

2025 年度 自動車リサイクルの高度化等に資する  
調査・研究・実証等に係る自主事業  
「解体事業者における異常電池適正処理」

---

最終報告書

2026 年 3 月 27 日  
株式会社マテック

担当者連絡先  
会社名： 株式会社マテック  
担当者名： 佐藤 輝  
部門： 石狩支店 第 20A 工場  
電話番号： 0133-77-5545  
メールアドレス： sato-akira@matec-inc.co.jp

## はじめに

項目	内容	
事業の背景	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 使用済み自動車（以下 ELV）において、リチウムイオン電池（以下 LiB）搭載の電動車（HEV、PHEV、EV）の比率が徐々に増加するなか、今後 事故や災害等による損傷 LiB（以後、異常電池）の発生量の増加も見込まれる。</li> <li>➤ 事故や災害などで LiB が損傷等を負った場合、正極と負極が短絡（ショート）し、大電流が流れて発熱、その熱がさらなる発熱を引き起こす熱暴走により、電池が発火し、車両火災や建屋火災につながる危険性がある。</li> <li>➤ 発火等の被害防止には、迅速な処置（LiB の残留エネルギーの放電）が必要であるが、通常の機器につないでの放電では、上記発火が発生する危険性があるため、塩水放電による発火を防止した形での放電処理が効果的な方法として認知されている。ただし、現状では異常電池の発生量が少ないことから解体事業者での塩水放電の実績はほとんどなく、また異常電池の発生の仕方もケースバイケースであり、適正な取り扱いに関する情報も少ない。</li> <li>➤ 異常電池を安全に取り扱うためには、全国の解体事業者で適用可能な異常電池対応マニュアルの提供とその周知が必要である。</li> </ul>	
事業のゴール	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 全国の解体事業者での異常電池を適正処理可能とするためのマニュアルの完成と周知を図る。</li> </ul>	
2025 年度 実施内容	マテックでの塩水放電（LL）	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1%濃度の塩水放電では、24 時間塩水放電での失活が完了したものの、塩水投入完了直後に大量の白煙が発生した（発生ガスは人体に影響のない値であった）。</li> <li>➤ 0.5%濃度を最大濃度とした塩水放電では、白煙の発生はほぼなく、穏やかな反応で 3 日後の失活を確認できた。</li> </ul>
	他解体事業者 2~3 社での塩水放電	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ エコアール、西日本オートパーツ、テラダパーツの L タイプでの塩水放電を実施。</li> <li>➤ マテックでの結果を踏まえ、0.5%濃度を最大濃度として、2 段階に分けて塩水投入を行った。白煙の発生もほぼなく、穏やかな反応で 24 時間後の失活を確認できた。</li> </ul>
	異常電池発火時の燃焼状況確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ラミネート（LEAF）・角型（アウトランダーPHEV）LiB パックの燃焼挙動確認を実施。</li> <li>➤ ラミネート、角型共に 1 時間程度燃焼が継続した。</li> <li>➤ ラミネートは上蓋が鉄製のため、側面から火が噴出した。角型は上蓋が樹脂製のため、上蓋焼失後、上面に火が噴出し、燃焼物が飛散した。</li> </ul>
	異常電池火災時の消火器・防火シート・砂等の組み合わせによる鎮火方法検証（モジュール・パック）	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ モジュールレベルであれば、防火シート単独でも延焼防止効果が確認できた。</li> <li>➤ 防火シートと消火剤や消火器との組み合わせ試験ではかけている時間酸素が供給されることで、炎が大きくなるという状況であったが、冷却効果はプラスされており、防火シート+消火剤または消火器の組み合わせでの延焼防止効果が期待される。</li> <li>➤ 2026 年以降パックおよび車両での試験を進める。</li> </ul>

