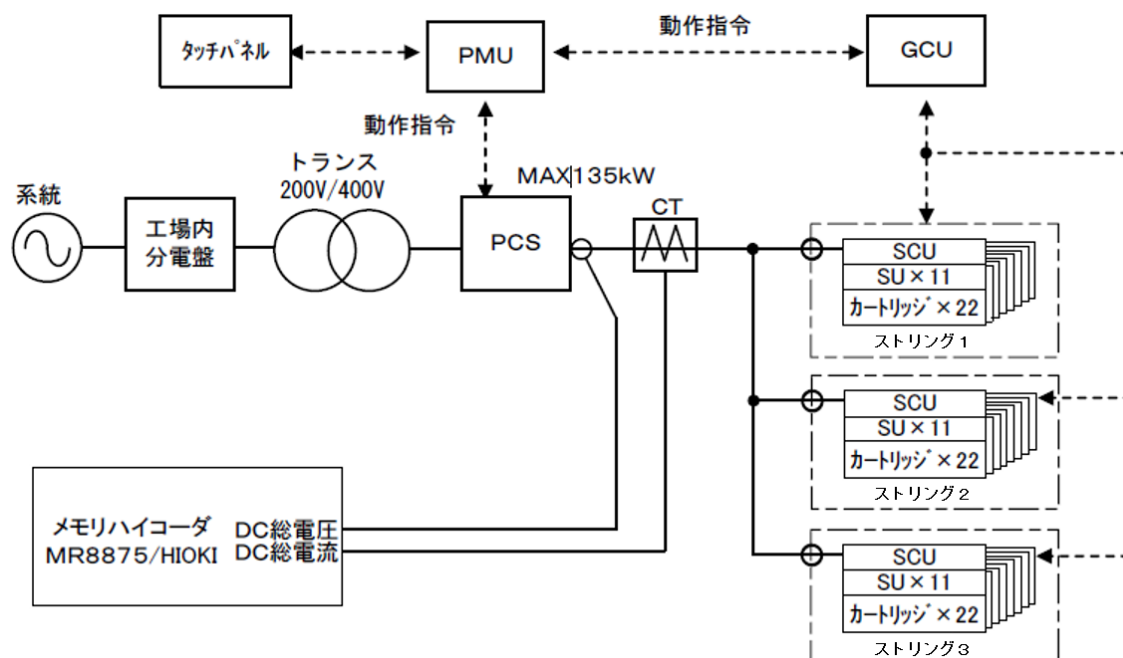


図 2.26 短周期応動試験測定回路

出力→休止の切り替え可能時間について、2.3.1. PCS 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。

2 秒間隔での出力に問題がないことを確認するために、メモリハイコーダを使用して 100ms 間隔で測定した立ち上がり波形を図 2.27、図 2.28 に示す。

図 2.27 は試験条件 (1)、(2) で出力→休止を 2 秒間隔とし場合の動作時間に対する出力電力であり、立ち上がり後 (1.0s 経過～2.0s の間) の出力平均値の 13 回分を図内の表に示す。出力が振れているが、設定電力の ±10kW 以内には収まっており、出力が正常に立

ち上がっていることが確認できた。

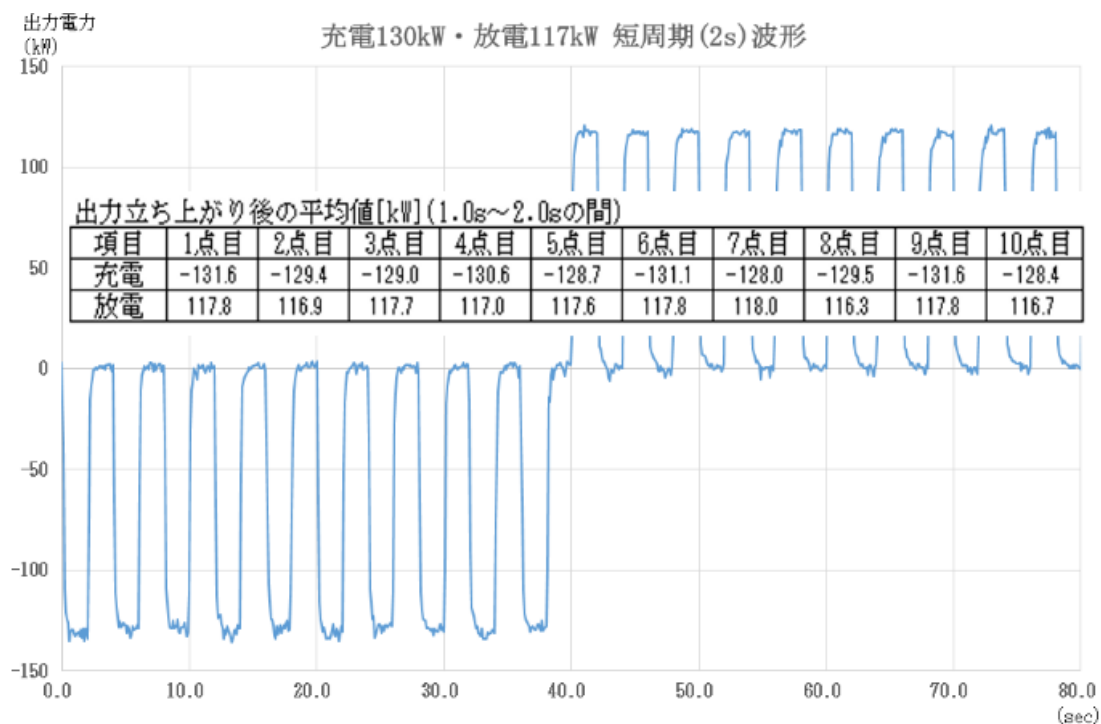


図 2.27 試験条件 (1)、(2) における立ち上がり確認波形 (2s 間隔)

図 2.28 は試験条件 (3) で出力→休止を 2 秒間隔とし場合の動作時間に対する出力電力であり、立ち上がり後 (1.0s 経過~2.0s の間) の出力平均値の 13 回分を図内の表に示す。出力が振れているが、設定電力の±10kW 以内には収まっており、出力が正常に立ち上がっていることが確認できた。

出力電力  
(kW)

充電26kW・放電23kW 短周期(2s)波形

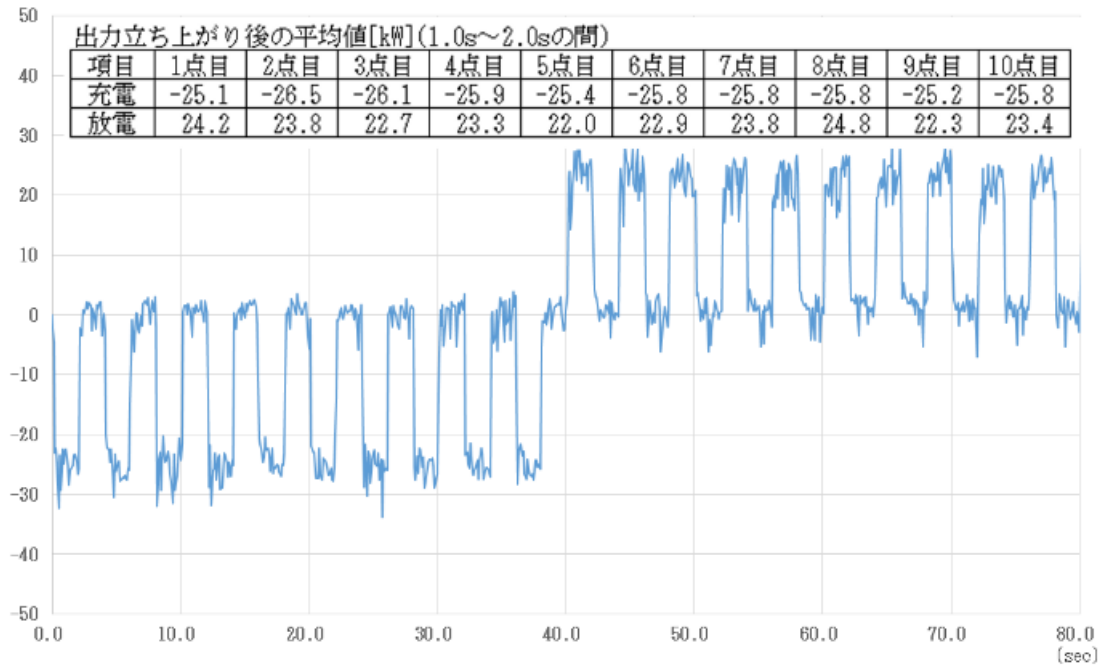


図 2.28 試験条件 (3) における立ち上がり確認波形 (2s 間隔)

