

環境省事業
「地域共創・セクター横断
型カーボンニュートラル
技術開発・実証事業」

令和6年度成果発表会

「エッジデータセンター向けのサーキュラー型蓄電システム
の技術開発(委託・補助事業)」
成果報告

令和 7年 1月 17日
株式会社リコー 環境・エネルギー事業センター
野津 龍太郎

1. 「データセンター向けHEV・EV由来リユースバッテリーを用いた蓄電システム開発」の背景、本委託事業における開発スケジュール
2. 本蓄電システム要素開発における検討技術
 - ① 複数種リユースバッテリー制御による電力損失低減技術
 - ② Ni-Zn電池を用いた低コストLIBセル間均等化技術
 - ③ LIBの過充電におけるin-situ不安全予兆検知技術
 - ④ LIB回収における低コスト性能検査技術
3. データセンター向け太陽光発電および本蓄電システムを用いた高効率電力供給の実証評価
量産時CO2排出量削減コスト期待値、採算性
4. 事業化に向けた今後の課題および取組
5. まとめ

1. 「データセンター向けHEV・EV由来リユースバッテリーを用いた蓄電システム開発」の背景、本委託事業における開発スケジュール
2. 本蓄電システム要素開発における検討技術
 - ① 複数種リユースバッテリー制御による電力損失低減技術
 - ② Ni-Zn電池を用いた低コストLIBセル間均等化技術
 - ③ LIBの過充電におけるin-situ不安全予兆検知技術
 - ④ LIB回収における低コスト性能検査技術
3. データセンター向け太陽光発電および本蓄電システムを用いた高効率電力供給の実証評価
量産時CO2排出量削減コスト期待値、採算性
4. 事業化に向けた今後の課題および取組
5. まとめ

電動車 (HEV, EV)



廃車 → 解体



従来



リサイクル

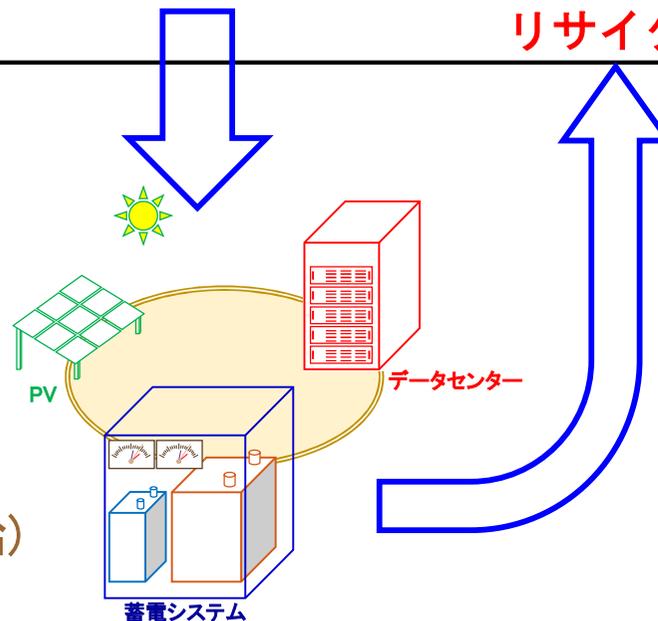
Co,
etc.



使用済み複数種バッテリーの二次利用

→ リサイクル前に電池の余剰性能を有効利用
(採掘資源の消費低減・省エネ)

- ・ 低コスト蓄電システムの提供
(電力コスト低減)
- ・ 短周期変動緩和ができる
(電力損失を低減しながらDCへ電力供給)



通信技術向上に伴うデータセンター消費電力増大のトレンド および本蓄電システム技術開発の意義

New technology
for practical use

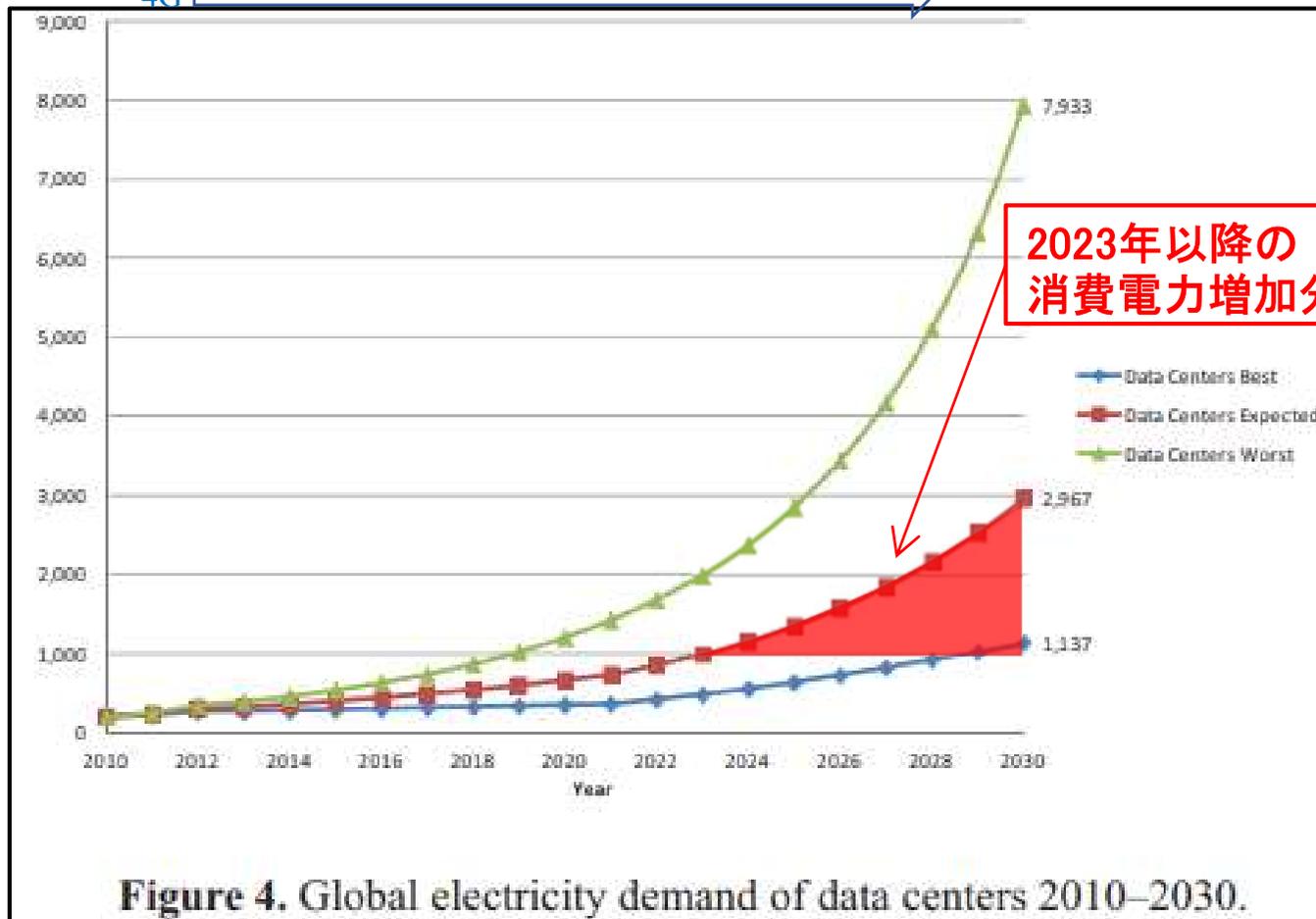
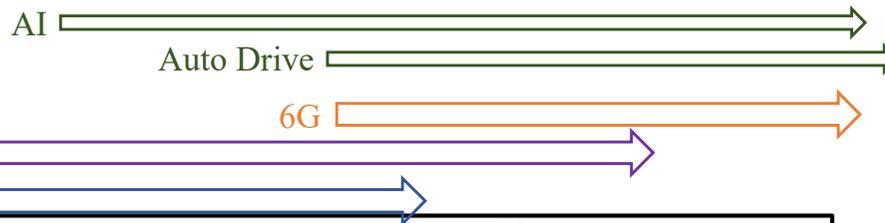


Figure 4. Global electricity demand of data centers 2010–2030.

Ref. 1) A. S. G. Andrae and T. Edler, "On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030", *Challenges*, 6, pp. 117-157 (2015).

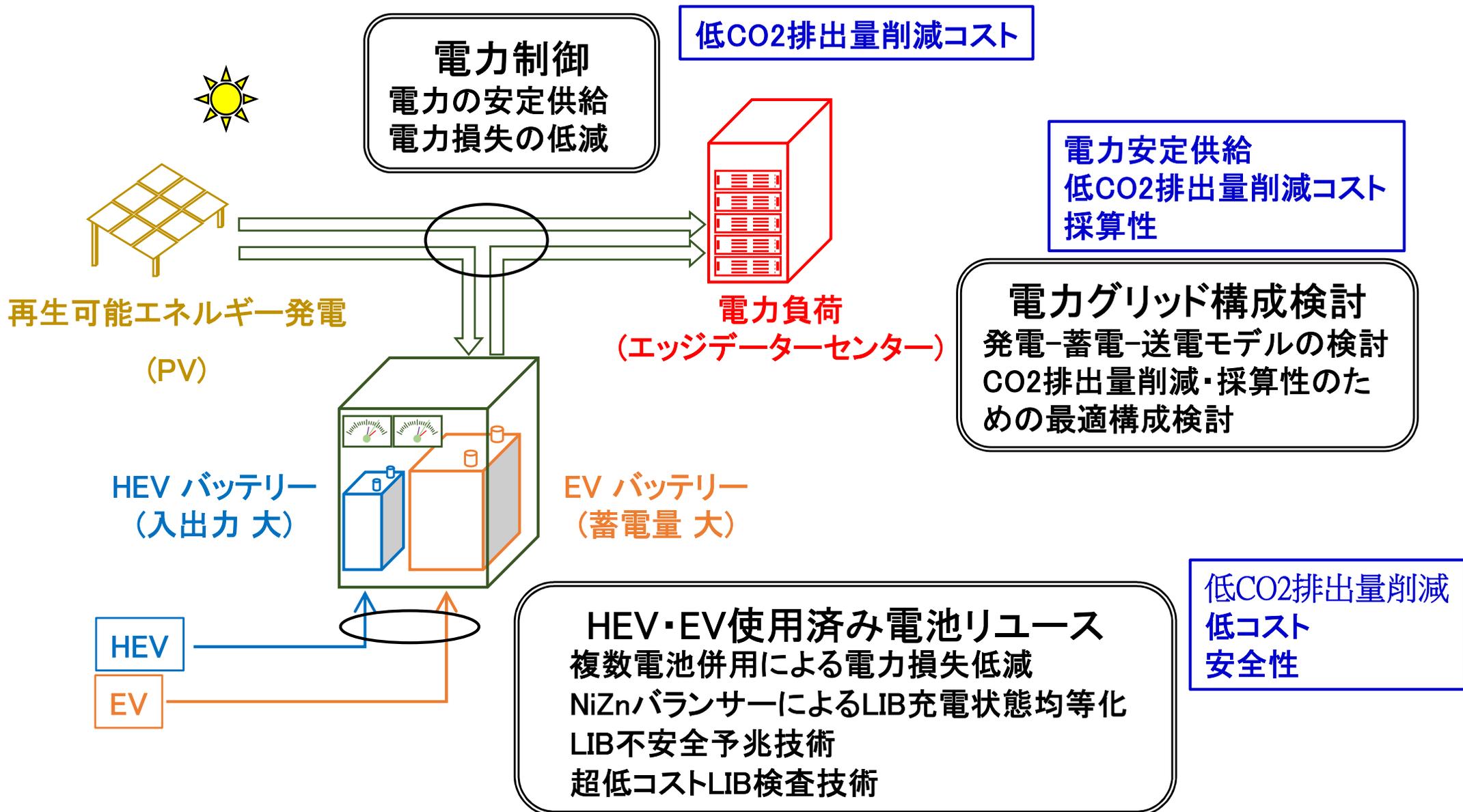
通信技術の向上
(通信データ量の増大)
によって、データセンター(DC)
が新設され、それに伴って、消
費電力が増大する。

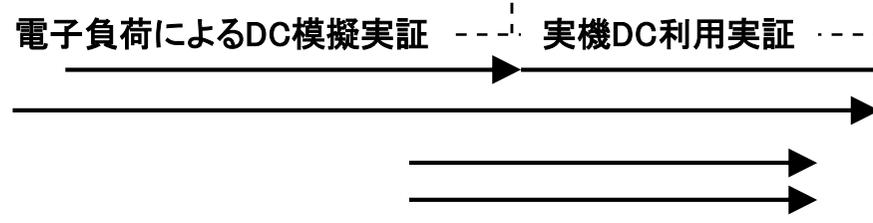
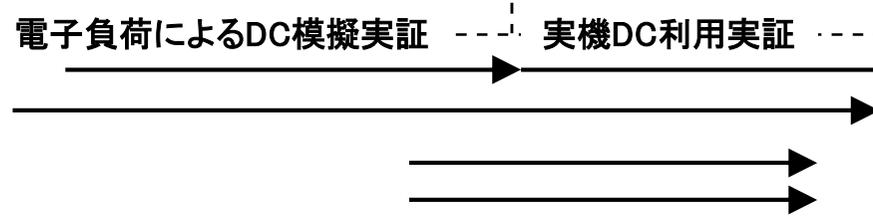
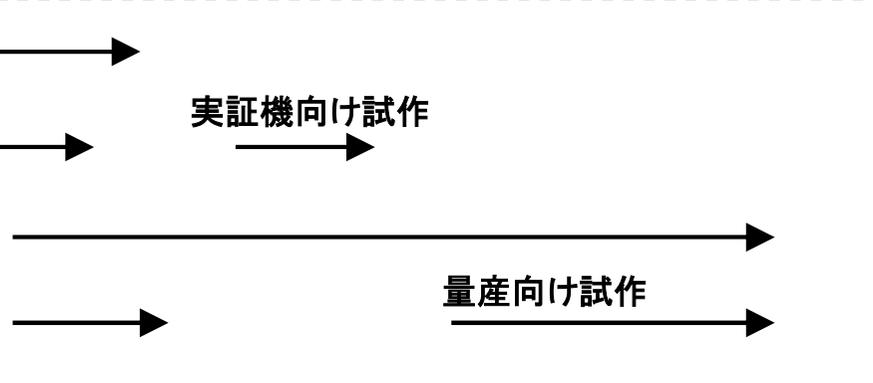
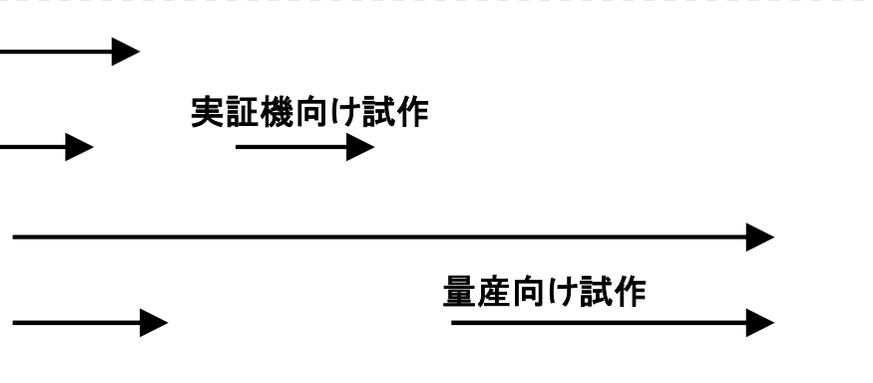
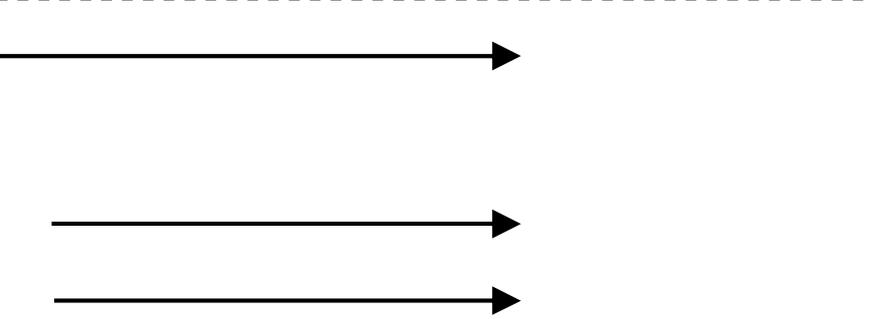
データセンターの新設によって、
2023年～2030年に
年平均 800 TWh/year [全世界]
の消費電力が発生する
ことが見込まれる。