## 目次

<b>1. 助成事業の計画</b> .....	<b>5</b>
1.1. 自動車リサイクル業界における事業の位置付け・背景.....	5
1.2. 事業の実施内容.....	6
1.2.1. 事業計画概要.....	6
1.2.2. 事業の実施体制.....	7
1.2.3. 実施スケジュール.....	8
<b>2. 自主事業の報告</b> .....	<b>10</b>
2.1. 2024 年度自主事業の実施結果.....	10
2.1.1. LiB 搭載の事故車に対する取り扱い方法（移動、解体現場での保管）調査.....	10
2.1.2. 電池の塩水浸漬による放電の実証（S、M、L、の3タイプの電池を各1個実施）.....	13
2.1.3. 異常電池火災時の消火器等を用いた鎮火方法検証（パック試験）.....	13
2.2. 2025 年度自主事業の実施結果.....	15
2.2.1. 塩水放電.....	15
(1) マテックでの LL の塩水放電（1%濃度）.....	15
(2) マテックでの LL の塩水放電（0.5%濃度）.....	29
2.2.2. 塩水放電（全国の2~3解体事業者での実施）.....	34
(1) エコアール.....	35
(2) 西日本オートリサイクル.....	41
(3) テラダパーツ.....	48
(4) 3社の結果から把握したマニュアルに反映すべき内容.....	54
2.2.3. 燃焼挙動確認.....	62
(1) ラミネート.....	62
(2) 角型.....	72
(3) ラミネートおよび角型比較.....	82
2.2.4. 消火試験.....	83
(1) 事前テスト（Ar ガスによる窒息効果の確認）.....	84
(2) セルによる基本消火・窒息性能確認.....	86
(3) モジュールによる組み合わせ消火試験.....	112
(4) 評価.....	119
(5) パック・車両延焼防止試験の方向性.....	120
2.2.5. マニュアル作成.....	123
2.3. 今後の調査等実施における課題および解決方法.....	124
2.3.1. 今後の調査等実施における課題.....	124
(1) 24kWh 以上の高容量 LiB の塩水放電による失活.....	124
(2) 発火時の対応方法.....	124

(3) マニュアルとしての記載範囲 .....	124
(4) マニュアルの適切な運用・管理.....	125
<b>2.3.2. 課題の解決方法 .....</b>	<b>125</b>
(1) 24kWh 以上の高容量 LiB の塩水放電による失活 .....	125
(2) 発火時の対応方法 .....	125
(3) マニュアルとしての記載範囲 .....	125
(4) マニュアルの適切な運用・管理.....	125

# 1. 助成事業の計画

## 1.1. 自動車リサイクル業界における事業の位置付け・背景

使用済み自動車（以下 ELV）において、リチウムイオン電池（以下 LiB）搭載の電動車（HEV、PHEV、EV）の比率が徐々に増加するなか、今後 事故や災害等による損傷 LiB（以後異常電池<sup>1</sup>）の発生量の増加も見込まれる。事故や災害などで LiB が損傷等を負った場合、正極と負極が短絡（ショート）し、大電流が流れて発熱、その熱がさらなる発熱を引き起こす熱暴走により、電池が発火し、車両火災や建屋火災につながる危険性がある。発火等の被害防止には、迅速な処置（LiB の残留エネルギーの放電）が必要であるが、通常の機器につないでの放電では、上記発火が発生する危険性があるため、塩水放電による発火を防止した形での放電処理が効果的な方法として認知されている。

ただし、現状では発生量がまだ少ないことから解体事業者での塩水放電の実績はほとんどなく、また異常電池の発生仕方でもケースバイケースであり、適正な取り扱いに関する情報も少ない。異常電池を安全に処理するためには、全国の解体事業者で適用可能な異常電池対応マニュアルの提供とその周知が必要である。

本事業では、解体事業者での異常電池の ELV からの取り外し、塩水放電処理、保管方法、輸送荷姿等について、安全性等の実証とマニュアルを作成し、今後 発生量増加が見込まれる異常電池の解体事業者での安全な輸送・処置・保管に寄与することを目的としている。