(1) 試験条件 (1) の試験結果

図 2.29 に短周期 (2s 間隔) 300s×18 サイクルの試験結果を示す。図 2.29 は、動作時間に対する出力電力及びストリング 1~3 の各 SOC の波形で、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。SOC の変動に関しては、300s×18 サイクルで充電側に約 2%の偏りがあったが、SOC 使用範囲 (25%~75%) 内で十分に動作可能であることが確認できた。

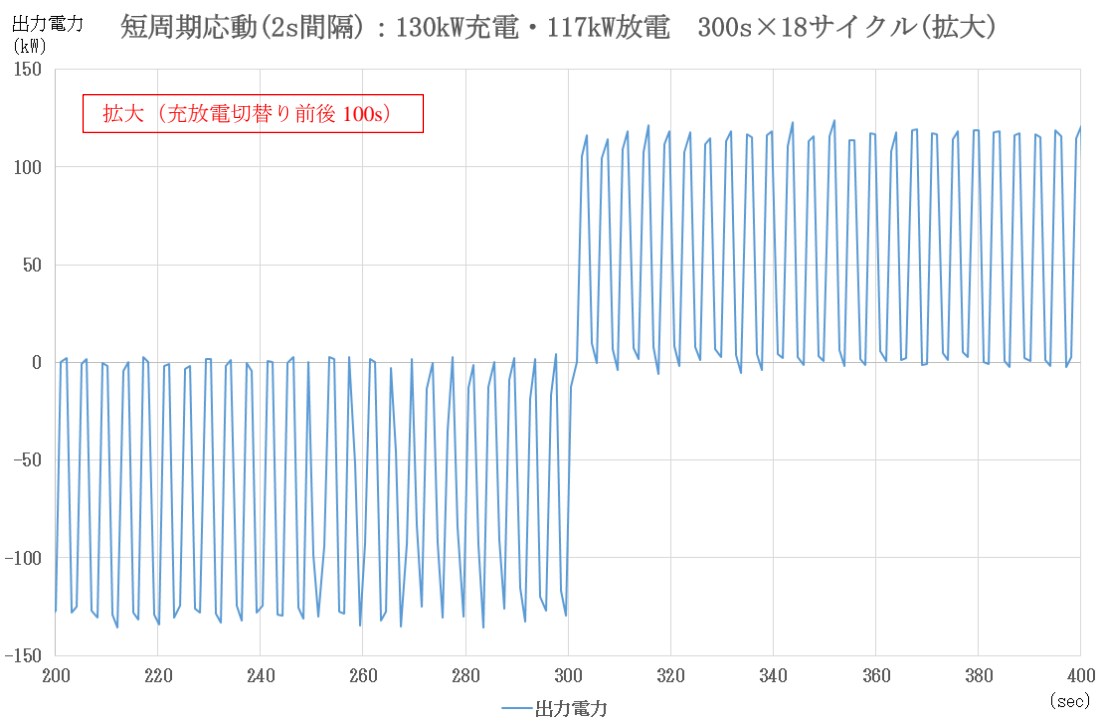
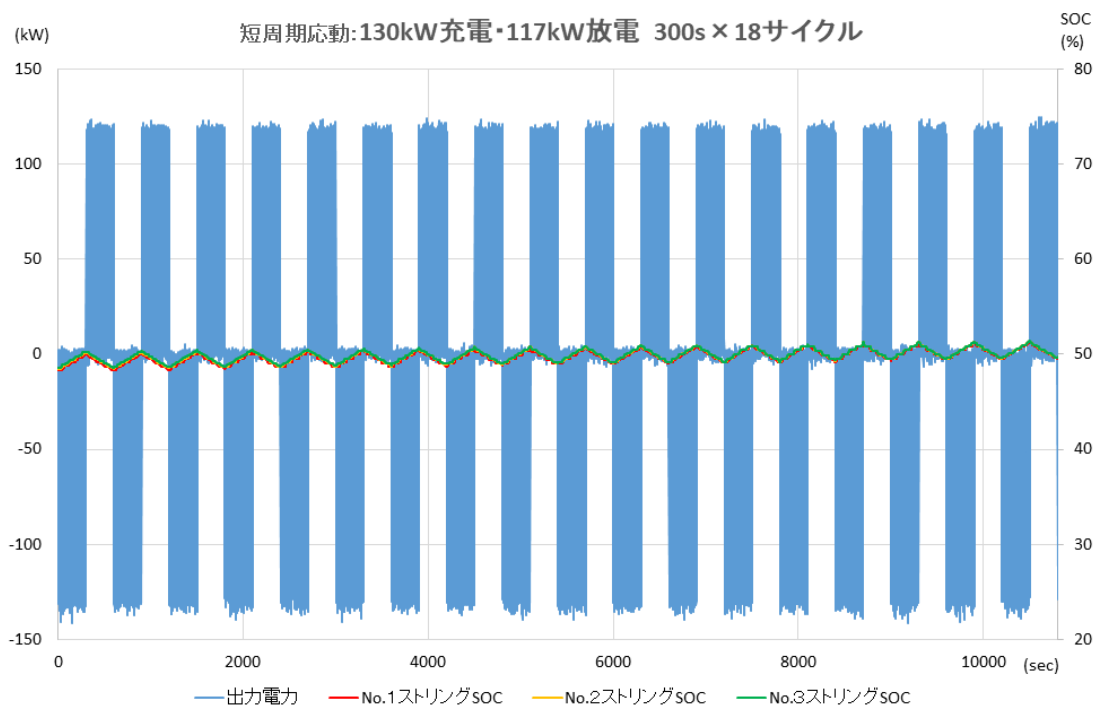


図 2.29 試験条件 (1) 測定波形 (出力電力、SOC)

(2) 試験条件 (2) の試験結果

図 2.30 に短周期 (2s 間隔) 1800s×5 サイクルの試験結果を示す。図 2.30 は、動作時間に対する出力電力及びストリング 1~3 の各 SOC の波形で、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、1800s×5サイクルで充電側に約2.5%の偏りがあったが、SOC使用範囲(25%~75%)内で十分に動作可能であることが確認できた。