安価かつCO2排出を抑制し得る
電力供給技術が必要

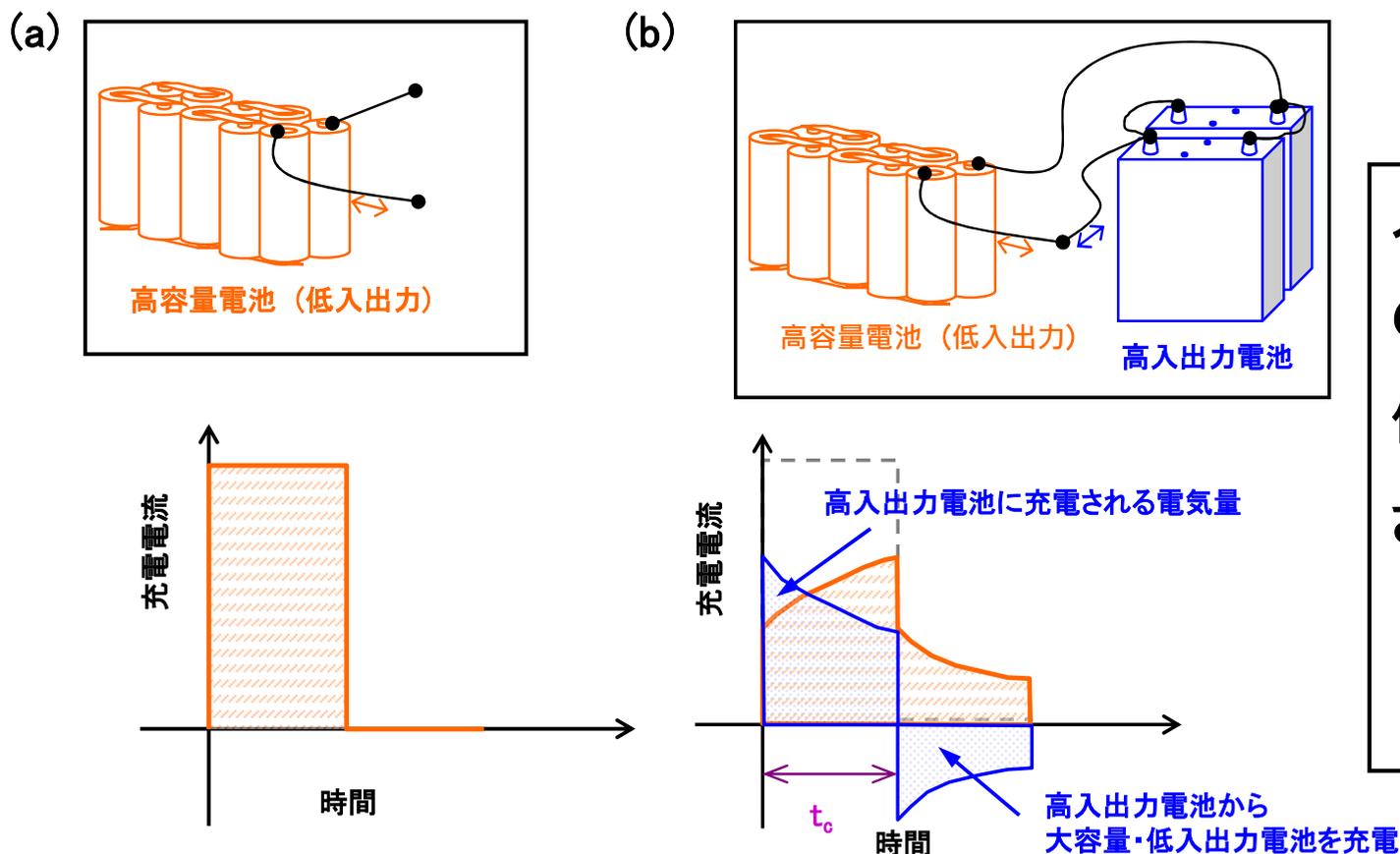
- 風力・太陽光発電の余剰電力を有効利用する
- 安価な電気自動車の使用済みリチウムイオン電池(LIB)を利用する
- LIBをリユース際に生じる安全性・製造コスト・事業収益化に対する課題を克服する [本実証事業]

本実証事業における発電-蓄電-送電(電力負荷)構成開発 および蓄電システム技術課題



| | 令和3年度 (委託・補助事業) | 令和4年度 (委託・補助事業) | 令和5年度 (補助事業) |
|--|--------------------|--|---|
| 事業化検討 <ul style="list-style-type: none"> 実証評価 市場調査・事業構想の検討 CO2 排出量削減効果検証 採算性検証 | | 電子負荷によるDC模擬実証  | 実機DC利用実証  |
| 要素技術開発 <ul style="list-style-type: none"> 複数種リユースバッテリー制御による電力損失低減技術の検討 Ni-Zn 電池を用いた低コスト LIB セル間均等化技術の検討 LIB の過充電における in-situ 不安全予兆検知技術の検討 LIB 回収における低コスト性能検査技術の検討 | | 実証機向け試作  | 量産向け試作  |
| その他 <ul style="list-style-type: none"> CO2 排出量削減および事業採算を両立し得る「太陽光発電-蓄電システム-データセンター電力グリッド」における電力発電-蓄電-送電モデルおよび構成の検討 知的財産・技術公表活動 運用後の電池リサイクル回収プロセスの検討 | |  | |

1. 「データセンター向けHEV・EV由来リユースバッテリーを用いた蓄電システム開発」の背景、本委託事業における開発スケジュール
2. 本蓄電システム要素開発における検討技術
 - ① 複数種リユースバッテリー制御による電力損失低減技術
 - ② Ni-Zn電池を用いた低コストLIBセル間均等化技術
 - ③ LIBの過充電におけるin-situ不安全予兆検知技術
 - ④ LIB回収における低コスト性能検査技術
3. データセンター向け太陽光発電および本蓄電システムを用いた高効率電力供給の実証評価
量産時CO2排出量削減コスト期待値、採算性
4. 事業化に向けた今後の課題および取組
5. まとめ



入出力性能が異なる電池の並列によって、低電流×長時間で充電(放電)されることになる。

→ 電力損失 ($\int i^2 R dt$) が減少する。

発電電力が変動する極端な例(充電→休止)

図 (a) 高容量電池 および (b) 高入出力電池を並列した組電池の断続充電における電流変化モデル

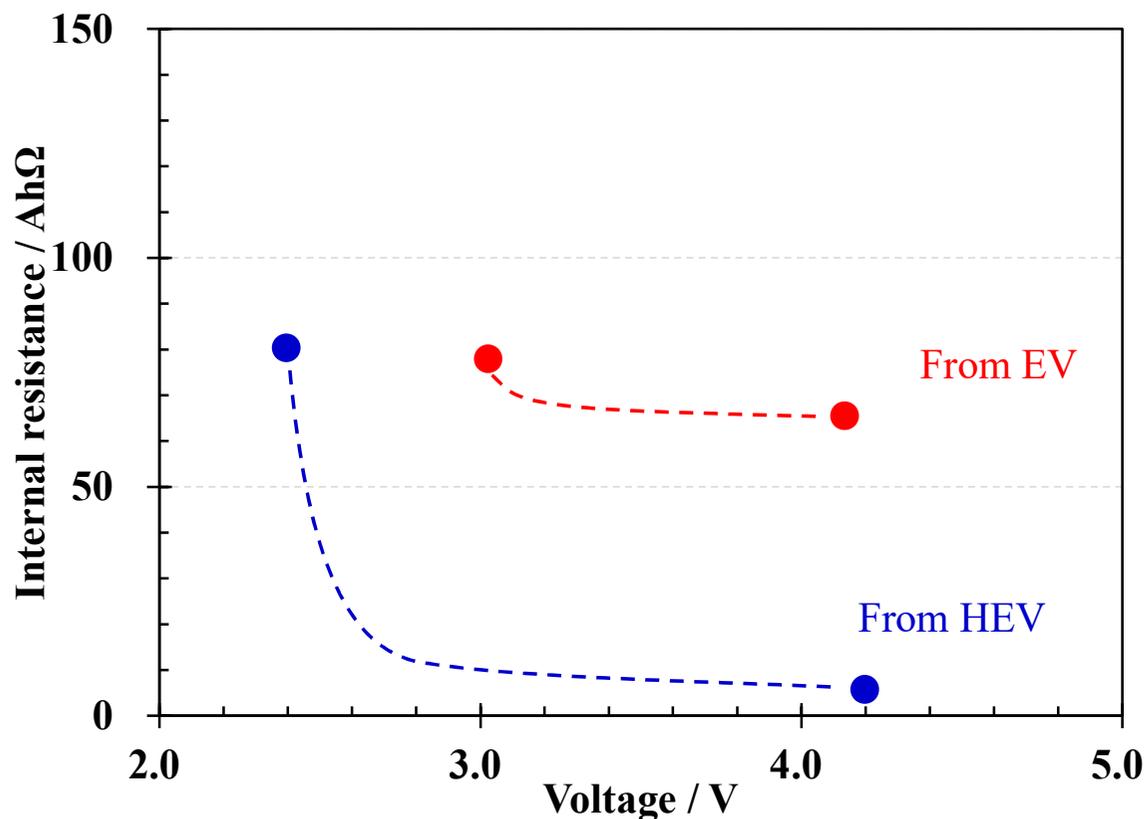


図 EV由来およびHEV由来リユースLIBの電圧(充電状態)に対する内部抵抗

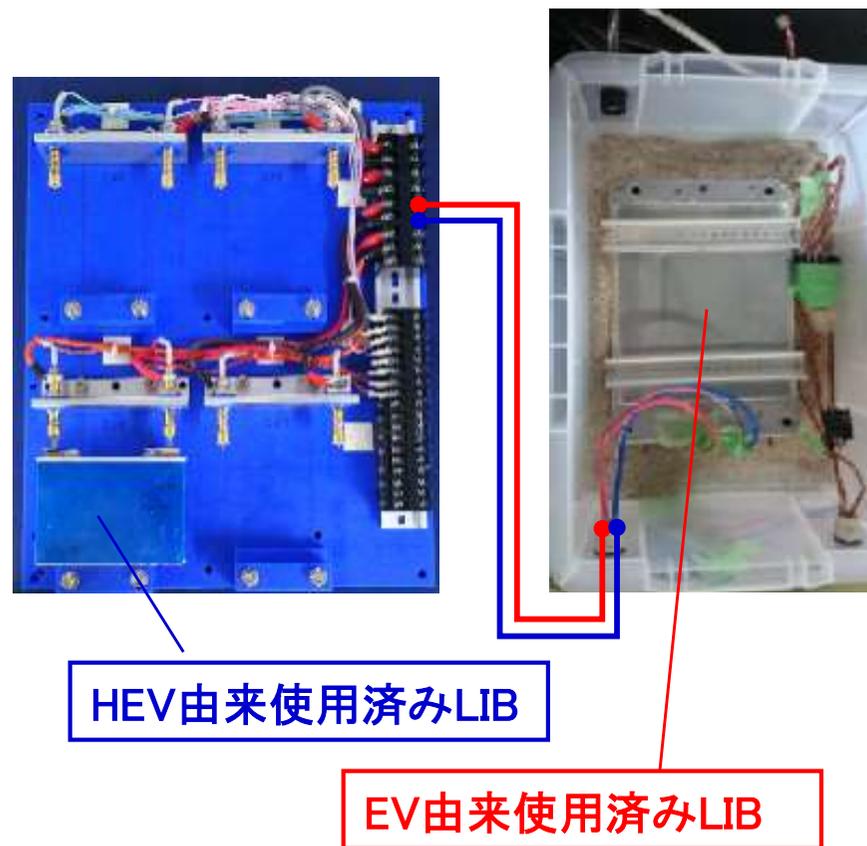
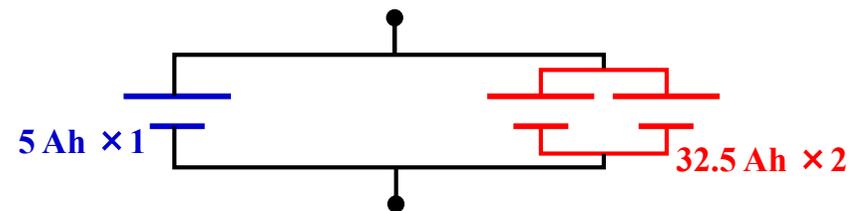
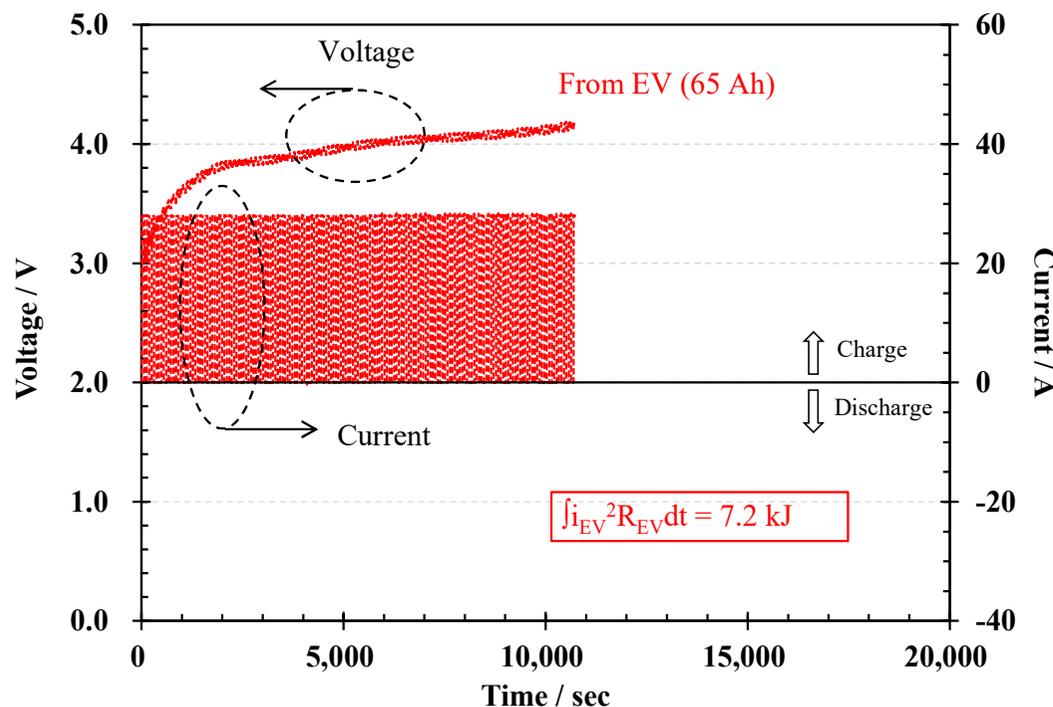
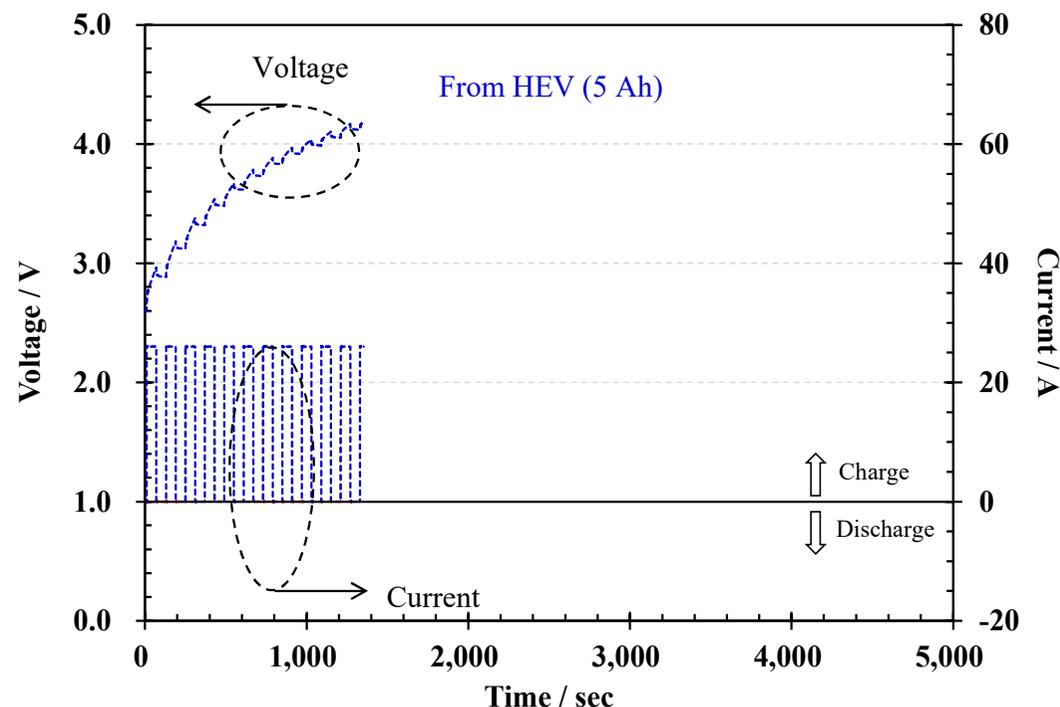