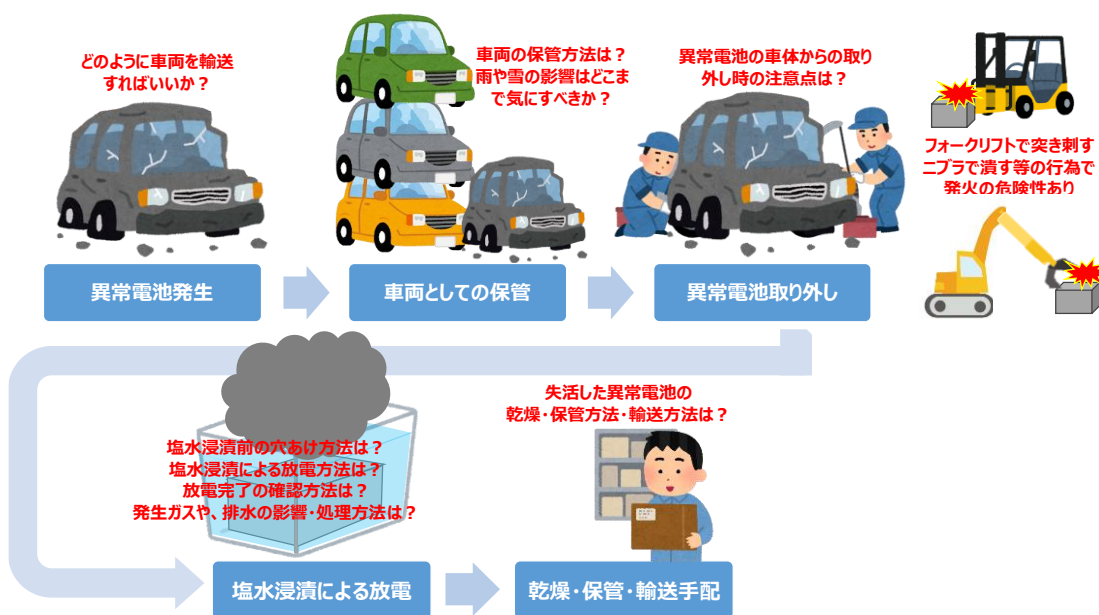


図 1-1.異常電池の処理の不明点例

出所：各種資料から矢野経済研究所作成

<sup>1</sup> 異常電池：事故等により電池パックの内部または外装が物理的に損傷し、短絡、発火、熱暴走が発生する可能性のあるリチウムイオン電池（以下 LiB）を本事業では異常電池とする。

## 1.2. 事業の実施内容

### 1.2.1. 事業計画概要

本事業は、全国解体事業者での異常電池を適正処理可能とするためのマニュアルの完成と周知を図ることを目標として、3カ年を予定している。

#### 2024年度

- ① LiB搭載の事故車に対する取り扱い方法（移動、解体現場での保管）調査
- ② 異常電池の車体からの取り外し方法、塩水放電前の電池発火時の鎮火方法、塩水浸漬による放電方法、乾燥・保管方法、回収拠点への輸送方法等の確認・決定（過去の実証などを基に決定）
- ③-1 電池の塩水浸漬による放電の実証（S、M、Lの3タイプの電池を各1個実施）
- ④ 異常電池火災時の消火器等を用いた鎮火方法検証
- ⑤ 実証を踏まえた異常電池取り扱いに関するマニュアル作成（塩水放電）

#### 2025年度

- ③-2 電池の塩水浸漬による放電の実証（LLを1個実施）
- ⑥ 2024年度に作成した塩水放電に関するマニュアルの他解体事業者での実証による有効性確認（平均的な解体事業者2~3社で実施）
- ⑦ 異常電池（パック）発火時の燃焼挙動確認
- ⑧ 消火器+防火シート/砂等を用いた異常電池（モジュール）鎮火方法検証
- ⑨ 実証を踏まえた異常電池取り扱いに関するマニュアル作成

#### 2026年度

- ⑩ 消火器+防火シート/砂等を用いた異常電池（パック、車両）鎮火方法検証
- ⑪ 実証を踏まえたマニュアルの作成（課題、追加項目等の確認）
- ⑫ 動画を活用した解体事業者への異常電池取り扱いに関する周知活動