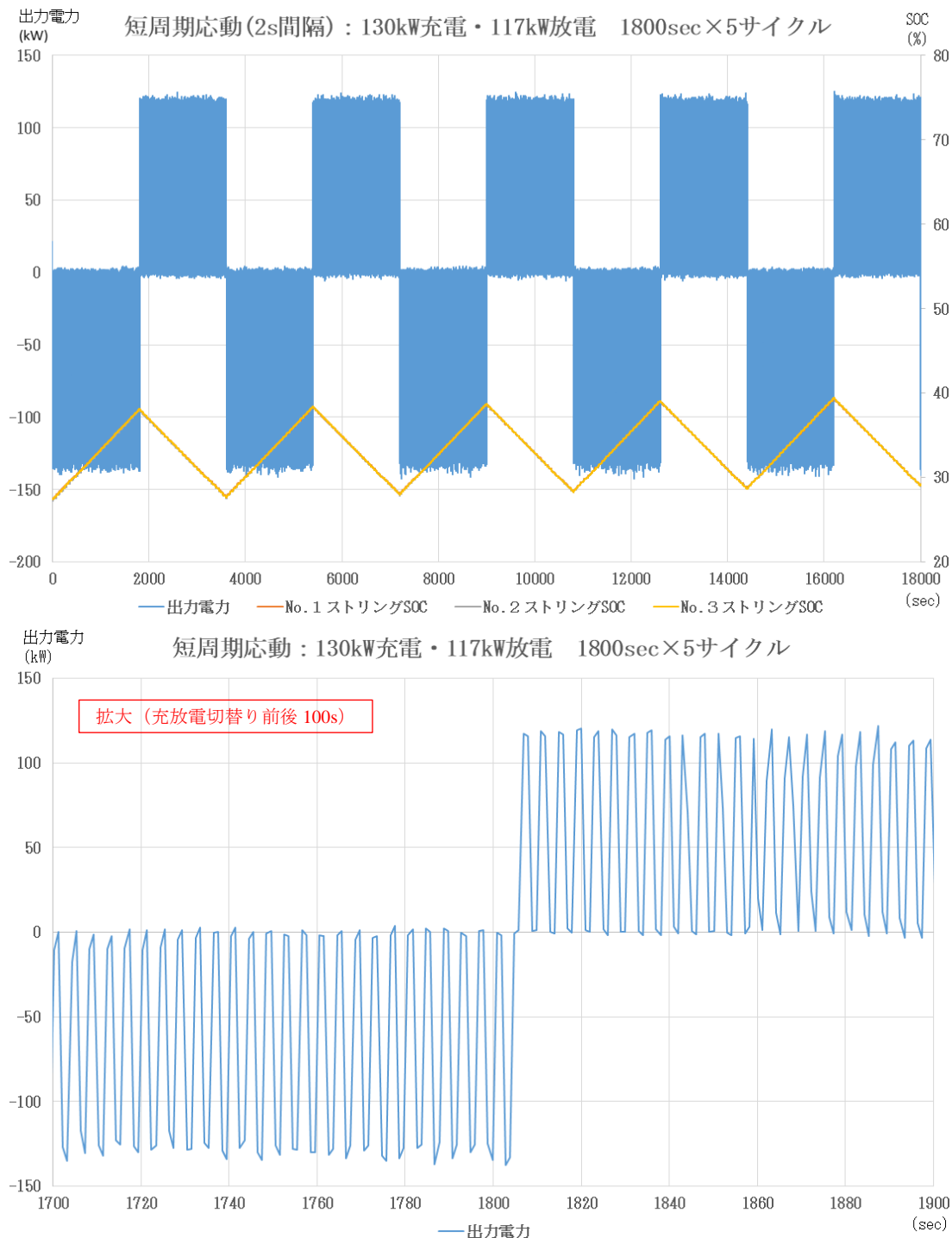


図 2.30 試験条件 (2) 測定波形 (出力電力、SOC)

### (3) 試験条件 (3) の試験結果

図 2.31 に短周期 (2s 間隔) 39600s (11h) ×1 サイクルの試験結果を示す。図 2.31 は、動作時間に対する出力電力及びストリング 1~3 の各 SOC の波形で、この結果から 11h×1 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、11h×1 サイクルで充電側に約 4.5%の偏りがあったが、十分に動作可能であることが確認できた。

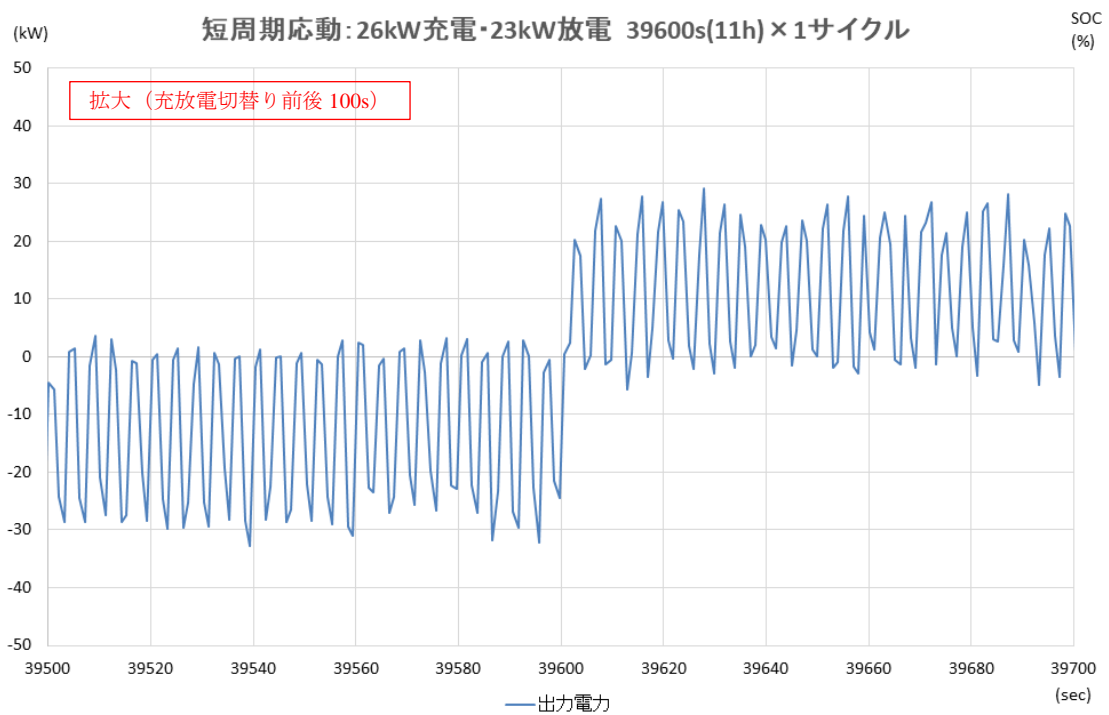
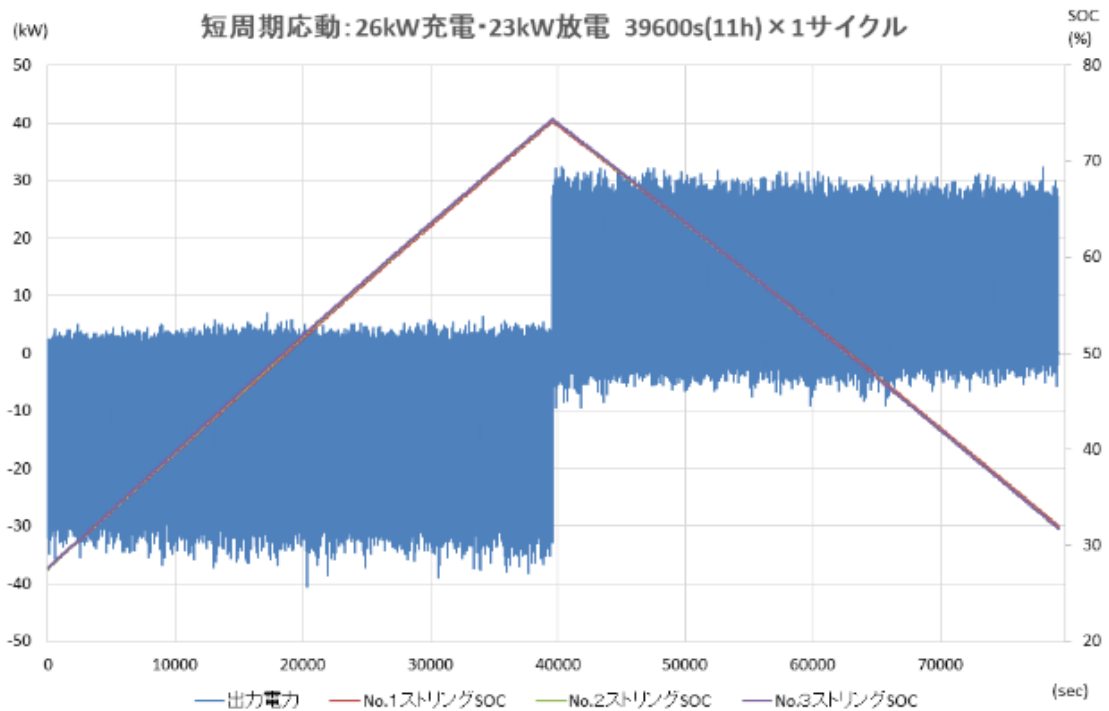


図 2.31 試験条件 (3) 測定波形 (出力電力、SOC)

### 2.3.4. 中古品混在による運用評価試験及び中古品性能評価

図 2.32 の測定回路で試験を行った。通常のカートリッジの内部構成は 24 個のセルを 2 並列×12 直列としている。今回使用した劣化模擬電池は、カートリッジ内部のセル数を半分の 12 個とし、並列接続を無くした 12 直列に変更して、電池容量 (kWh) を 50% とした。カートリッジ内部の並列接続を無くしたため、出力 130kW で動作すると、劣化模擬電池に対しては通常の 2 倍の電流が流れてしまう。そのため、安全上の問題から出力を当初予定の 130kW から半分の 65kW として試験を行った。なお、各ストリングのカートリッジ 20 を劣化模擬電池と入れ替えて試験を行った。試験は SOC 下限値 (25%) から SOC 上限値 (75%) に到達するまでの充電時間、SOC 上限値 (75%) から SOC 下限値 (25%) に到達するまでの放電時間から電池容量 (kWh) を算出した。