図 HEV・EV由来リユースLIBを並列した評価組電池

(a) HEV由来リユースリチウムイオン電池の
26A断続充電



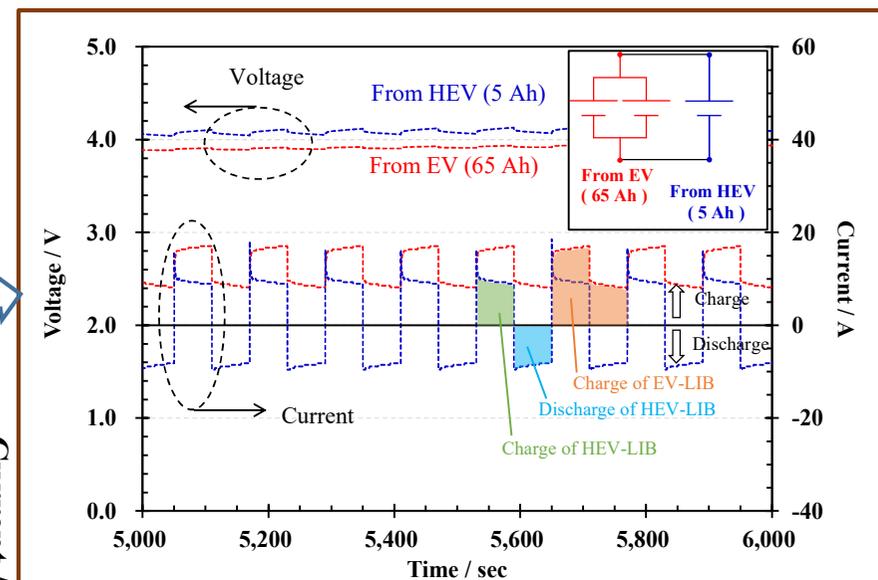
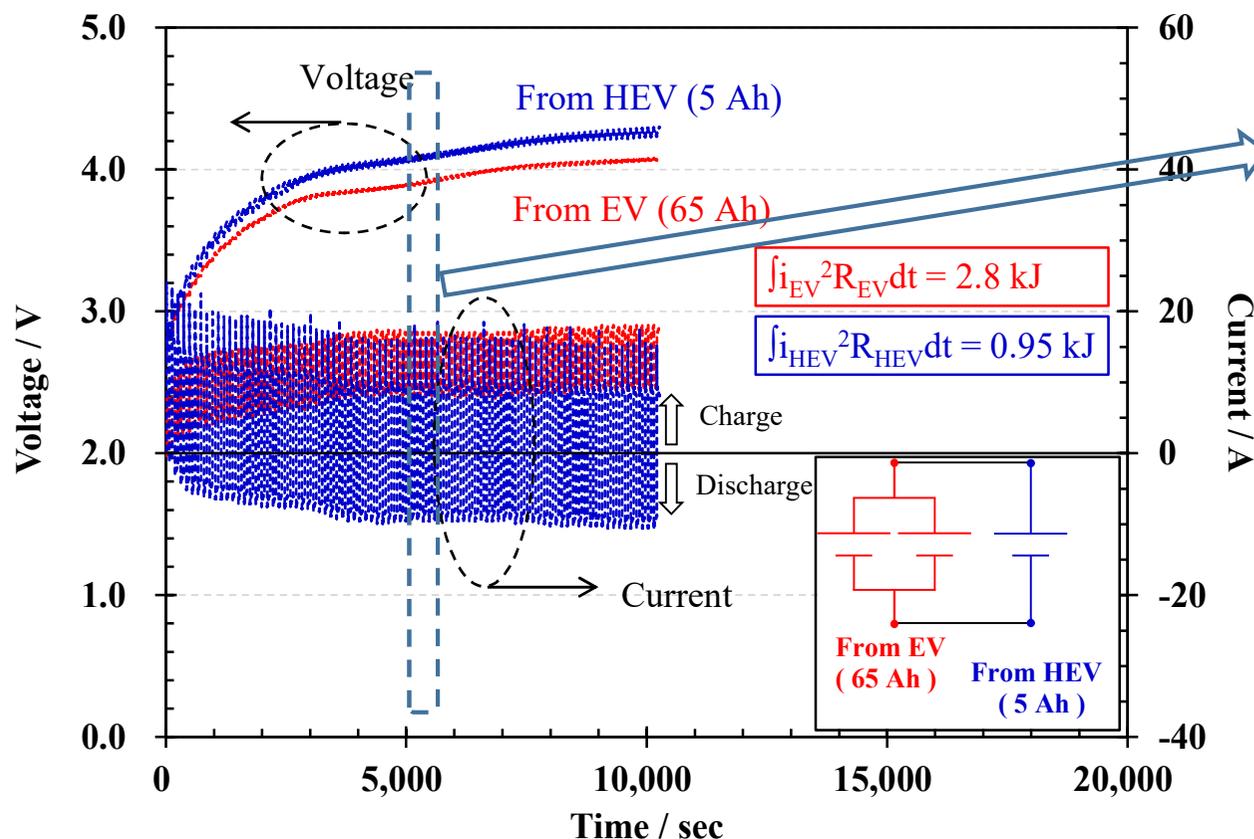
(b) EV由来リユースリチウムイオン電池の
26A断続充電



HEVおよびEV由来リチウムイオン電池の充電によるジュール熱が

7.2 kJ (EV)、0.49 kJ (HEV)

発生する

(b) HEV由来およびEV由来リユースリチウムイオン電池を並列して26A断続充電


EV由来リチウムイオン電池の充電によるジュール熱が

$$7.2 \text{ (EV)} + 0.49 \text{ (HEV) kJ}$$

$$\rightarrow 2.8 \text{ (EV)} + 0.95 \text{ (HEV) kJ}$$

に低減される

HEV・EV由来LIBの並列によって、電力変動が大きな蓄送電運用における電力損失を低減できる

表 NiZnセルの諸性能

| | | |
|---------------------------|---------|---------|
| Battery Type | | Ni-Zn |
| Size | | AA |
| Storage capacity | / Ah | 1.6 |
| Storage energy | / Wh | 2.7 |
| Discharge voltage | / V | 1.6 |
| Discharge minimum voltage | / V | 1.0 |
| Charge maximum voltage | / V | 2.0-2.1 |
| Internal resistance | / mΩ | 67 |
| Weight | / g | 25.0 |
| Volume | / cc | 33.7 |
| Specific energy | / Wh/kg | 108 |
| Energy density | / Wh/L | 80 |

表 水溶液電解液を用いた密閉型電池の過充電時ガス吸収反応を示す電圧

| | 下限電圧 定格電圧 | | ガス吸収反応電圧(V _{ov}) | 2V _{ov} 3V _{ov} | |
|---------|-----------|-----|----------------------------|-----------------------------------|-----|
| | /V | /V | | /V | /V |
| Pb-acid | 1.7 | 2.0 | 2.7 | 5.4 | × |
| Ni-Cd | 1.0 | 1.3 | 1.6 | 3.2 | 4.8 |
| Ni-MH | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 3.0 | 4.5 |
| Ni-Zn | 1.0 | 1.8 | 2.1 | 4.1 | × |

2直列したNi-Znのガス吸収反応が起きる電圧が
リチウムイオン電圧の上限電圧に(偶然)合致する

一定以上の過充電において、
充電電圧および放電量が飽和する

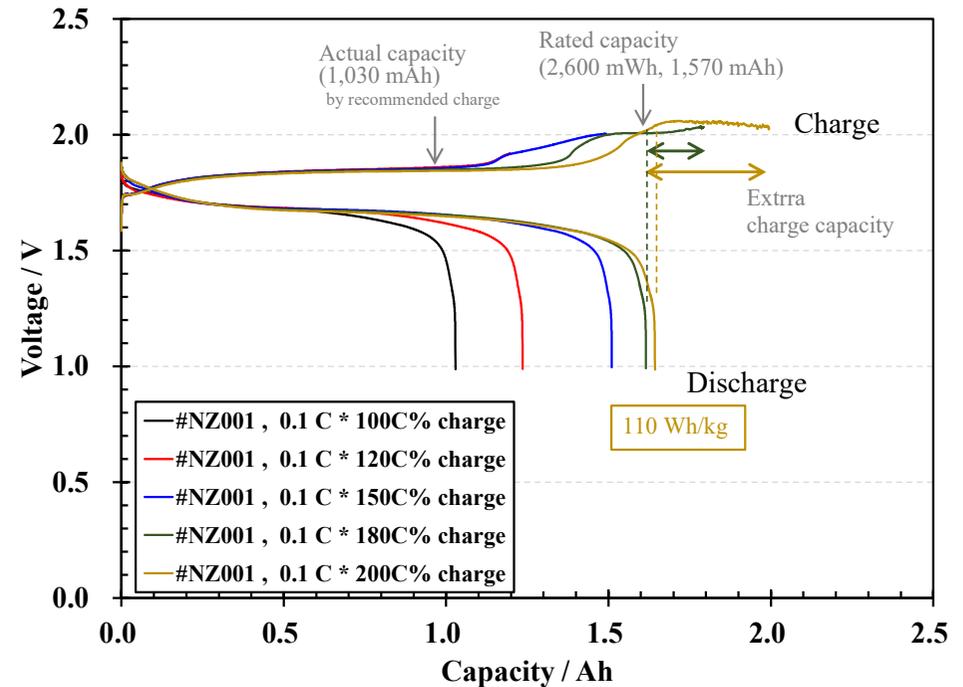
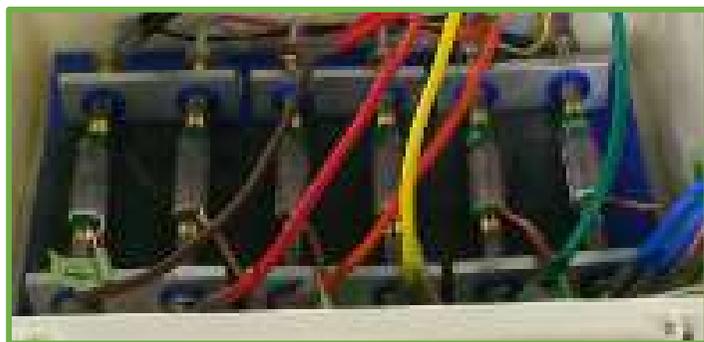
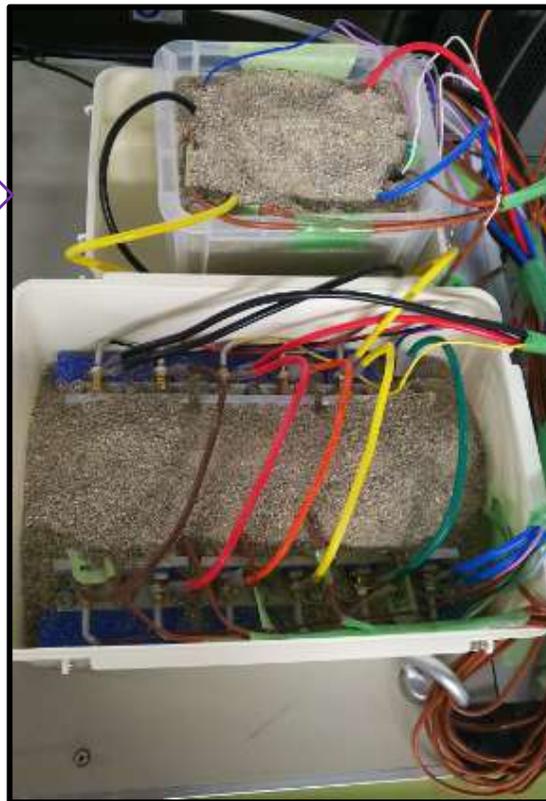