## 1.2.2. 事業の実施体制

事業の実施体制を図 1-2 に示す。

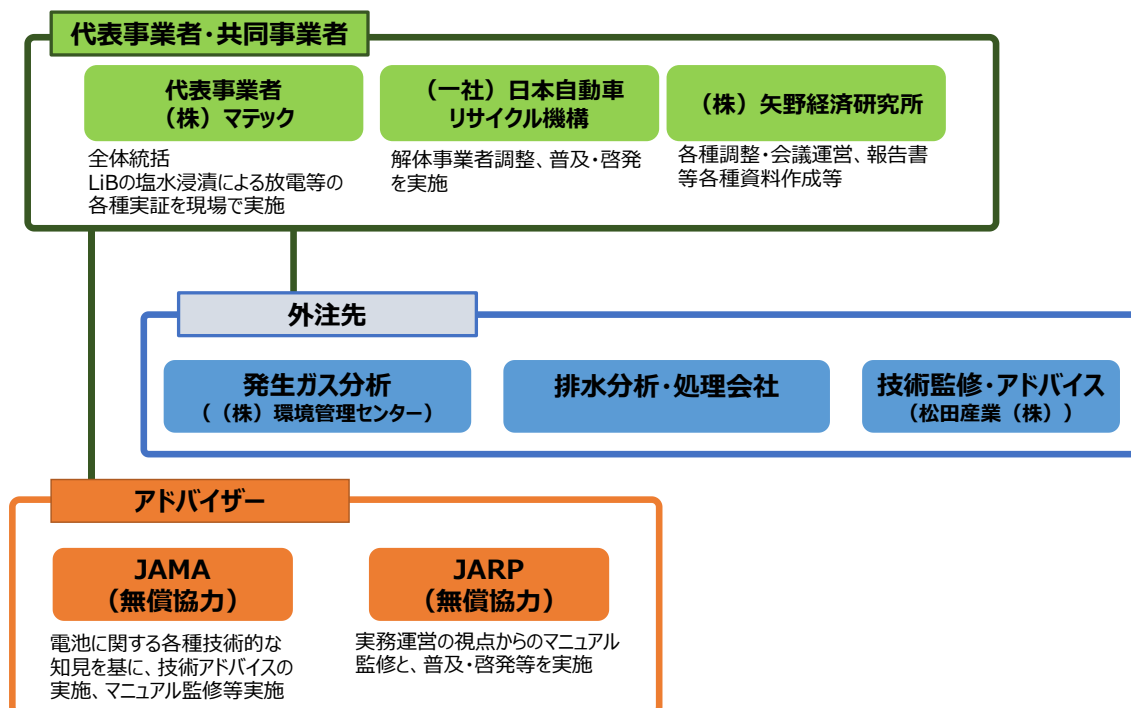


図 1-2.実施体制

出所：矢野経済研究所

### 1.2.3.実施スケジュール

2025年度、2026年度スケジュールを表 1-1 に示す。

塩水放電試験については、2025年度はマテックで LL タイプの塩水放電試験を実施した後に、全国の解体事業者 2～3 社において、塩水放電マニュアルに基づき、1 タイプの LiB での塩水放電試験を実施する。それら実施結果に基づき、塩水放電マニュアルの修正等を行っていく。

燃焼挙動確認については、2025年度にパック火災による無消火時の周囲への影響(延焼)等を確認するため、ラミネートタイプおよび角型タイプのパック 2 種で試験を行う。

消火試験については、2025年度に、セルおよびモジュールレベルでの冷却+窒息による消火試験を実施する。2026年は効果の高かった方法でパック、そして車両で適用させていく。

上記塩水放電試験、消火試験をもとに、異常電池を安全に取り扱うための解体事業者向けの異常電池対応マニュアルの作成を 2026年度にかけて行っていく。



## 2. 自主事業の報告

### 2.1. 2024 年度自主事業の実施結果

2024 年度は以下を実施した。

- LiB 搭載の事故車に対する取り扱い方法（移動、解体現場での保管）調査
- 電池の塩水浸漬による放電の実証（S、M、L、の 3 タイプの電池を各 1 個実施）
- 異常電池火災時の消火器等を用いた鎮火方法検証（パック試験）