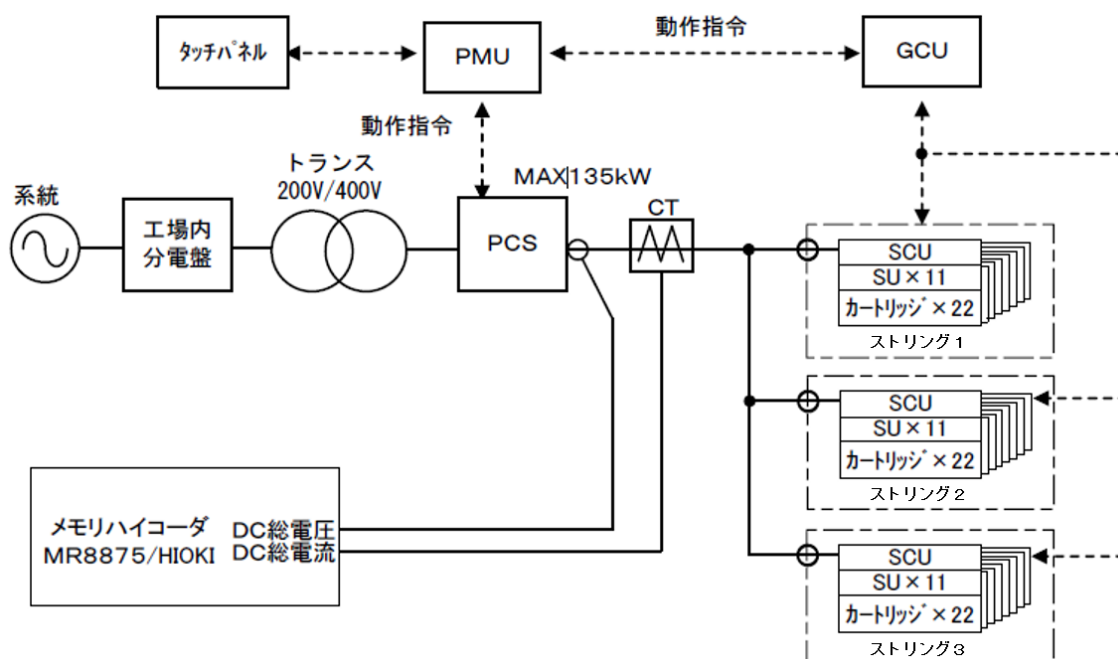


図 2.32 中古品混在による運用評価試験 測定回路

#### (1) 劣化模擬電池+Sweep 機能有効の場合

測定波形を図 2.33 に示す。各ストリングの SOC 及び各カートリッジの SOC はほぼ均等に変化しており、Sweep 機能が有効であれば、ストリング内に劣化電池が混在していても、各カートリッジで SOC に偏りがなく、各カートリッジ容量を有効に使用できることが確認できた。

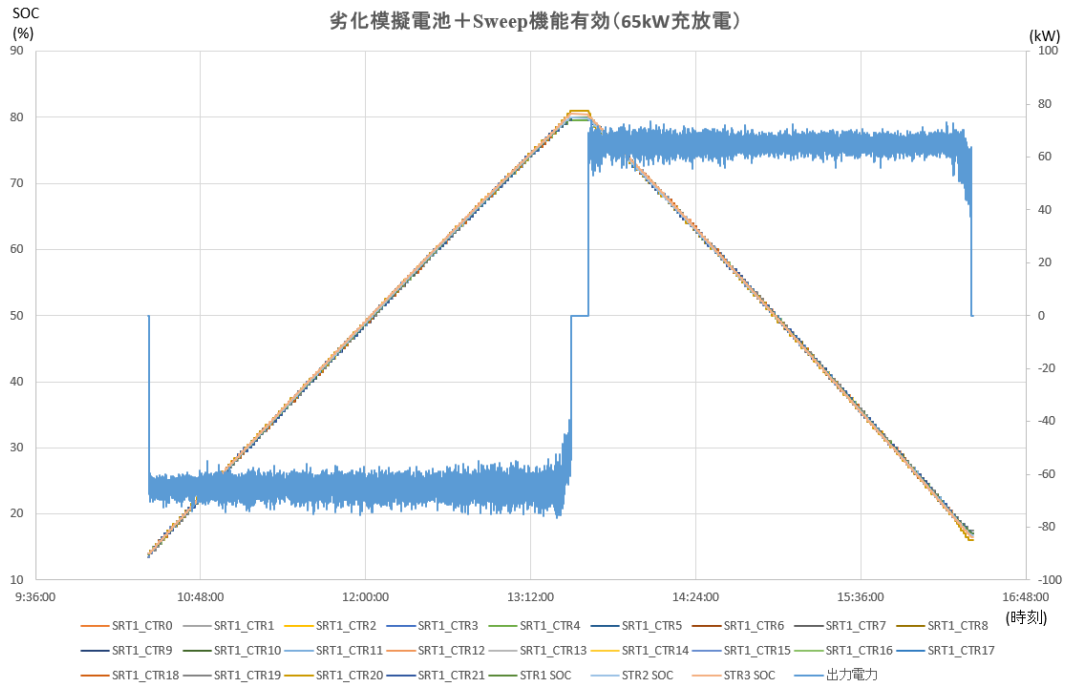


図 2.33 中古品混在による運用評価試験 劣化模擬電池+Sweep 機能有効時の測定波形

## (2) 劣化模擬電池+Sweep 機能無効の場合

測定波形を図 2.34 に示す。劣化模擬電池を使用しているカートリッジ 20 の SOC 変化が他カートリッジ SOC と比べて倍の速度で変化している。これは、Sweep 機能を無効としており、各カートリッジの容量は考慮せず一律に充電または放電を行うため、電池容量が 50% となっている劣化模擬電池の SOC の変化が顕著となっていると考えられる。また、ストリングの SOC には余裕があるが、カートリッジ 20 の SOC が上下限（充電 75%、放電 25%）に到達することで出力制限が掛かっている。これは、上記内容と同様に Sweep 機能が無効となっており、一つのカートリッジでも SOC 上下限に到達すれば、そのカートリッジ容量に引っ張られる形で出力が制限されてしまうためだと考えられる。

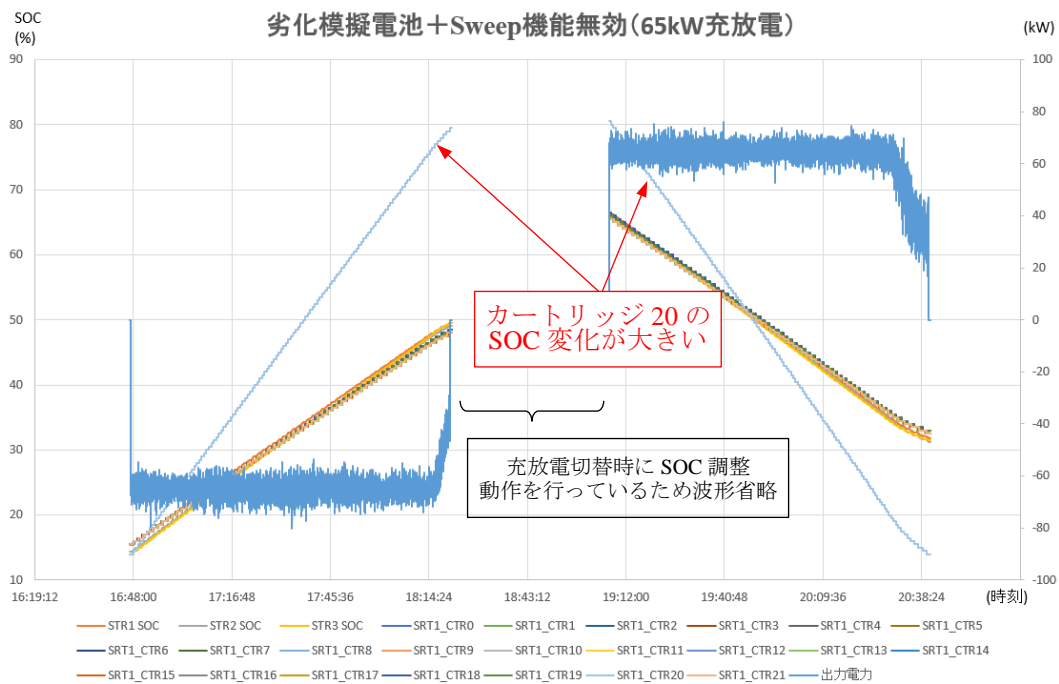


図 2.34 中古品混在による運用評価試験 劣化模擬電池+Sweep 機能無効時の測定波形

(3) 試験結果まとめ

測定結果を表 2.6 に示す。測定結果から、電力量は充電・放電どちらも (1) > (2) となることが確認できた。

(1) > (2) の結果から、Sweep 機能を有効にすることにより、劣化模擬電池によらず全ての電池容量を最大限使用可能であることを確認できた。また、充放電電力量以外、中古品混在による蓄電システム挙動への影響は認められなかった。