図 充電量を増加させた場合のNiZnセルの充放電曲線

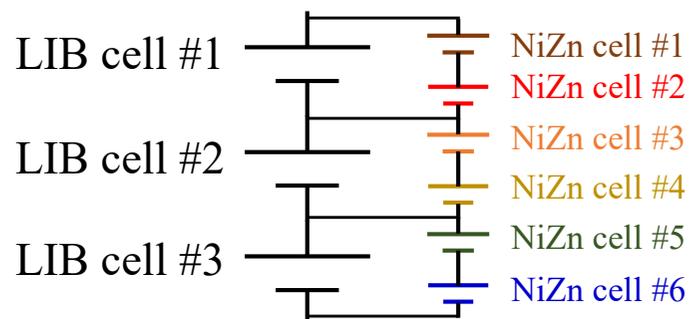
リチウムイオン電池の
セル間バランサーに適用できないか？



リチウムイオン電池3直列組電池



ニッケル亜鉛電池



リチウムイオン電池
1セルに対して
ニッケル亜鉛電池
2直列
を並列接続

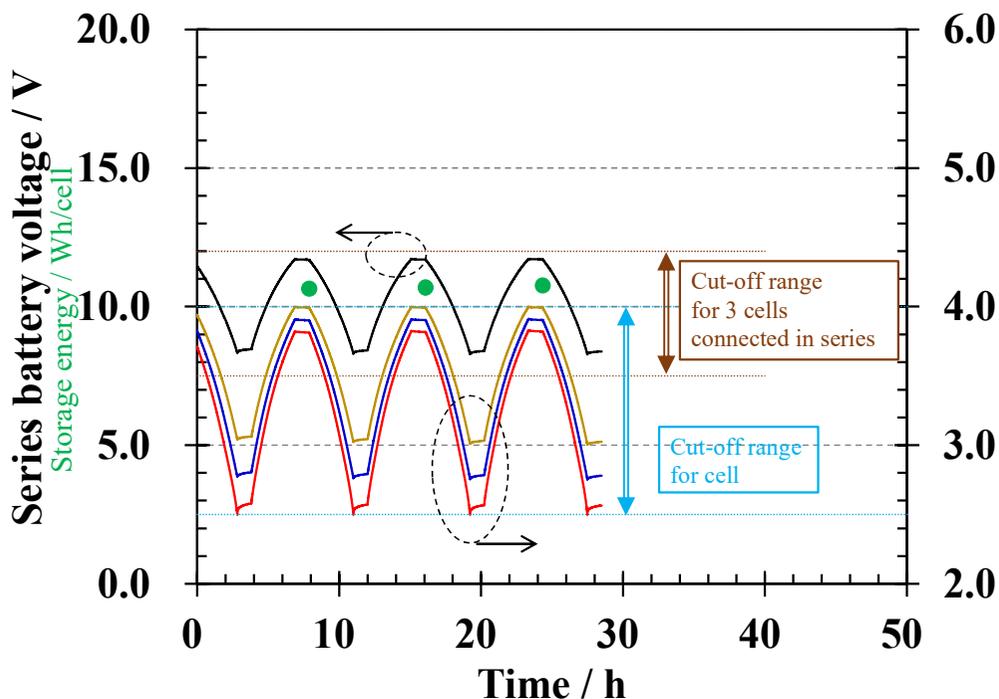


図 充電状態がばらついたリチウムイオン電池の3直列組電池を充放電した場合

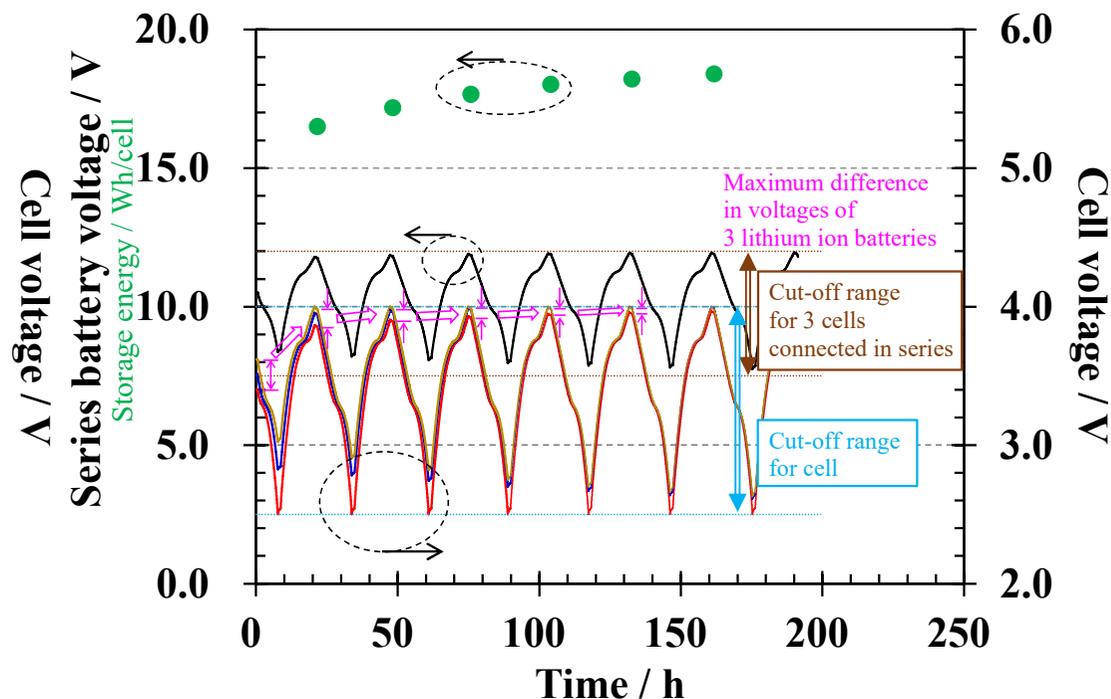


図 同リチウムイオン電池にニッケル亜鉛電池を並列した組電池を充放電した場合

充放電の繰り返しによって、リチウムイオン電池 3 セルの充電状態(セル電圧)が収束する
 → ニッケル亜鉛電池がリチウムイオン電池の充電状態を均等化

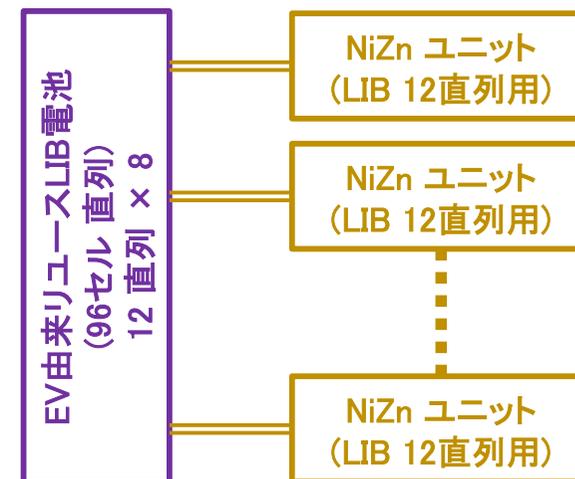
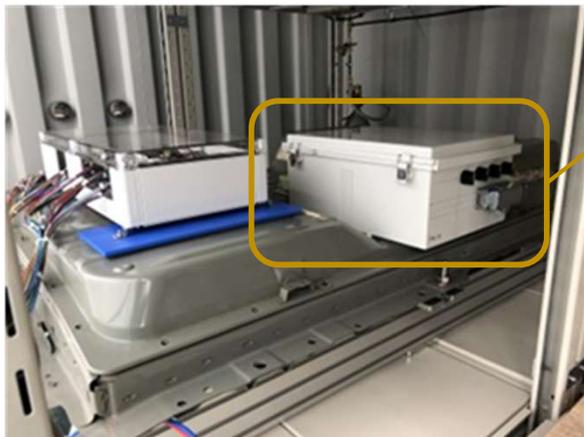


図 試作したNiZn電池ユニットを接続したEV由来リユースリチウムイオン電池

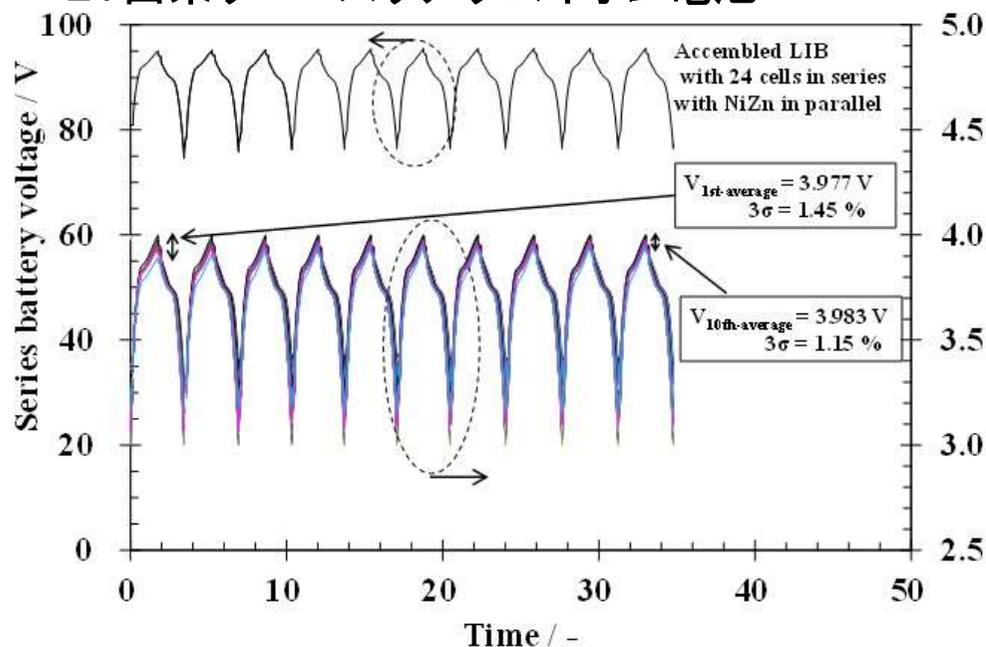


図 NiZn電池を装備したLIB 24直列組電池の実証評価充放電におけるLIBセル電圧の推移

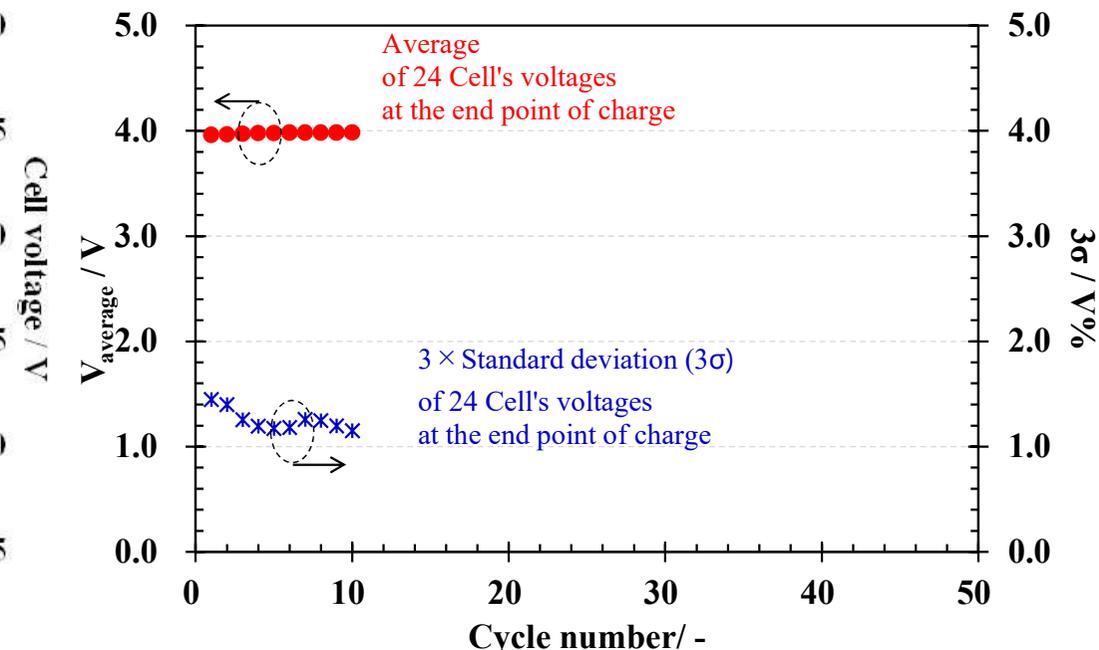
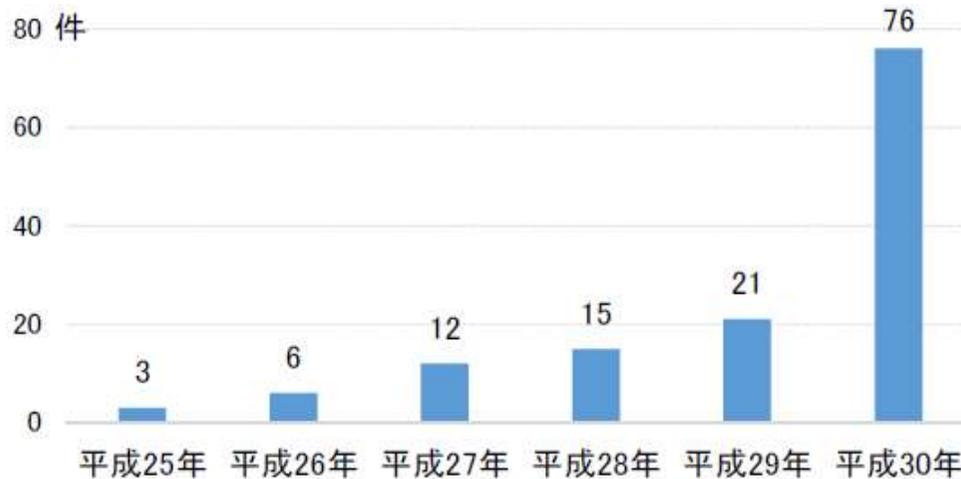
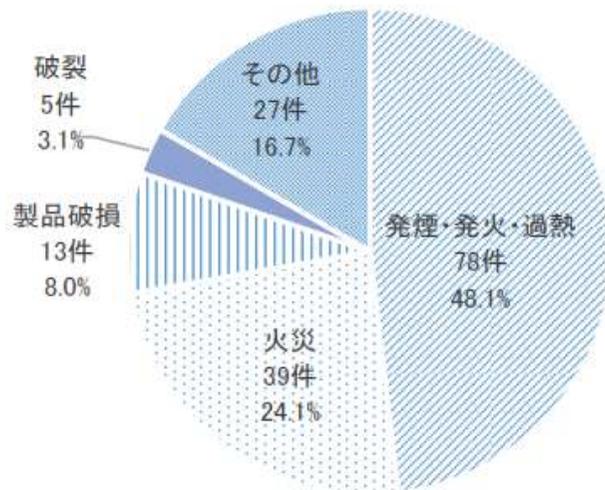


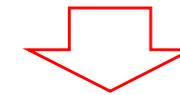
図 NiZn電池を装備したLIB 24直列組電池の実証評価充放電におけるLIBセル電圧偏差の推移