#### 2.1.1. LiB 搭載の事故車に対する取り扱い方法（移動、解体現場での保管）調査

LiB 搭載の事故車に対する取り扱い方法（移動、保管）の注意点を確認するため、日本で走行している車を販売している自動車メーカーに対してアンケートを実施した。アンケートは一般社団法人日本自動車工業会（以下 JAMA）、日本自動車輸入組合（JAIA）の会員企業に対して実施した。表 2-1 にアンケート項目を示す。

LiB 搭載の事故車や、異常電池に対する取り扱い方法（移動、保管）について、各社の推奨方法の確認ができた。今後解体事業者向けのマニュアル作成を行う際に今回得られた内容を参考として作成を行っていく。

表 2-1.アンケート項目

質問			
1 過去の発火事例について	-1	過去に御社のLiB搭載車両において、LiBが原因と思われる火災が発生したことはございますか？	ある/ない
	-2	ある場合、何件程度発生しておりますか？	〇〇年までで×件等詳細回答をご記入ください
	-3	その際の鎮火方法はどのようなものでしたか？具体的な方法をご教示ください	詳細回答をご記入ください
2 LiB搭載車の表記	-1	車両のボディにLiB搭載車であることがわかる掲示等がありますか？（HEVは、LiB搭載車とNi-MH搭載車が混在しているため）	ある/ない
	-2	ある場合、車両ボディのどの部分に掲示されていますか？	詳細回答をご記入ください
3 事故車発火時の対象方法	-1	事故車発火時の対処方法、損傷バッテリー発火時の対処方法、またはLiB加熱試験等で発火した時の消火方法などはありますか？	ある/ない
	-2	ある場合、どのような方法ですか？（初期火災は二酸化炭素消火器で消火し、それでも鎮火しない場合は大量の水で消火する、発火している事故車を止水板で囲い大量の水を注入する等）	詳細回答をご記入ください
4 損傷バッテリー判断方法	-1	損傷バッテリーの発火等の危険性判断方法はございますか？	ある/ない
	-2	損傷バッテリーの判断方法がある場合、どのようなものですか？（電池パックの外部の損傷、電解液等の芳香臭、発熱、その他検査専用機器等状態別処理方法の判断基準）	詳細回答をご記入ください
5 事故車（LiB搭載車）の移動方法	-1	事故車（LiB搭載車）の推奨移動方法又は留意点はありますか？	ある/ない
	-2	推奨移動方法がある場合はその内容、又はない場合でも、留意点はどのようなことが考えられますか？（車体を防火シート等で包んで移動、現場で損傷バッテリーを取り外し等）	詳細回答をご記入ください
6 解体現場での保管方法	-1	事故車の解体現場での推奨保管方法又は留意点はありますか？	ある/ない
	-2	推奨保管方法がある場合はその内容、又はない場合でも、留意点はどのようなことが考えられますか？（段積み禁止、雪や雨の影響、保管せず即時解体等）	詳細回答をご記入ください
7 損傷バッテリーの車体からの取り外し方法	-1	損傷バッテリーの車体からの推奨取り外し方法又は留意点はありますか？	ある/ない
	-2	推奨取り外し方法がある場合はその内容、又はない場合でも、留意点はどのようなことが考えられますか？	詳細回答をご記入ください
8 損傷バッテリーの処理方法	-1	損傷バッテリーの推奨処理方法又は留意点はありますか？	ある/ない
	-2	推奨処理方法がある場合その内容、又はない場合でも、留意点はどのようなことが考えられますか？（塩水浸漬を行い、乾燥後処理業者に引き渡す等）	詳細回答をご記入ください
9 過去のデータ計測の有無	-1	損傷バッテリー又は非損傷バッテリーの塩水放電時の排水、排ガスデータを過去に計測されたことはありますか？	ある/ない
	-2	計測されたことがある場合、データをご提供いただくことは可能ですか？	可能/不可能
10 その他	-1	損傷バッテリーにかかわらず、電池の取外し容易性等に関してリサイクル側面での設計上の工夫点等があればお答えください。	詳細回答をご記入ください
	-2	事故車の移動方法や損傷バッテリーの取り外し方法、塩水放電に際しての注意点、疑問点等あれば自由にご記述ください。	詳細回答をご記入ください