表 2.6 中古品混在による運用評価試験 試験結果一覧

項目	(1) 劣化模擬電池+Sweep 機能有効	(2) 劣化模擬電池+Sweep 機能無効
充電電力量[kWh] (SOC25~75%)	150.6	75.2
放電電力量[kWh] (SOC25~75%)	142.9	73.1

### 2.3.5. リチウムイオン電池とニッケル水素電池等のハイブリッド検討

今回構築した Sweep 機能を活用することで、技術的にはカートリッジ単位での異種電池組合せが可能となる。一方、カートリッジ単位で制御を行うためには電池仕様に合わせた制御回路が必要となることから、ストリング単位で電池仕様を統一した蓄電システムとすることが最適と考えられる。

ストリング毎にパワー型及びエネルギー型の電池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と考えられる。設備構成イメージを図 2.35 に示す。

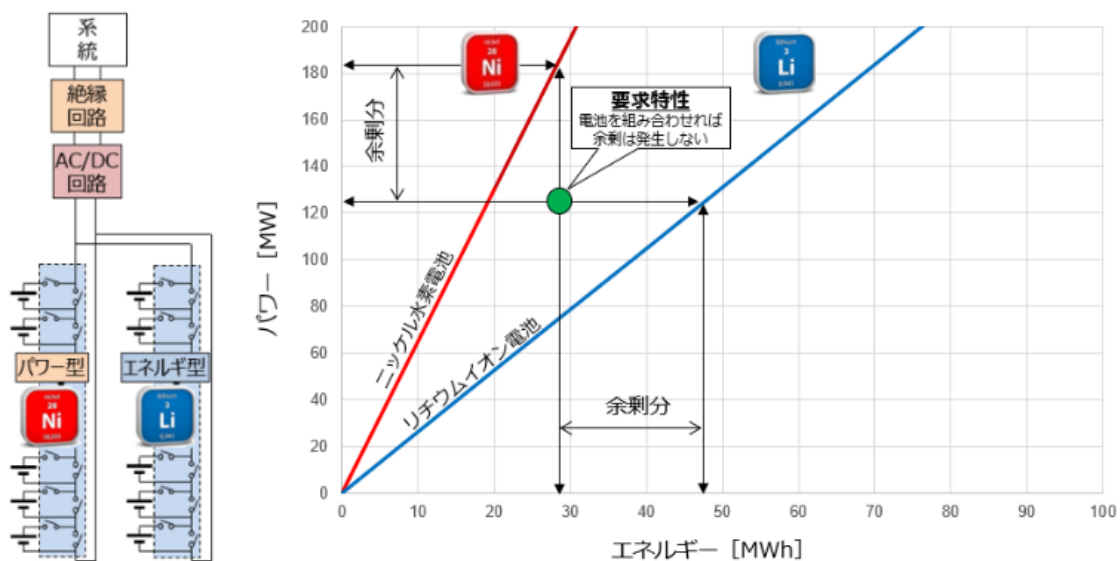


図 2.35 異種電池の組み合わせによる設備構成 (イメージ)

### 2.3.6. 車載インバータのリユース検討

図 2.36 の測定回路を模擬したシミュレーション及び実証設備を構築し試験を行った。バッテリーシミュレータ (BTS1)、車載インバータ、フィルタ、電源発生装置を接続して系統電圧との同期及び、4.5kW の充電試験を行った。

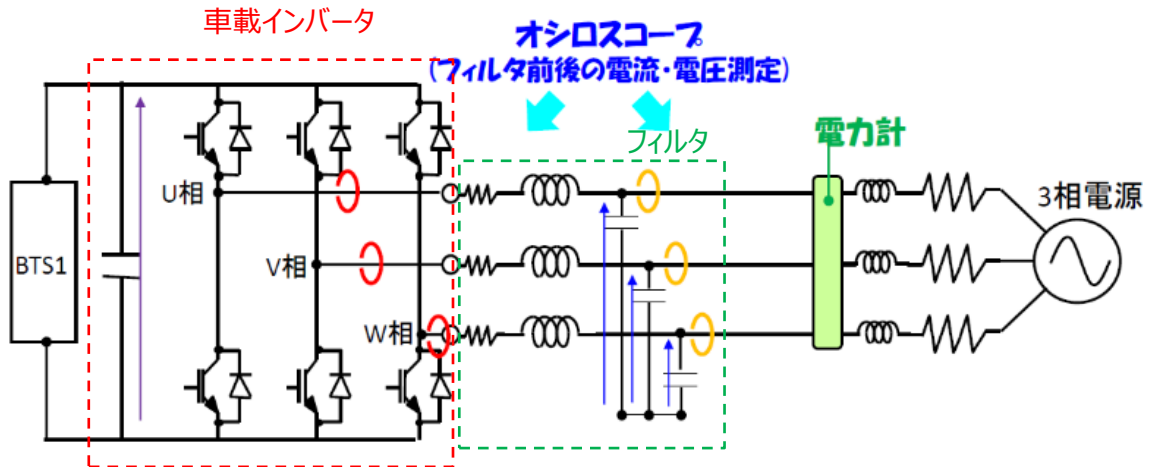


図 2.36 車載インバータのリユース検討回路

#### (1) 系統電圧との同期試験

試験方法及び試験結果を図 2.37、図 2.38 に示す。電流値の 0A 近傍での制御、フィルタによる高調波の削減を確認した。しかし、フィルタ後の電圧、電流においてまだ波形に乱れが残っていることから、系統接続するためには系統要件に合致した波形成形について検討を行う必要がある。