図2 モバイルバッテリーの事故件数の推移

図3 モバイルバッテリーの事故内容¹⁾

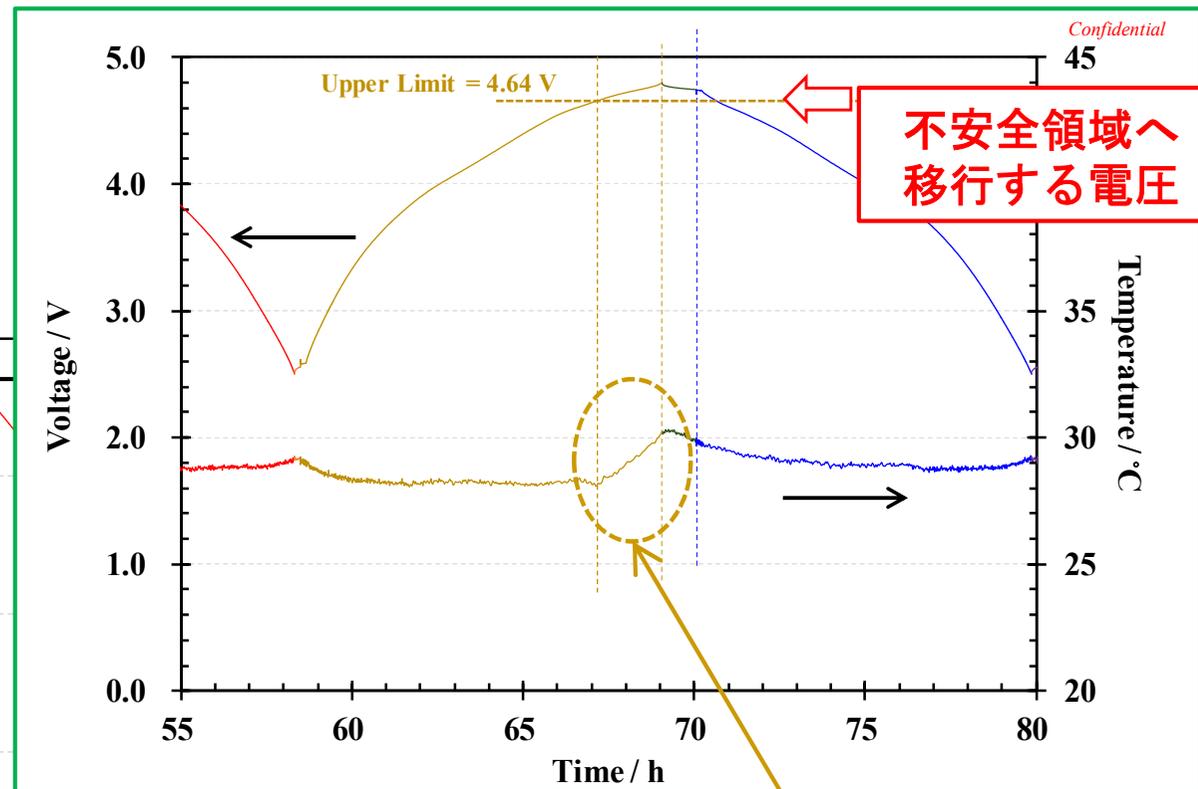
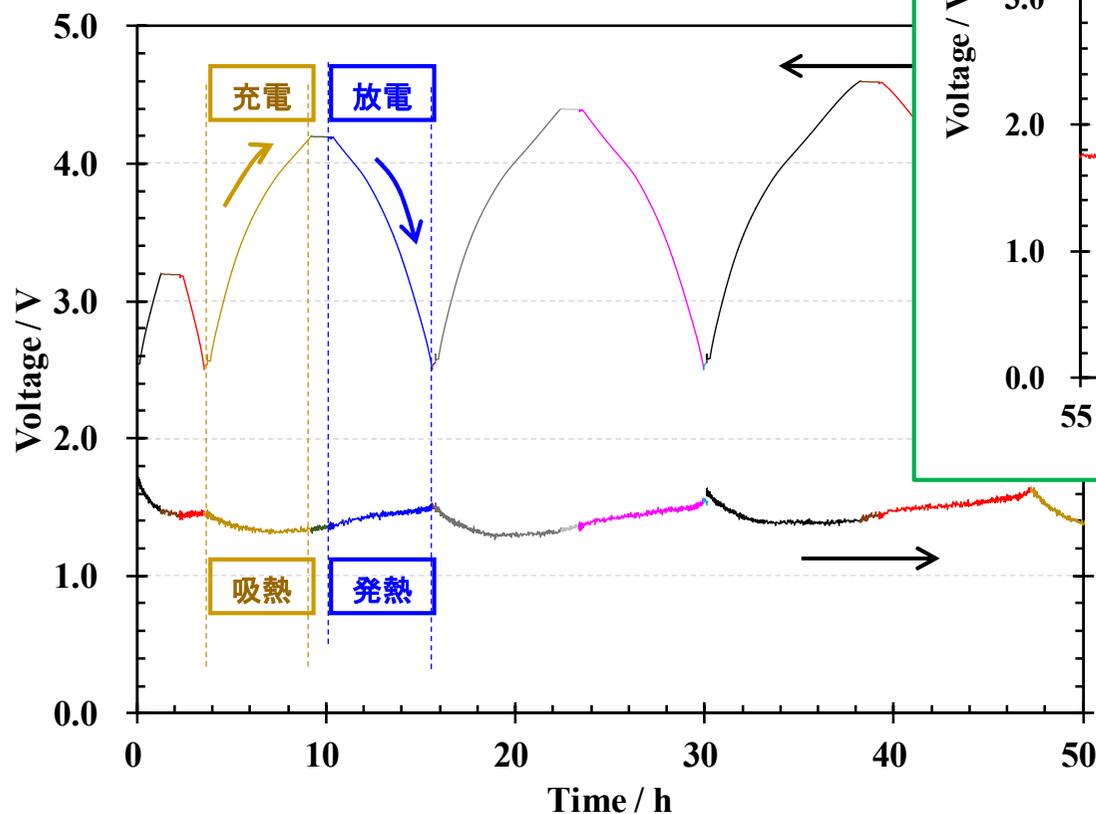
1) 2019年 7月 消費者庁 News Release (2019).

リチウムイオン電池の事故要因の候補

- ① 電池の過充電
→発熱→破裂(漏液) and/or 発火
- ② 電池内の内部短絡
→発熱→(漏液) and/or 発火
- ③ 電池密閉構造の崩壊
(電池内部への酸素侵入)
→充電による発熱→漏液 and/or 発火
- ④ 衝撃→②or③
- ⑤ 電池の外部短絡
→発熱→(漏液) and/or 発火
- ⑥ 外熱→②or③
- ...

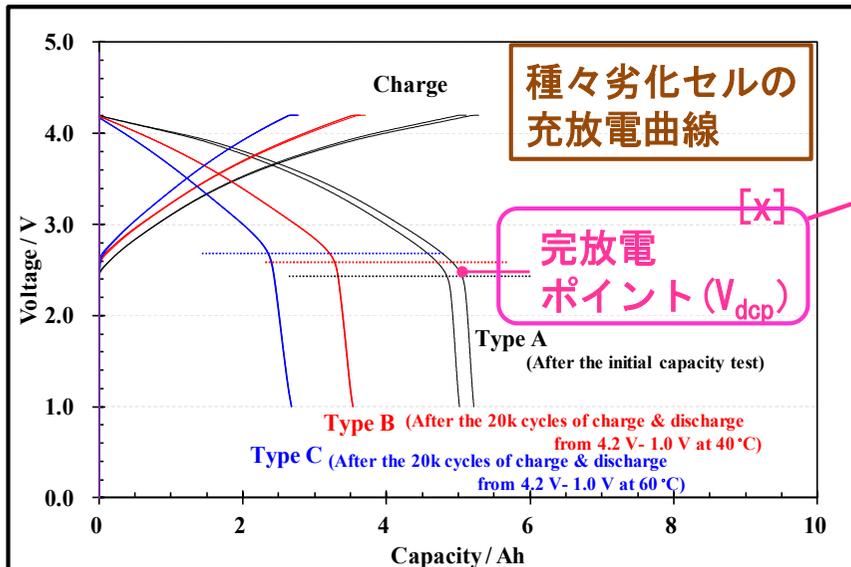
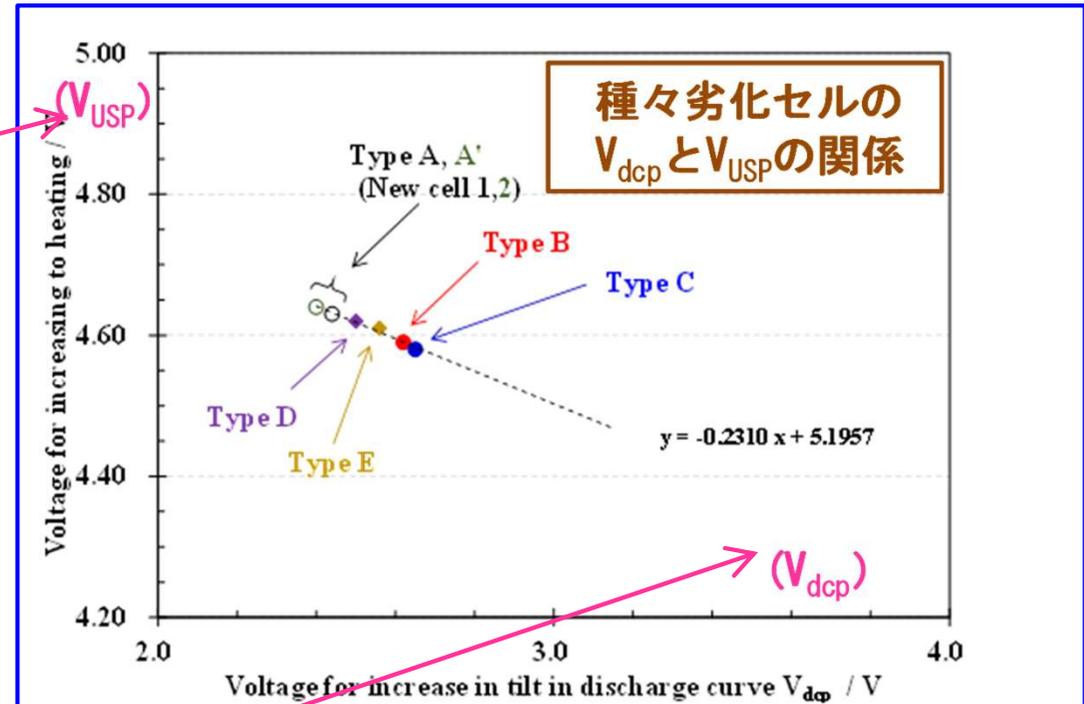
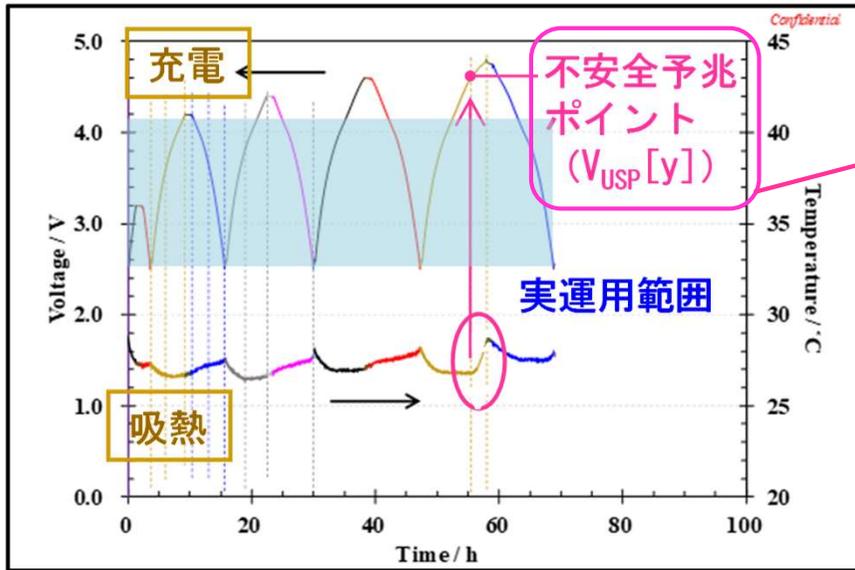

稼働している最中に予兆を検知できないか？
→ ① について可能性を検証

対象リチウムイオン電池は、
 充電で吸熱し、放電で発熱する



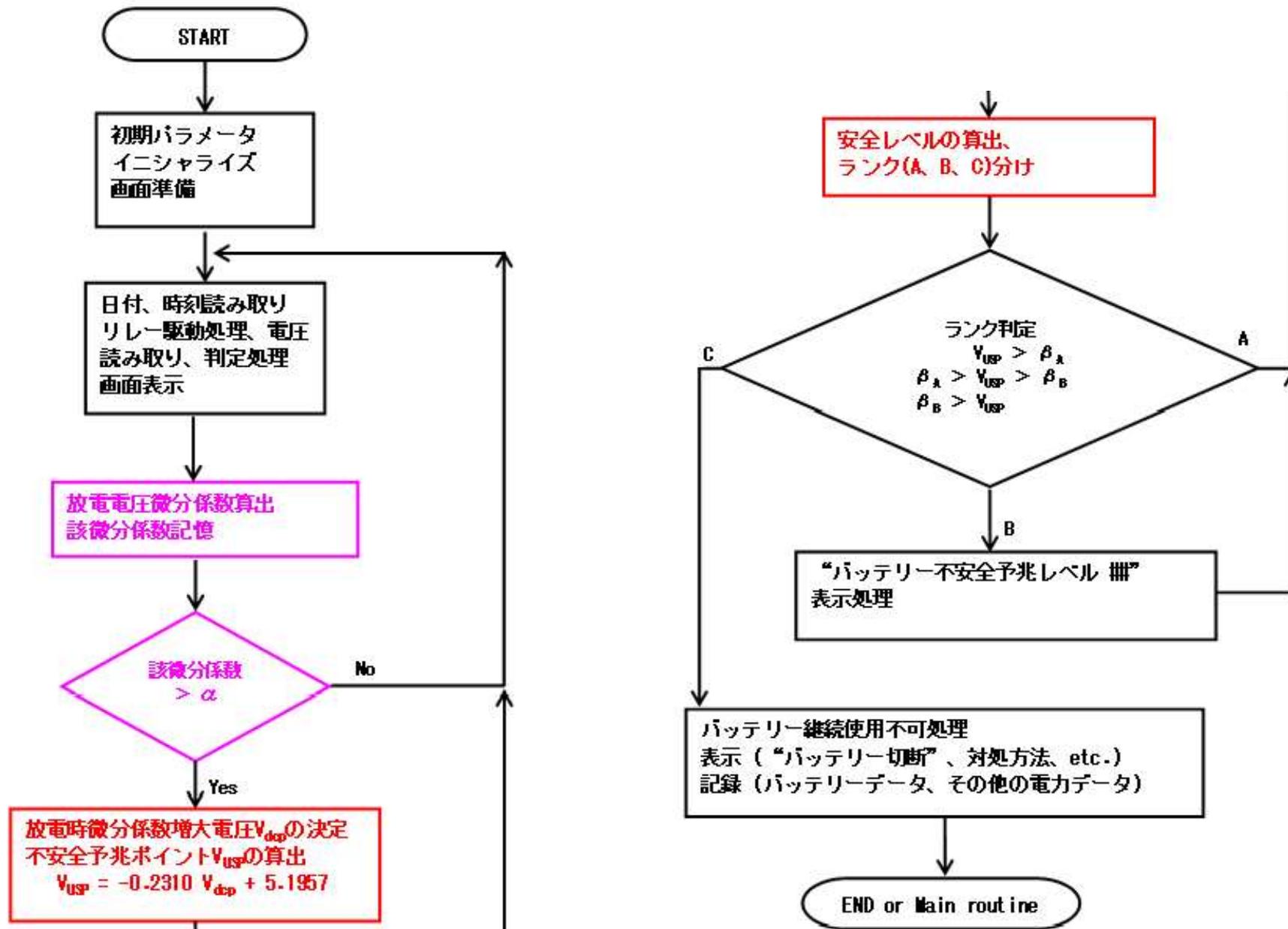
充電[吸熱]中、
 電圧 > 4.64 Vで温度増加に転じる
 → 電池内で“酸化(副反応)”が存在