出所：矢野経済研究所

事故車の輸送時の安全性担保のため、出火時の鎮火対応策の一つとして防火シートの検討を行うこととした。国内で入手可能な T-ISS、Bridgehill AS、ヒュアテム等の防火シートについて価格および性能比較を実施した。防火シート比較結果を表 2-2 に示す。

防火シートは 40 万円以上の価格である。サイズは 6×8m または 6×9m である。重量は 25kg 以上で、耐熱温度は価格にもよるが 1,600℃や高いもので 2,500℃といったものもある。消火メカニズムについては、基本的にはシートをかけて窒息消火である。鎮火までに一定時間シートで覆う必要がある。一部有毒ガスなども外部に出さない構造のシートもある。

表 2-2.防火シート比較結果

製造企業		T-ISS	Bridgehill AS		ヒュアテム
国		オランダ	ノルウェー		韓国
問い合わせ先		株式会社モリタ	YONE株式会社		株式会社アミスタ
製品名		FIRE ISOLATOR	CAR PRO X (カープロエックス)	CAR STANDARD (カースタンダード)	ファイヤーブランケット
写真					
素材		高純度シリカ (二酸化ケイ素を主成分)	グラファイト (炭素繊維) シリコンコーティング	パイロキシン繊維 シリコンポリマー	ガラス繊維とハイシリカ特殊防炎 コーティング
サイズ	防火シートサイズ (どの大きさの車まで対応 可能か)	6×9m	6×8m	6×8m	6×9mサイズが主流。
	防火シート重量	37kg	28kg	28kg	約25kg (6m×9mサイズの場合)
	厚み	0.76mm	—	—	0.5mm(誤差範囲±10%)
性能	耐熱温度	1,600℃	2,500℃ (1分程度でその後は 1,500℃)	1,600℃ (1分程度でその後は 800℃)	シルバー部分： 1,200～1500℃ 特殊防炎コーティング部分： 1,800～2,000℃近く
	防火・消火性能 (炎上状態での鎮火時間、 延焼を防ぐ等の性能)	窒息効果による消火を狙う。 水透過性があり、放水を合わせ て実施することで、冷却効果も付 与することが可能。	シートをかけて窒息消火を狙う。		窒息効果による消火を狙う。
	耐久性 (製品寿命・繰り返し使用 の可否) ※状況によって耐久 性が変化するため目安	本体の破れ・切れなどの破損がな ければ、繰り返し利用可能。	30回	1回	～30回程度繰り返し使用が可 能
その他	保管方法、 保管時の注意点	専用ケースにて保管。屋外や 水濡れする場所での保管は避け る。	日陰 (屋内) などで保管。		使い終わった後は洗って乾燥さ せ、綺麗に折りたたんで保管。

出所：矢野経済研究所

### 2.1.2. 電池の塩水浸漬による放電の実証 (S、M、L、の3タイプの電池を各1個実施)

異常電池を安全に失活処理するため、S、M、Lの3タイプでの塩水放電を実施した。1%濃度の塩水で放電したところ、24時間後の失活を確認した。

発生ガス計測結果から、水素、塩化水素、弗化水素、塩素ではすべて基準値以下であった。全炭化水素もジャンボックス中央(直上)において投入前は24ppm、最大でも24時間後の32ppmであり、投入前と投入後の最大値との差はわずかであり一般環境レベルと考えられる。ただし、この結果は今回実施したn=1での試験結果によるものである。LiBの状態によってはガス発生量が増える恐れがあるため、塩水放電を実施する際には発生ガスを吸引しない環境下で行うべきである。