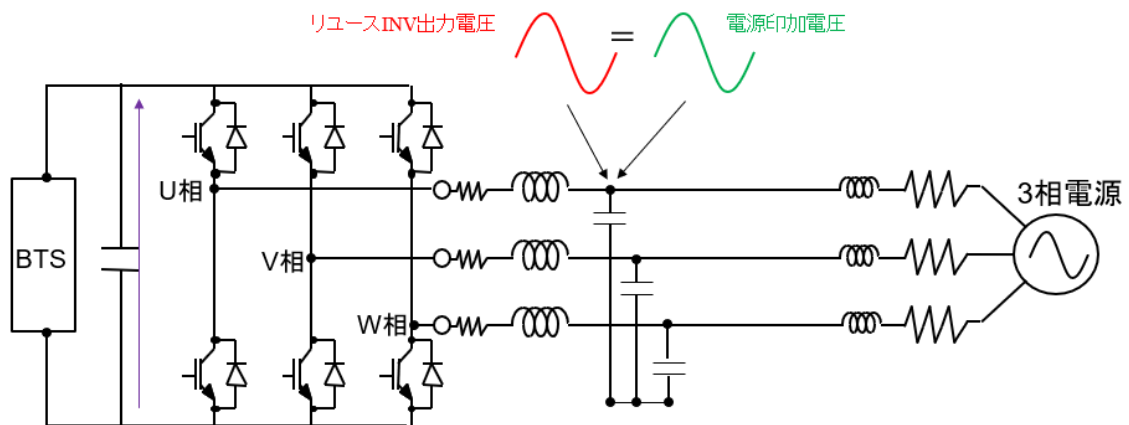


図 2.37 系統電圧との同期試験 試験方法



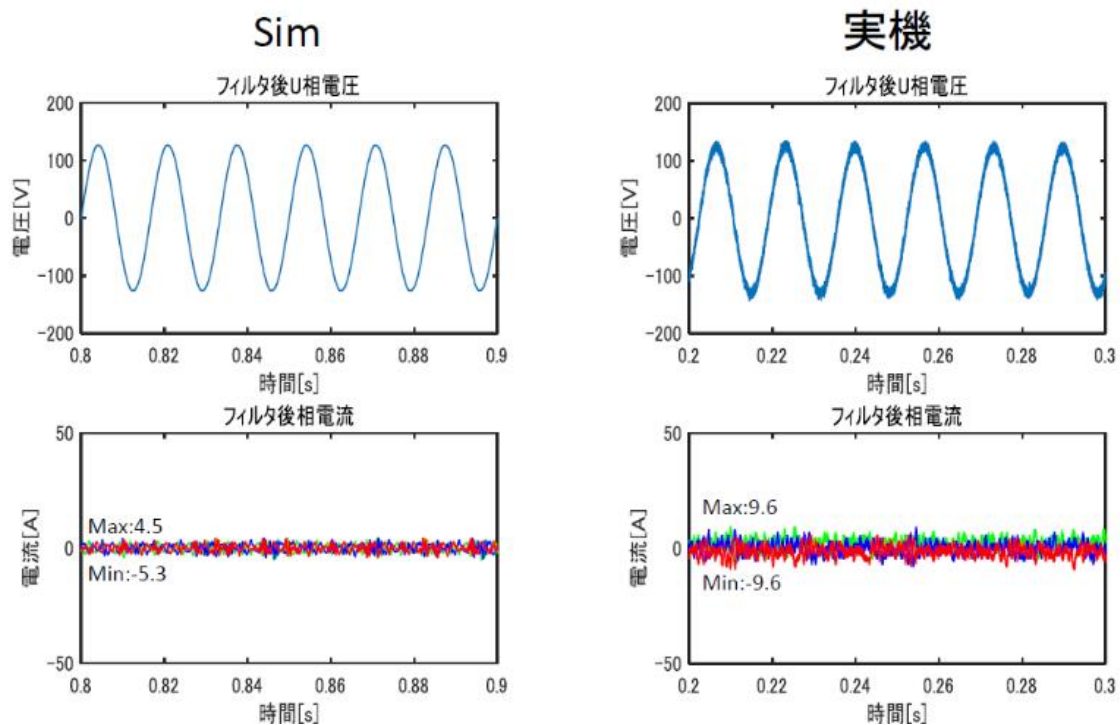


図 2.38 系統電圧との同期

## (2) 4.5kW 充電試験

試験方法及び試験結果を図 2.39、図 2.40 に示す。電圧、電流が逆位相（力率-1）であり、系統電圧と同期しつつ充電動作していることを確認した。しかし、電圧、電流においてまだ波形に乱れが残っていることから、系統接続するためには系統要件に合致した波形成形について検討を行う必要がある。

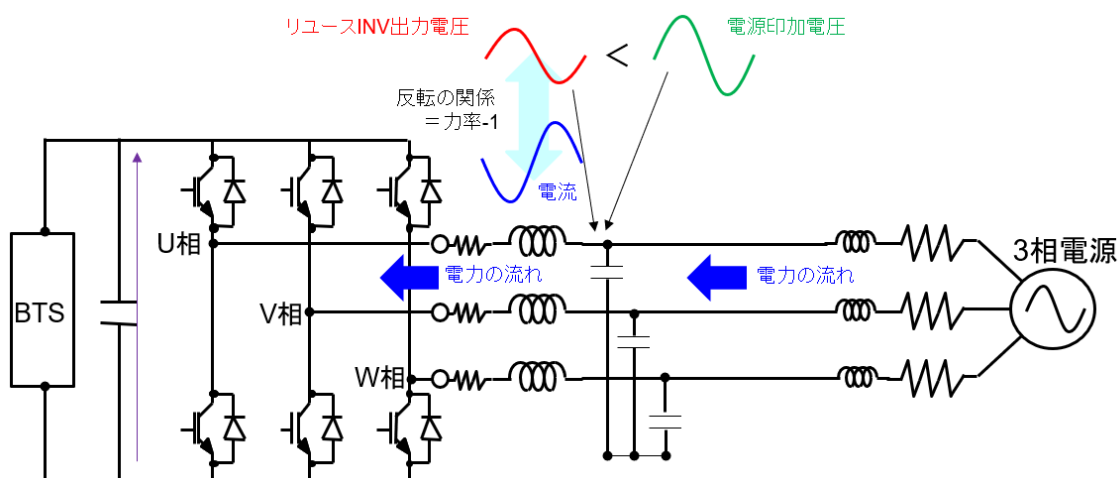


図 2.39 4.5kW 充電試験 試験方法

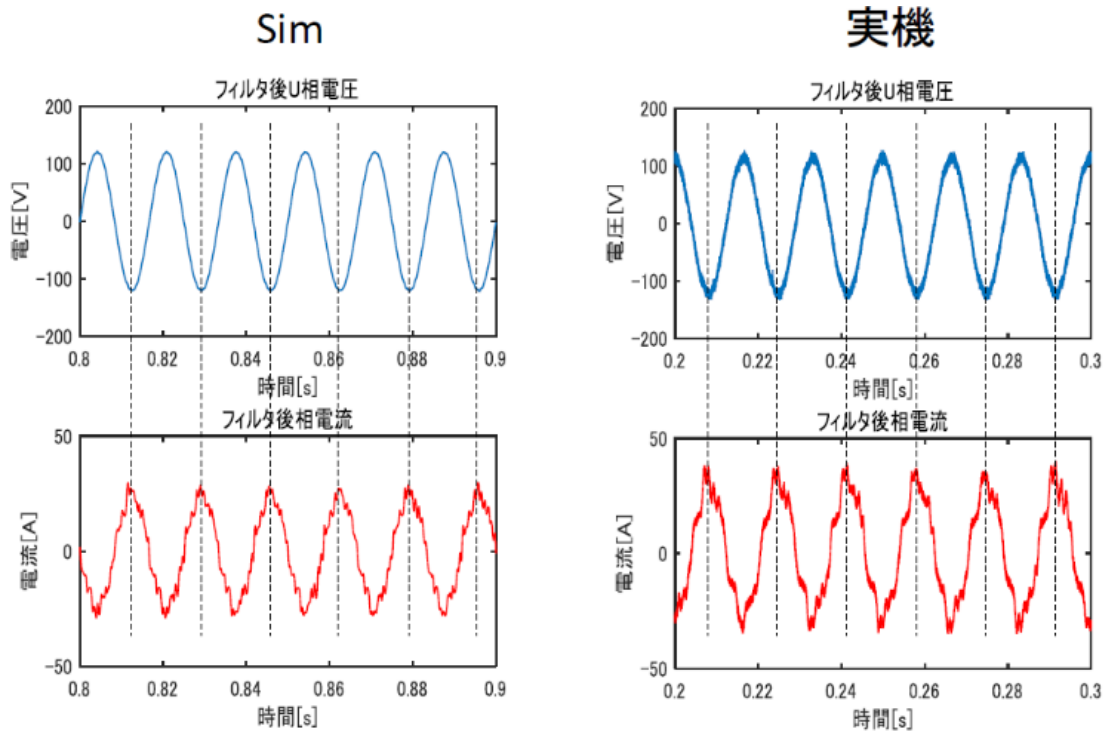


図 2.40 4.5kW 充電試験

### 2.3.7. 試験結果のまとめ

本実証試験の結果から見えた今後の課題について表 2.7 に示す。

まず、本実証試験において、小規模のリユース蓄電システムを構築しその基本動作について確認することができた。

一定周期・一定時間の充放電試験、短周期応動試験を行い、需給調整市場及び容量市場の要件に見合った充放電動作が可能であることが確認できた。しかし、SOC を使用上下限付近で使用する場合は、設定条件によっては出力制限がかかってしまい必要な出力が供給できない可能性があるため、実運用においては、充電と放電の出力を固定値とするのではなく、電池の状態を見ながら出力を可変させる、または動作時間を可変させて動作を行うようなシステムを構築する必要がある。また出力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リップル電流を可能な限り交流設備側にて抑制する必要がある。

劣化模擬電池試験においては、Sweep 機能の有効性を確認することができた。各カートリッジ容量にばらつきがあることが想定されるリユース蓄電システムにおいて、リユース電池を最大限効率よく使用するためにも Sweep 機能を有効活用することが重要であると認識した。

車載用インバータのリユースについては、交流波形の形成及び系統電圧との同期を図ることができた。しかし、電圧、電流においてまだ波形に乱れが残っていることから、系統接続するためには系統要件に合致した波形成形について検討を行う必要がある。

表2.7 本実証試験の結果から見えた今後の課題

今後の課題
・ 充放電補正回路の構築
・ 交流設備側におけるリップル電流の抑制
・ リユースインバータを活用した系統要件に合致した波形成形

## 2.4. 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、大規模システム化に向けた技術的な課題解決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、中古リチウムイオン電池以外に車載用インバータの活用について検討を行い、交流波形の形成、系統電圧との同期が確認でき、PCS 機能の代替可能性を確認できた。