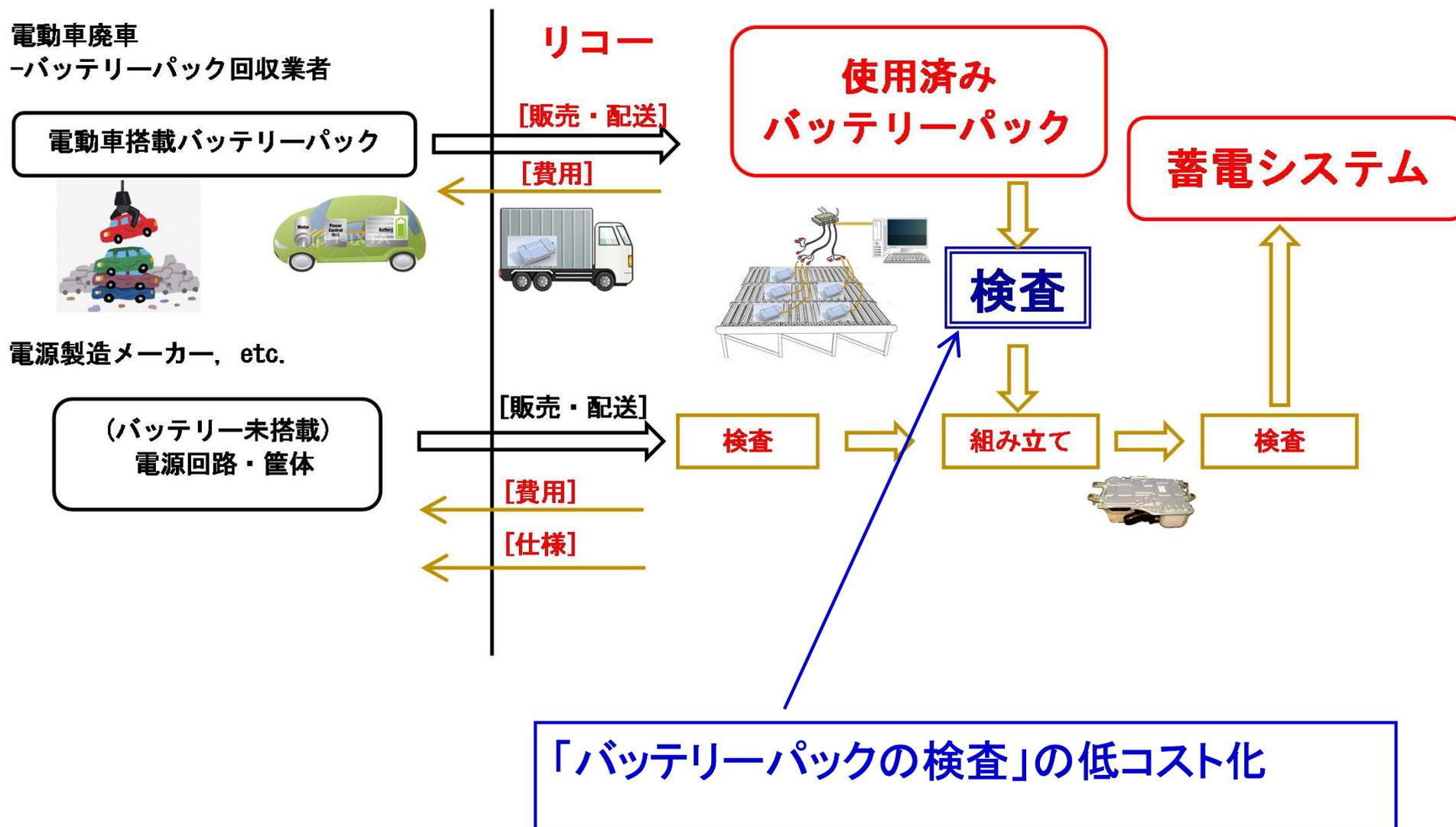
正極電位と負極電位の差



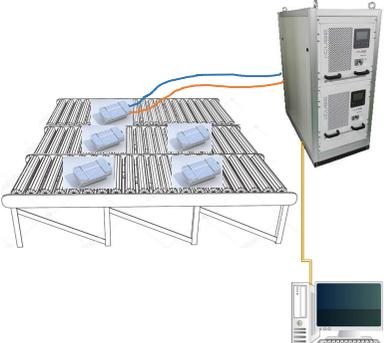
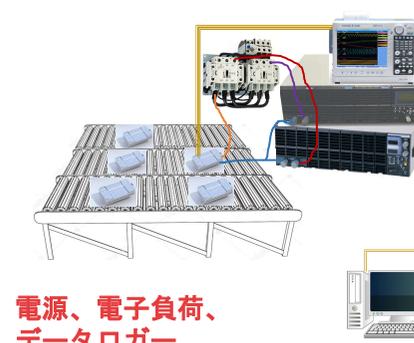
完放電ポイント(V_{dcp})
 および
 不安全予兆ポイント(V_{USP})
 が相関することを利用して、

LIB蓄電システム稼働中に**不安全予兆**
 を予測することができる





従来の充放電設備を利用したLIB検査

| 測定方法 | 充放電 | 交流インピーダンス測定 | 直流内部抵抗測定 |
|--------|---|--|--|
| 必要装置 |  充放電機、配線回路、PC |  電源、周波数分析装置、配線回路、PC |  電源、電子負荷、データロガー、(充放電機) 配線回路、PC |
| 工程作業時間 | 610分 / 1パック | 131分 / 1パック (インピーダンス測定 < 1分) | 131分 / 1パック (内部抵抗測定 < 1分) |
| 装置コスト例 | 9百 万円 / 1パック | 5百 万円 7百 万円 (内部セル測定) / 1パック | 3百 万円 5百 万円 (内部セル測定) / 1パック |
| 利点 | 直接、蓄電電力量を判定できる 次工程のための完放電状態で終了できる | 解析により、電池内部の成分の劣化を推定できる | 簡便に合否判定できる 本リユースバッテリーでは、リレー、廃熱抵抗のみの工程で検査可能となり得る (超低コスト) |

さらに
低コスト化
が可能か？

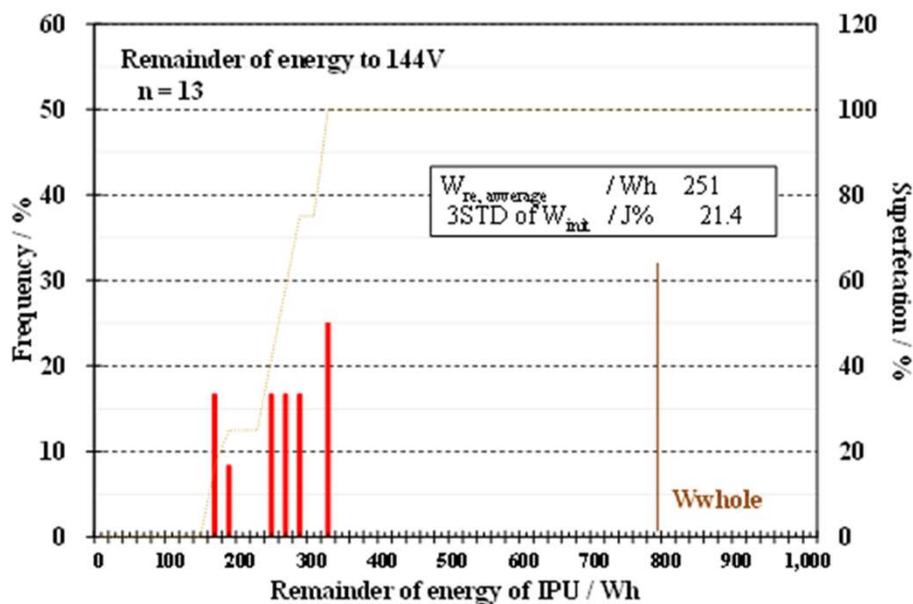
従来

フェーズ1 開発

フェーズ2 開発

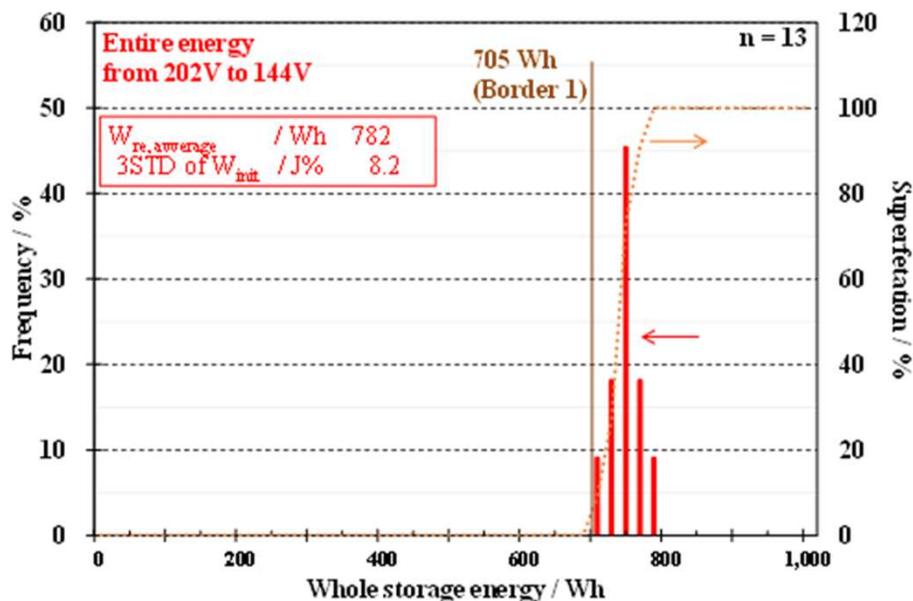
検査時間短縮による低コスト化

回収時
残電力量

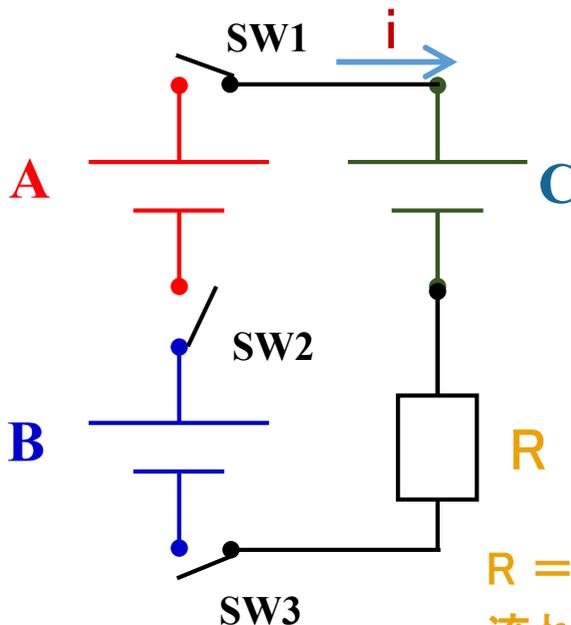


中古電池は、
回収時に残電力を有したまま
納入される
この電力を利用して、
**充放電設備を使わずに、
電池の蓄電量を検査すること
ができないか？**
(低コスト検査)

残放電後
全蓄電電力量



2直列したリチウムイオン電池
の電圧範囲：
5.0 V ~ 8.4 V



リチウムイオン電池単セル
の電圧範囲：
2.5 V ~ 4.2 V

必ず $A+B \geq C$
→ 方向に電流が流れる

R = 1 Ωとなる抵抗を選べば、
流れる電流は、最大 5.9 A、最小 0.8 A
となる。HEV由来なら、0.16 C ~ 1.18 C

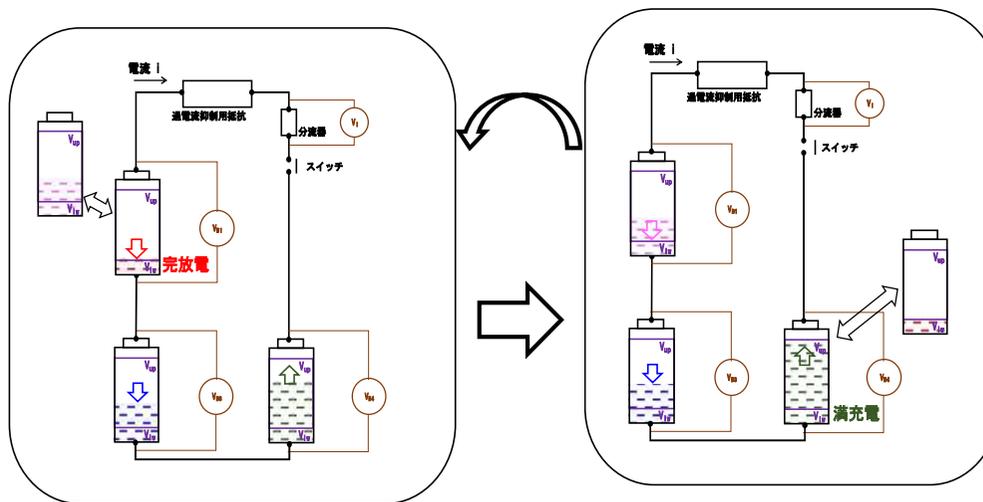
[残放電]

→[満充電]

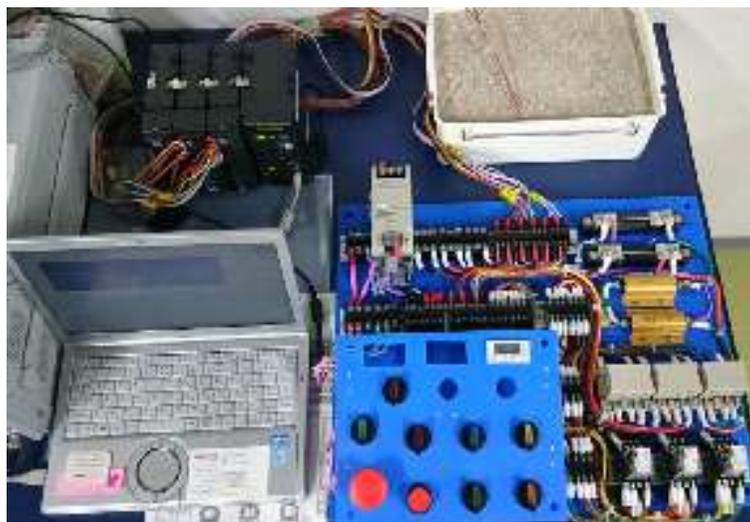
→[完放電]