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、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。

### 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。

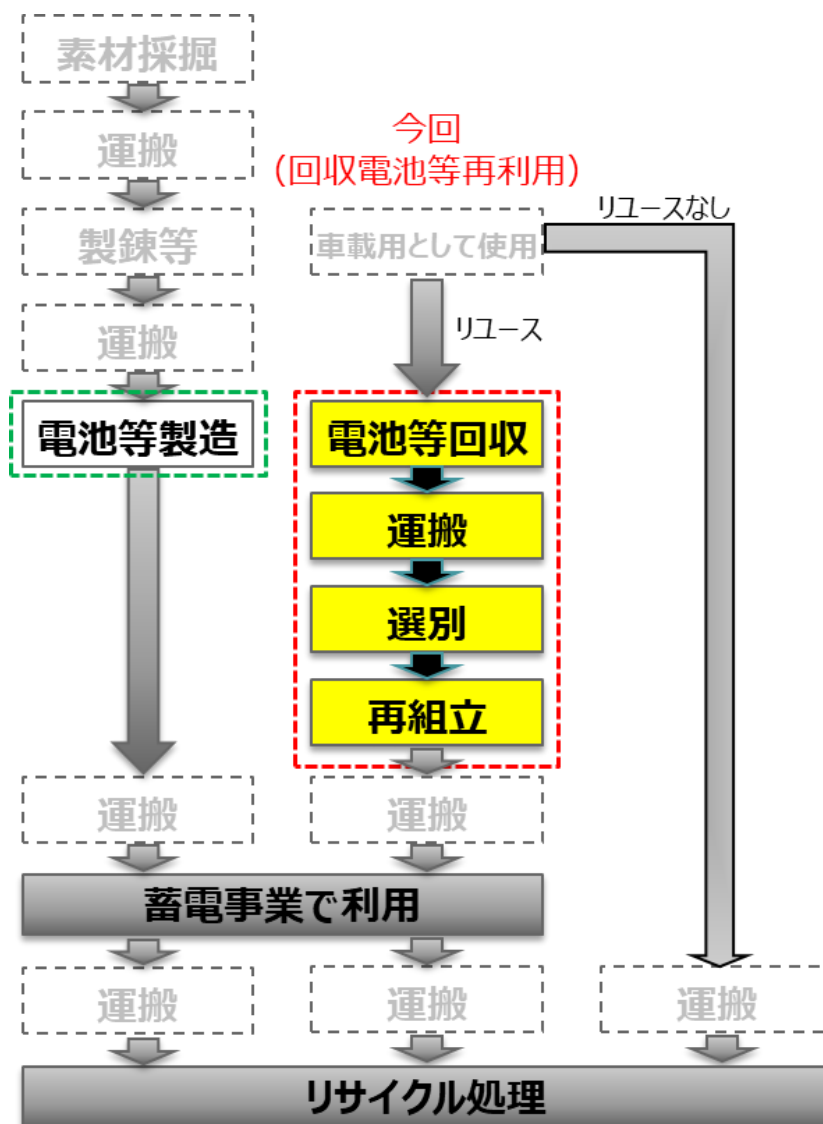


図 3.1 新品電池製造及びリユース事業の各工程

#### 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 <sup>※1</sup>	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 <sup>※2</sup>	0.00258	t/L
7	輸送 10t トラック燃費	3.12	km/L

(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 当たりの CO2 排出量を試算した結果、式 (3.1) の通り、1016.18t の CO2 排出量となる。一方、今回事業については電池回収・運搬時の CO2 排出量を試算した結果、式 (3.2) の通り、5.50t 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電池容量を 50% とし、9kWh 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。

<ベースライン>

新品電池製造時の CO2 排出量[t]

$$\begin{aligned}
 &= \text{電池容量[kWh]} \times \text{電池製造時の CO2 排出量[t/kWh]} \\
 &\quad + \text{PCS 製造時の CO2 排出量[t/kW]} \times \text{電池出力[kW]} \\
 &= 10,000 \times 0.1 + 0.001618 \times 10,000 \\
 &= 1016.18[t]
 \end{aligned}$$

式 (3.1)

<今回事業>

回収電池等再利用時の CO2 排出量[t]

$$\begin{aligned} &= \text{電池容量[kWh]} \times \text{電池回収時の CO2 排出量[t/kWh]} \\ &\quad + \text{車載インバータ再利用に伴う回収時の CO2 排出量[t/kW]} \times \text{電池出力[kW]} \\ &= \text{電池容量[kWh]} \times (\text{軽油の CO2 排出量[t/L]} \div \text{燃費[km/L]} \times \text{輸送距離[km]} \div \text{積載台数[台]} \div 1 \text{台あたりの電池容量[kWh/台]}) + (\text{軽油の CO2 排出量[t/L]} \div \text{燃費[km/L]} \times \text{輸送距離[km]} \div \text{積載台数[台]} \div \text{車載インバータ出力[kW/台]}) \times \text{電池出力[kW]} \\ &= 10,000 \times (0.00258 \div 3.12 \times 350 \div 59 \div (18 \times 0.5)) \\ &\quad + (0.00258 \div 3.12 \times 350 \div 281 \div 186.5) \times 10,000 \\ &= 5.50 \end{aligned} \qquad \text{式 (3.2)}$$

## 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 5 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 5 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) PCS 等の主要機器の台数削減

車載インバータのリユース等による PCS 機能の代替により、コストの大半を占める主要機器の台数削減を実現することができるため、更なる設備設計の最適化を図ることによりコストダウン効果を得られると考えられる。詳細設計を行いその効果を見定めるとともに、技術的問題が発生しないことを確認する。

#### (2) 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。制御技術の開発及び詳細設計を行い蓄電システムの最適化を検討する。



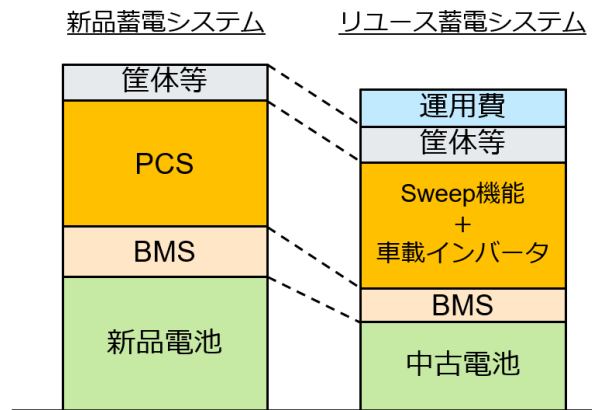


図 4.1 新品蓄電システムとリユース蓄電システムの構築コスト (イメージ)

## 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。

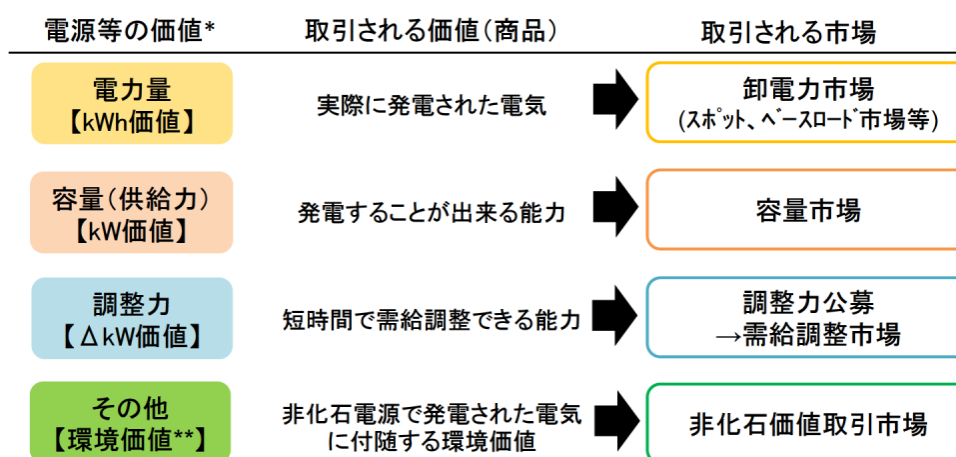


図4.2 日本の電力市場整備の方向性

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<sup>※1</sup>、13.4GW<sup>※2</sup> 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<sup>※3</sup> 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 9kWh/台とすると、トータルで 4.5GWh 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 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