となるような電池の
入れ替えによって、
蓄電電力量を計測
し得る

電気が空
→ 交換



電気が
満タン
→ 交換



満充電で電池入れ替え
 ⇕
 完放電で電池入れ替え
 によって、
**充放電設備を使わずに、電池の蓄電量を
 決定できることが確認された**

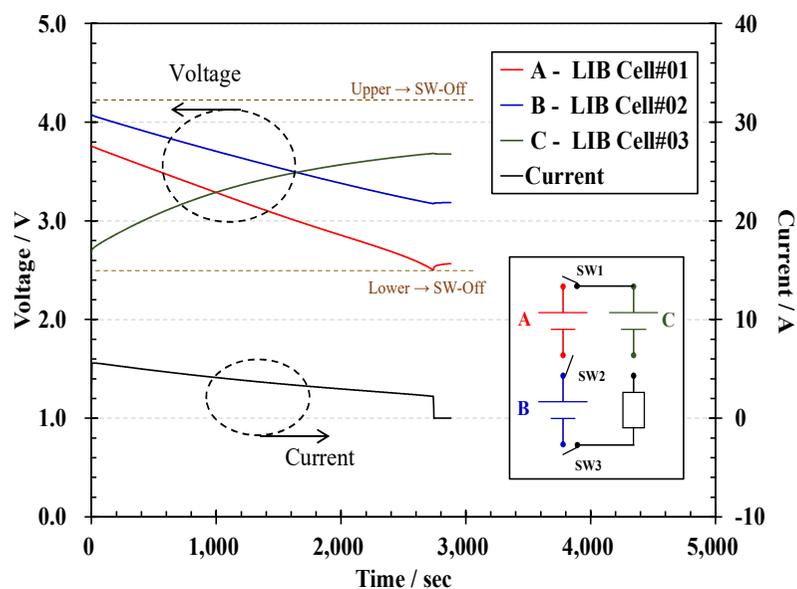


図 本検査によるリユースLIB
 3セルの電圧変化の一例

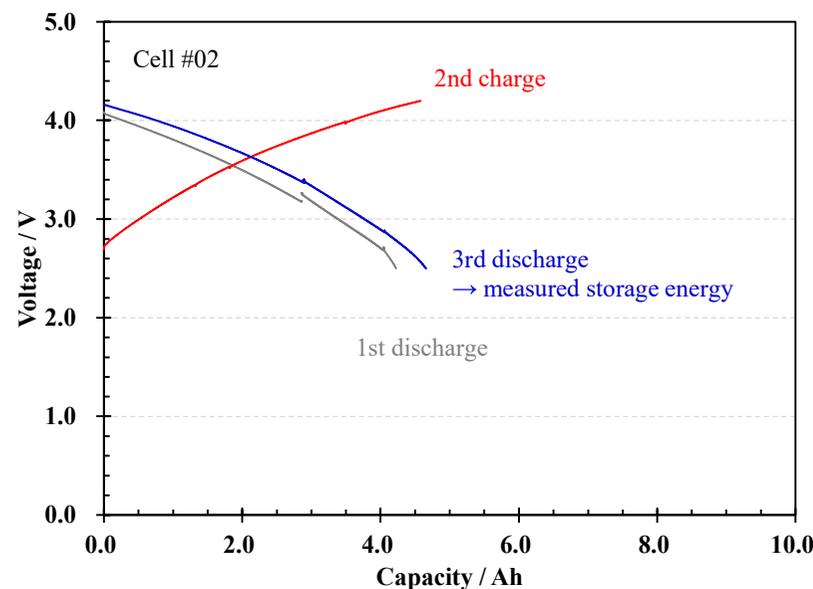
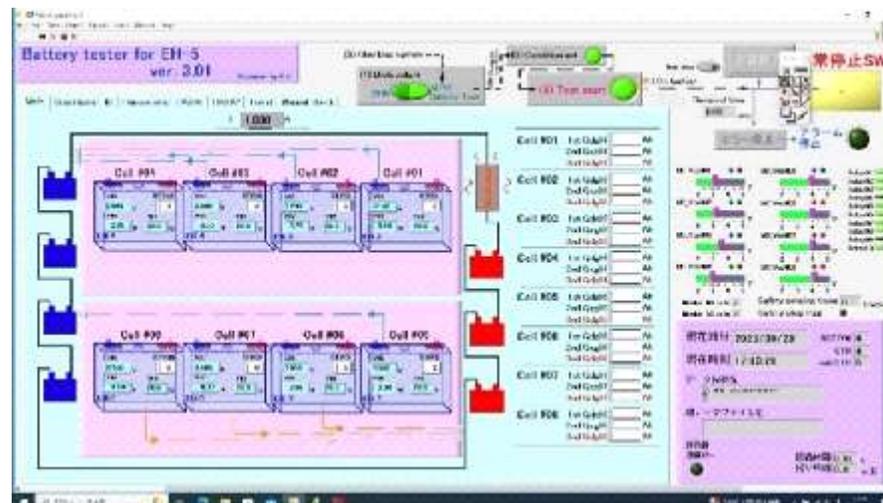
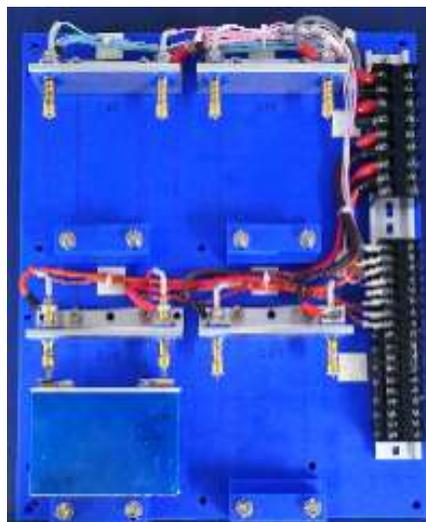


図 特定セルのデータを連結した
 残放電、満充電、および完放電電圧変化

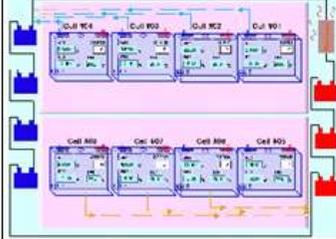
(背面)
 8セル電池パネル

蓄電量検査プロセスおよびデータビュー

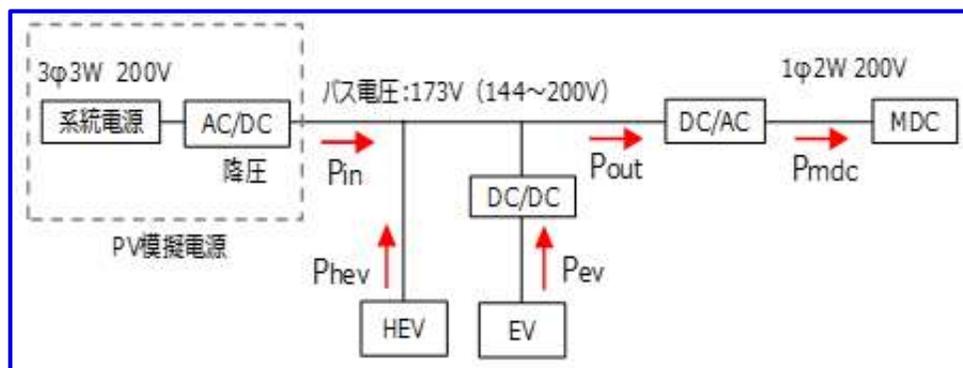
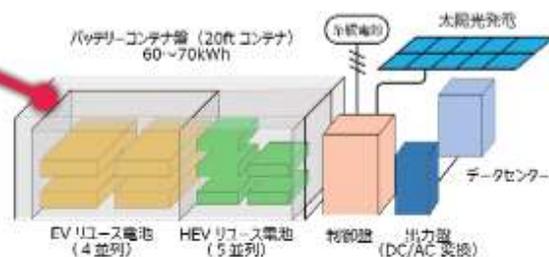
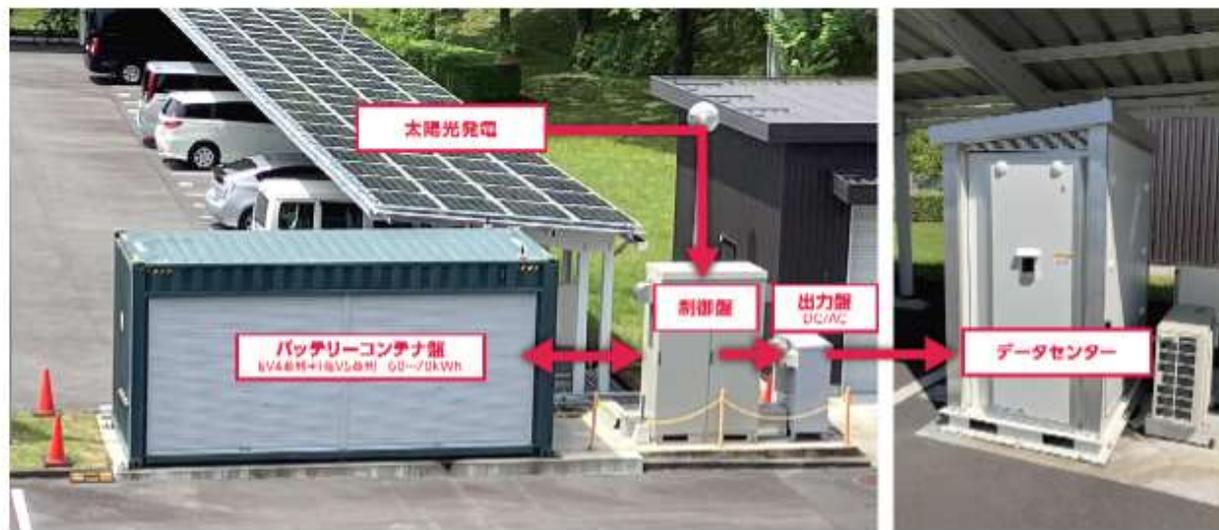


「満充電・完放電内部抵抗」
 「不安全予兆パラメータ → 安全レベル」
 「余寿命期待値」

従来設備および開発したLIBの蓄電量検査方法の比較

| 検査設備タイプ | 充放電機 | 交流インピーダンス | 直流内部抵抗 | 電池間電力授受 |
|-------------------------|---|---|--|---|
| 測定方法 | 充放電 → 蓄電量算出 | 交流インピーダンス → 蓄電量予測 | 直流内部抵抗測定 → 蓄電量予測 | 充放電 → 蓄電量算出 |
| 設備イメージ |  <p>充放電機、配線回路、PC</p> |  <p>電源、周波数分析装置、 配線回路、PC</p> |  <p>電源、電子負荷、 データロガー、 (充放電機) 配線回路、PC</p> |  <p>リレー スイッチ回路 データロガー PC</p>  |
| 工程作業時間 | 610分 /1パック | 131分 /1パック (インピーダンス測定 < 1分) | 131分 /1パック (内部抵抗測定 < 1分) | 1800分 /1パック |
| 装置コスト例 | 9百万円 /1パック | 5百万円 7百万円(内部セル測定) /1パック | 3百万円 5百万円(内部セル測定) /1パック | 2.5百万円 /1パック |
| 1,000パック検査に 要する設備コスト | 3400千円 | 1700千円 | 1500千円 | 1100千円 |
| 利点 | 直接、蓄電電力量を判定 できる 次工程のための完放電 状態で終了できる | 解析により、電池内部の 成分の劣化を推定できる | 解析により、電池内部の 成分の劣化を推定できる | 蓄電量その他、内部抵抗、 余寿命期待値、安全レベ ルを評価できる |

1. 「データセンター向けHEV・EV由来リユースバッテリーを用いた蓄電システム開発」の背景、本委託事業における開発スケジュール
2. 本蓄電システム要素開発における検討技術
 - ① 複数種リユースバッテリー制御による電力損失低減技術
 - ② Ni-Zn電池を用いた低コストLIBセル間均等化技術
 - ③ LIBの過充電におけるin-situ不安全予兆検知技術
 - ④ LIB回収における低コスト性能検査技術
3. データセンター向け太陽光発電および本蓄電システムを用いた高効率電力供給の実証評価
量産時CO2排出量削減コスト期待値、採算性
4. 事業化に向けた今後の課題および取組
5. まとめ


発電:

太陽光発電 (最大 19 kW)

蓄電システム:

 EV由来リユースバッテリー
 (定格 94 kWh [実質 54 kWh])
 HEV由来リユースバッテリー
 (定格 4 kWh [実質 4 kWh])

負荷:

 実機(プログラマブル型)
 データセンター
 (定格消費電力 最大 4 kW)

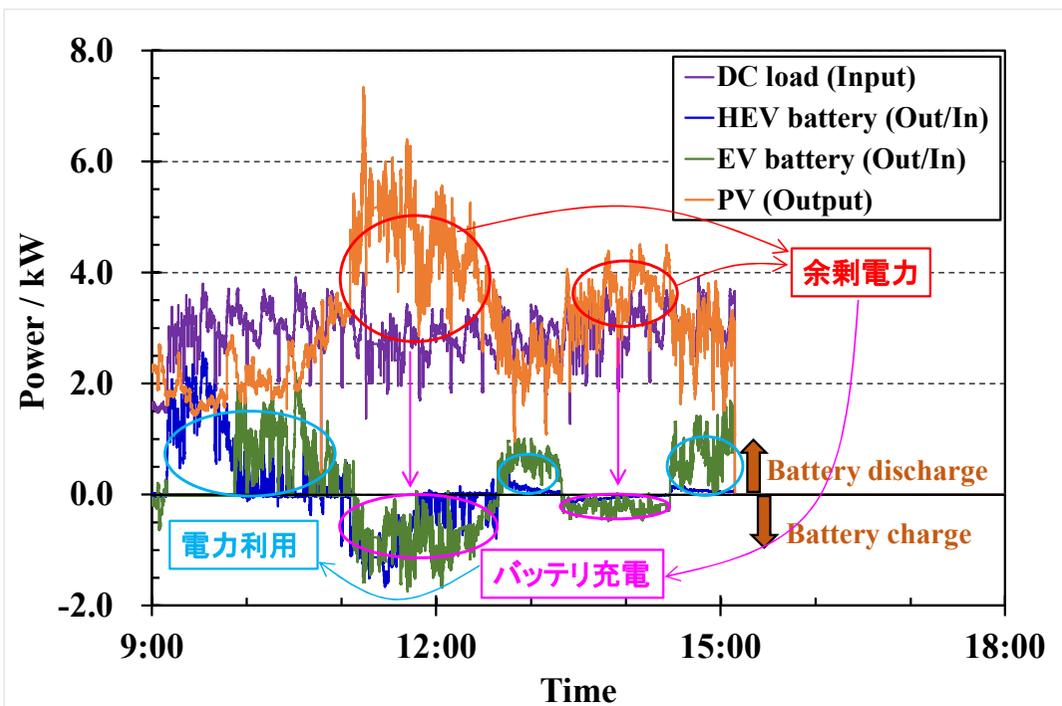


図 PV、HEV・EV由来リユースLIB搭載型蓄電システムを用いたDC実機への電力供給評価例

本蓄電システムの利用により、
PVの余剰電力を蓄電し、効果的に実機DCへ
電力供給できることを確認した
[余剰電力 3.6 kWh内 2.3 kWh (63%) を送電]

HEVとEVの併用により、
(電力変動の大きな)発電・電力消費モデルにおいて
電力損失を60%まで低減した

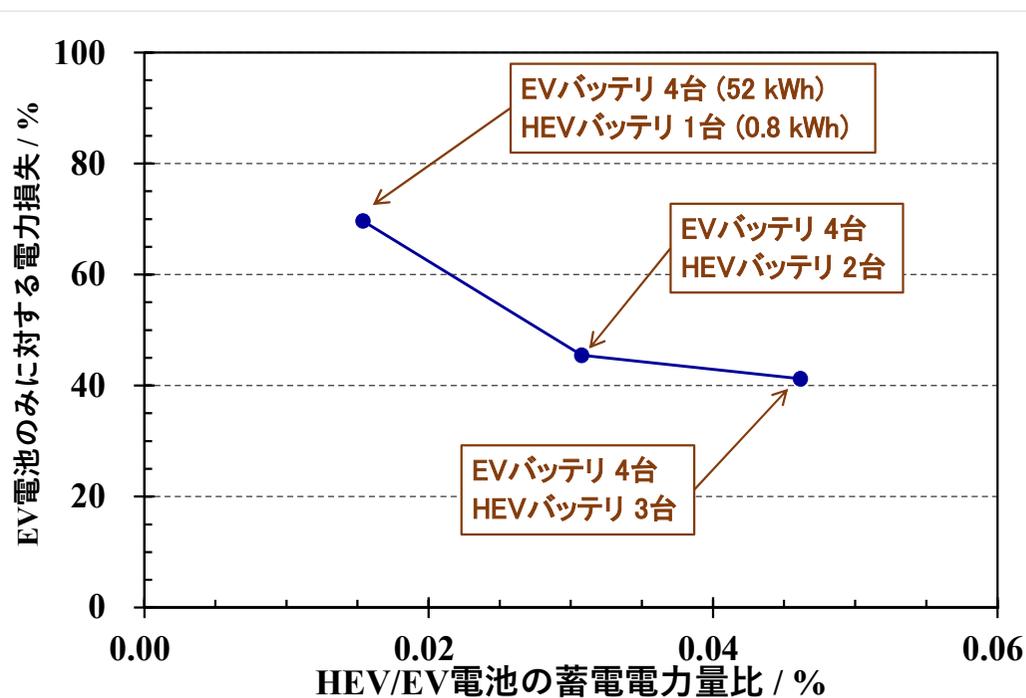


図 本蓄電システムに搭載したHEV・EV由来リユースLIBの構成比と電力損失の関係

実証評価構成および理想的LIB搭載型蓄電システム-DC設備ケースにおけるCO2排出量削減コストおよび電力相当コスト期待値

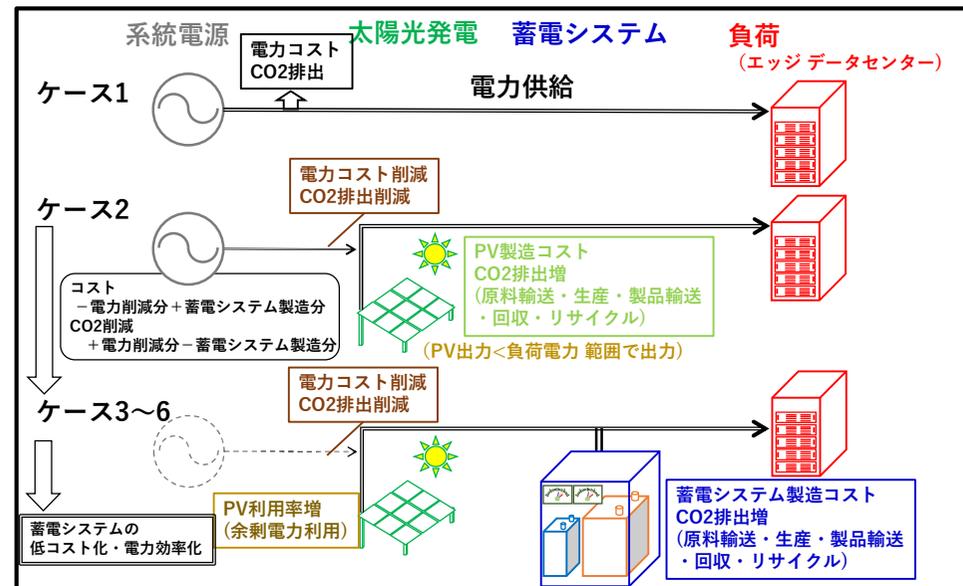
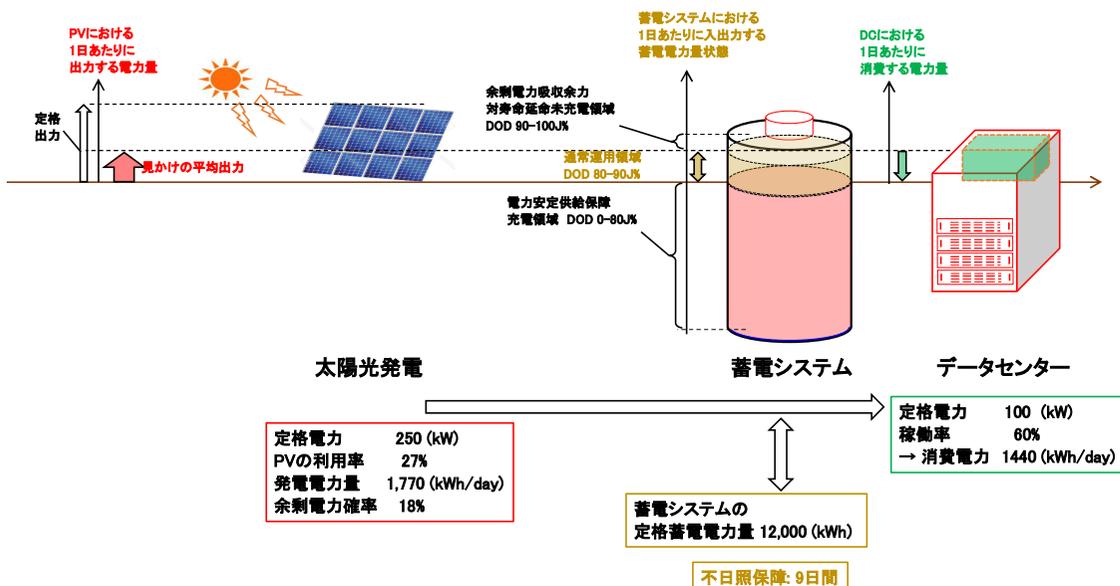


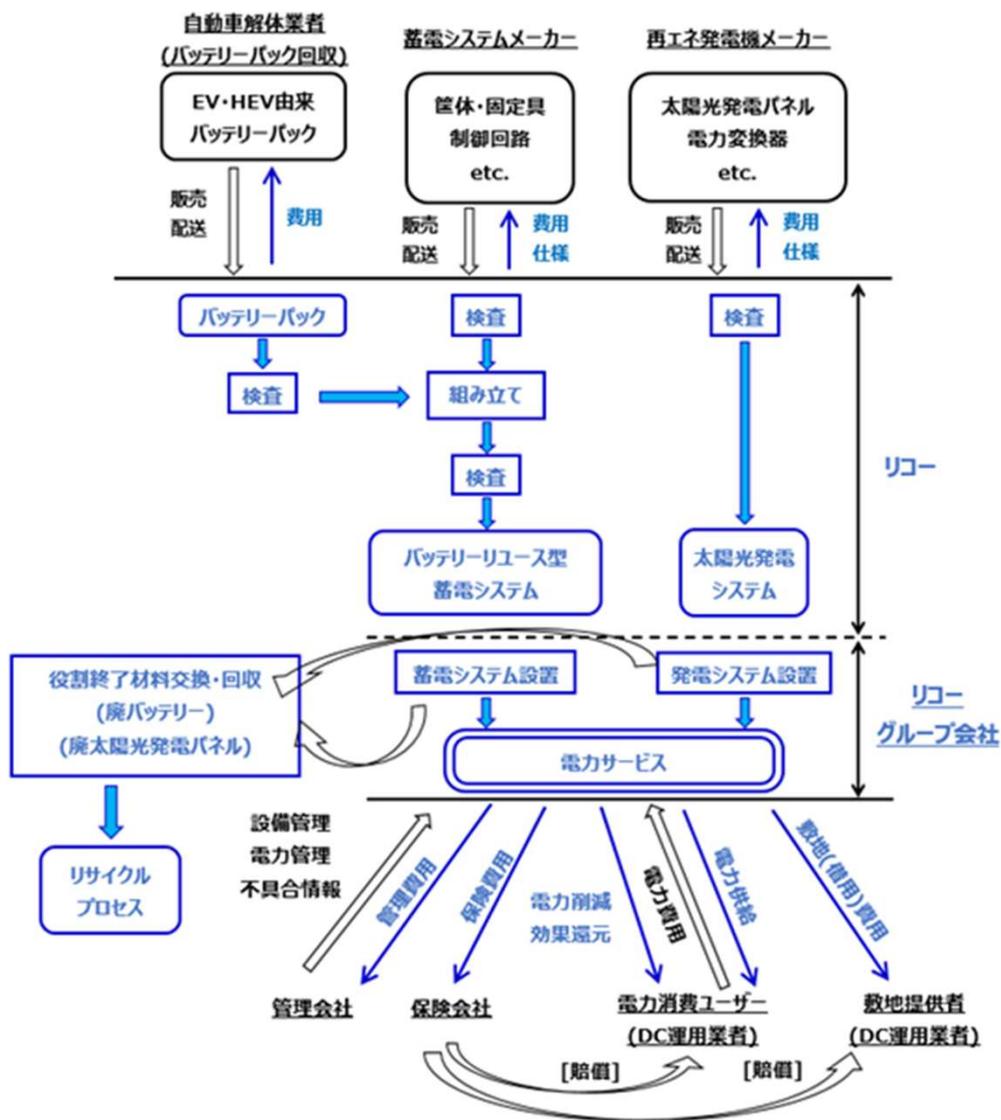
表 構成ケースにおけるCO2排出量削減コストおよび電力相当コスト試算結果

| | | ケース1 | ケース2 | ケース3 [2023 実証機グリッド] @ 2023現時点 | ケース4 [2023 実証機グリッド] @ 4,000台/年生産時 | ケース5 | ケース6 |
|----------------------|------------|-----------|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| | | 系統による電力供給 | PVおよび系統による電力供給 | PVおよび蓄電システムによる電力供給 低コスト化期待値 | PVおよび蓄電システムによる電力供給 低コスト化期待値 | PVおよび蓄電システムによる電力供給 | PVおよび蓄電システムによる電力供給 低コスト化期待値 |
| 10年運用時CO2削減効果 | | | | | | | |
| 対ケース1 | / 千円/t.CO2 | | 27 | 35 | 11 | 24 | 16 |
| 対ケース2 | / 千円/t.CO2 | | | | | 4 | 1 |
| 系統電源 | / 千円 | 85,989 | 37,696 | | | | |
| 総電力コスト | / 円/kWh | 16 | 7 | | | | |
| PV | / 千円 | | 35,000 | 3,800 | 2,660 | 50,000 | 35,000 |
| 総電力コスト | / 円/kWh | | 16 | 34 | 24 | 17 | 12 |
| 蓄電システム | / 千円 | | | 581 | 180 | 20,955 | 6,511 |
| 総電力コスト | / 円/kWh | | | 5.3 | 1.7 | 6.0 | 1.7 |
| 系統+PV+蓄電システム | / 千円 | 85,989 | 72,696 | 4,381 | 2,840 | 70,955 | 41,511 |
| 総電力コスト | / 円/kWh | 16 | 23 | 39 | 25 | 23 | 13 |

実証機の量産時

理想構成

1. 「データセンター向けHEV・EV由来リユースバッテリーを用いた蓄電システム開発」の背景、本委託事業における開発スケジュール
2. 本蓄電システム要素開発における検討技術
 - ① 複数種リユースバッテリー制御による電力損失低減技術
 - ② Ni-Zn電池を用いた低コストLIBセル間均等化技術
 - ③ LIBの過充電におけるin-situ不安全予兆検知技術
 - ④ LIB回収における低コスト性能検査技術
3. データセンター向け太陽光発電および本蓄電システムを用いた高効率電力供給の実証評価
量産時CO2排出量削減コスト期待値、採算性
4. 事業化に向けた今後の課題および取組
5. まとめ



PVおよびリユースLIB搭載型蓄電システムを用いたDC向け電力供給事業における課題

- ・ 生産設備の所有を生産側に残したまま、DC向け電力供給サービス (電力量相当の対価によって収益)事業を目指す [→ 性能格差の是正、役割終えたLIB回収]
- ・ 上下流企業との関係構築を確立する
- ・ 市場調査および提供先DCを細分化して最適な電力グリッド構成を商品化する
- ・ 部材輸送および蓄電システムの電池外部材の低コスト化を進める

表 2050年に向けた事業ロードマップ

| | ~FY2022 | FY2023 | ~ | FY2030 | ~ | FY2050 |
|----------|---------|----------------------------------|---|------------|---------------------------|--------|
| 車載電池廃棄状況 | | | 2025~ | | | |
| | | | ●多品種(HEV, EV)電池廃棄量が増加 ⇒リユース電池の調達コストが低下 | | | |
| 製品ラインナップ | DC向け | | ●限定モデル | ●派生モデル | ●汎用モデル | |
| | 多用途 | | | | ●多用途モデル拡張 (工場、倉庫、公共施設...) | |
| 技術開発 | | ●LIBセル間均等化 ●不安全予知 ●残電力検査工程 | | ●工程自動化(順次) | ●自動化量産工程 | |

図 PVおよびリユースLIB搭載型蓄電システムを用いたDC向け電力供給事業スキーム

本事業の要素技術開発によって

- ・ 電力変動が大きな蓄送電運用において、HEV・EV由来LIBの並列組電池が電力損失を低減し得ることを示した
- ・ Ni-Zn電池を用いることによって、低コストでLIBセル間の充電状態を均等化できることを示した
- ・ LIBの過充電におけるin-situ不安全予兆検知し得ることを示した
- ・ リユースLIBの回収時残電力を利用することによって、充放電設備なしに低コスト性能検査できることを示した

実証評価において、

- ・ 定格出力19 kW PV、HEV・EV由来LIB搭載型57 kWh蓄電システム、および4 kW DCからなる実証グリッドを構築し、発電および蓄送電における基本データを取得した
- ・ 電力変動の大きな電力消費モデルにおいて、電力損失を60J%まで低減した
- ・ 実証から理想までのPV-蓄電システム-DCの電力グリッド構成において、CO2排出量削減コストが11 → 1 千円/t_CO2に低減し得ることを示し、目標 8 千円 /t_CO2 を見通した
- ・ 従量電力量コスト16円/kWh (2016年時 関東エリア電力料金)より安価な13円/kWh を見通した

今後の課題

- ・ 電力量相当の対価を得るDC向け電力供給サービス事業を実現するために、上下流企業との関係構築、最適な電力グリッド構成の商品化、部材輸送や蓄電システムの低コスト化、量産体制の構築を進める

ご清聴ありがとうございました

RICOH
imagine. change.