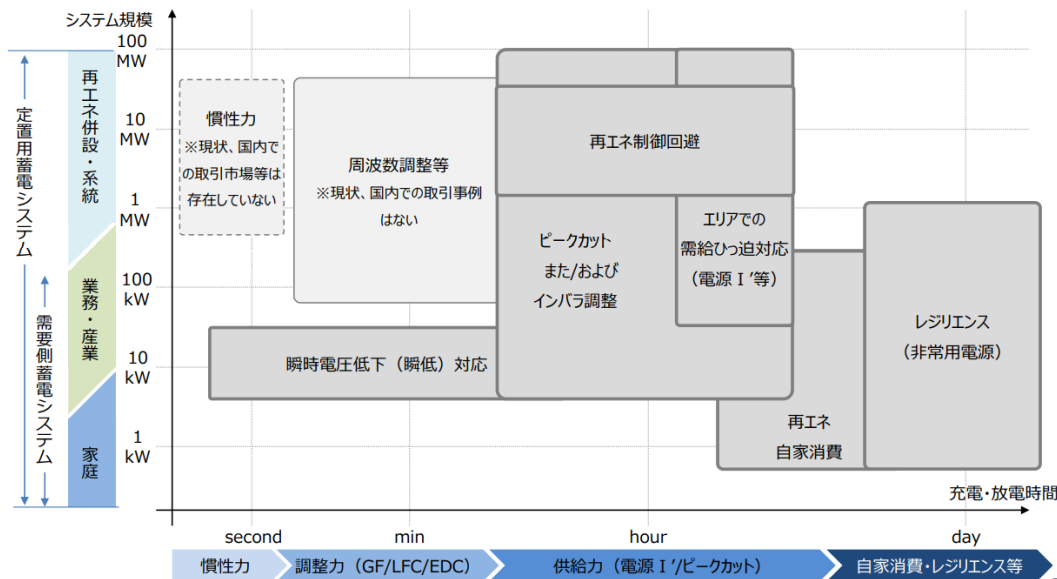


図 4.4 定置用蓄電システムの設置場所とユースケース

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

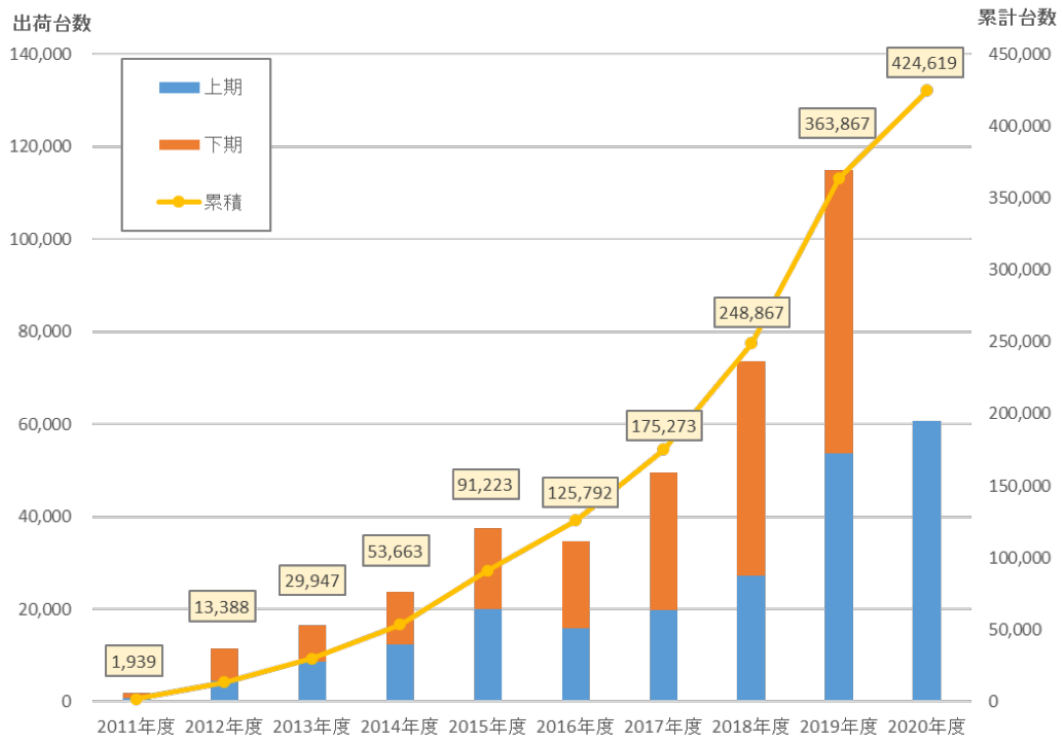


図 4.5 定置用リチウムイオン蓄電システムの市場規模

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

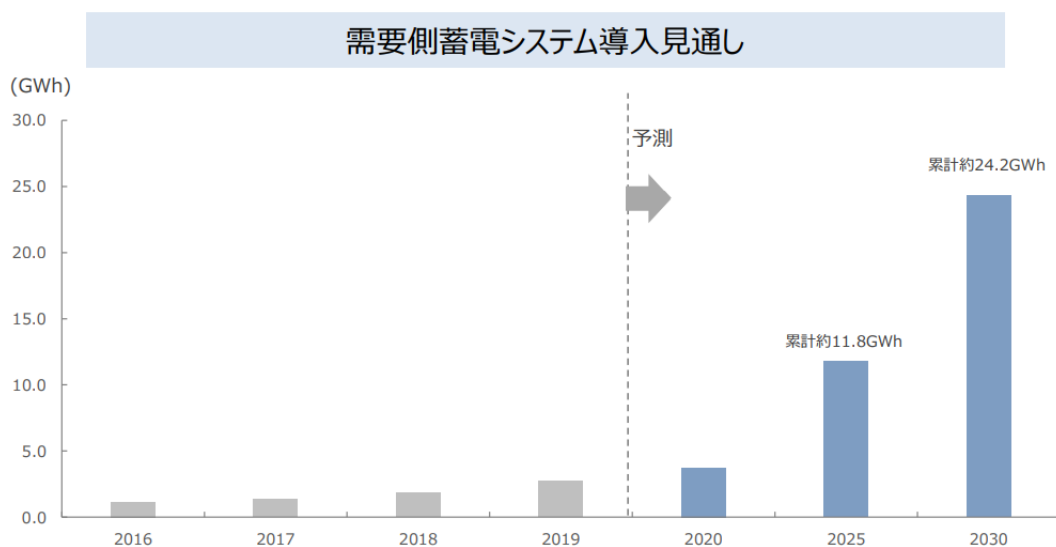


図 4.6 需要家側蓄電システムの導入見通し

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。

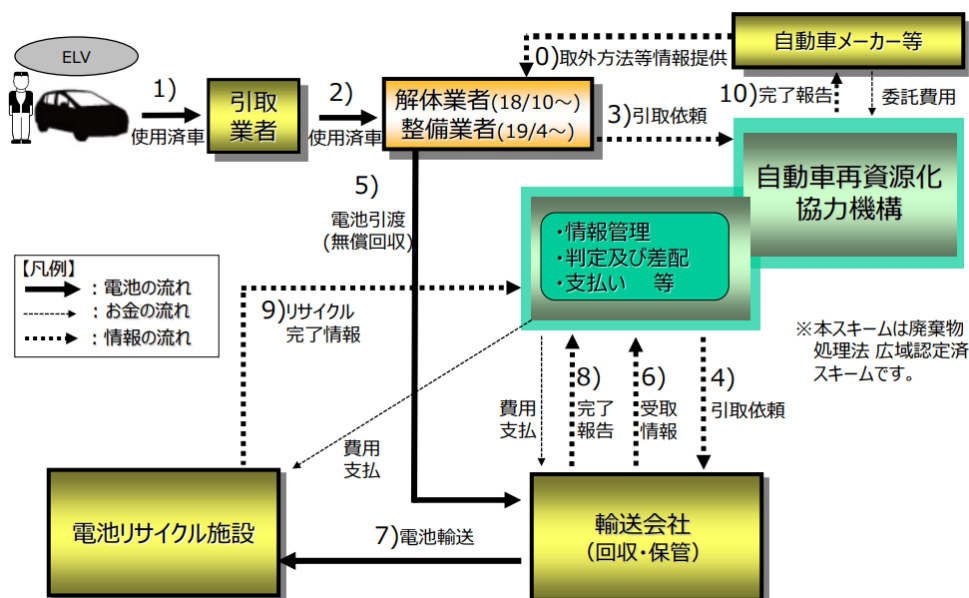


図4.7 使用済み車のリサイクルプロセスフロー

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