排水分析結果から、銅・亜鉛・鉄・アルミニウムなどは環境中に排出できない濃度であるが、有害金属等の健康に関する項目では特に基準を超えるものではなかった。

### 2.1.3. 異常電池火災時の消火器等を用いた鎮火方法検証(パック試験)

解体現場での異常電池発火を想定し、初期消火に有効な方法(消火器)を確認するため、モジュールおよびパックでの消火試験を実施した。モジュールの消火試験において効果の高かった水浸潤剤入り消火器および強化液(中性)消火器を用いてパック消火試験を実施した。

水浸潤剤入り消火器10本と強化液(中性)消火器15本を使用した。LLタイプのパックを鎮火させることができなかった。他の消火器や、消火器の組み合わせ、その他手法による鎮火方法をより検討していく必要がある。

2025年度はマテックでのLLタイプでの塩水放電試験、その他2024年度に作成した塩水放電マニュアルをもとに他の解体事業者2~3社での塩水放電を実施予定である。2024年度に作成したマニュアルの活用により、他の解体事業者においても問題なく処理可能か確認を行っていく。

消火試験について、2024年度の試験結果から、消火器では一次的な冷却・窒息は行えるが、継続的かつ鎮火に至るような冷却・窒息の持続効果が望めないと考える。そのため、例えば冷却は消火器で、窒息は消火器以外の砂、防火シート、箱などで行う組み合わせた方法を2025年度で実施していく。消火器については、2024年度で効果の高かった水(浸潤剤入り)消火器、強化液(中性)消火器、CO2消火器を候補とする。

消火剤、防火シート候補を表2-3に示す。

まずはセルレベルで組み合わせた方法による事前試験を行い、効果の高かった2~3種類でモジュール試験を実施し、さらにそれをパック、車両に適用させていく。

仮に大量の水で鎮火する以外の方法がなかった場合は、その結果を踏まえ、火災発生を想定したLiBの安全な保管方法等について提案を行っていく。

表 2-3. 消火剤、防火シート候補

効果	種類	詳細	評価項目	備考
冷却	消火器	水（浸潤剤入り）	温度挙動 炎が消えるまでの時間	—
		強化液（中性）		—
		二酸化炭素		—
窒息	消火剤	消火砂（園芸用）	温度挙動 炎が消えるまでの時間	10円/kg以下
		消火砂（パーミキュライト）		300円/kg
		吸水性ポリマー		300円/kg
	防火シート	スパッタシート	耐火性・耐久性 遮熱性 温度挙動 窒息性	数万円
		シリカクロス		
		ヒュアテムシートシート（LiB用）		数十万円
		YONEシート（LiB用）		
栗田工業製防火シート（LiB用）	開発品			

出所：矢野経済研究所

## 2.2. 2025 年度自主事業の実施結果

### 2.2.1. 塩水放電


#### (1) マテックでの LL の塩水放電（1%濃度）

異常電池を安全に失活処理するため、LL タイプでの塩水放電を実施した。

#### ① 使用 LiB

塩水放電で使用する LiB（LL）について、異常電池を疑似的に作り出すことは難しいため、通常の非損傷電池で試験を実施することとした。比較的手配しやすい LEAF（ZE0）の電池を選定した。選定した LL の LiB を表 2-4 に示す。

表 2-4.LL の LiB

	LL	
車種	LEAF（ZE0）	
写真		
セル个数	192 セル（48 モジュール）	
接続方式	直列	
電圧/総電圧	3.8V/360V	
容量	36Ah	
総電力量	24kWh	
重量	294kg	

出所：各種資料から矢野経済研究所作成

## ② 事前準備

### ・電圧測定・調整

塩水放電時の反応を最大化するため、塩水放電前に電圧を調整した。充電は車上で行き、車両のメーターで満充電になるまで充電した。



図 2-1.SOC の調整

出所：マテック

### ・穴開け加工

今回選定した LL タイプの LiB はパックのアップパーカバーとアンダーカバーがシーリングされており、完全水密構造となっている。車体下部に設置されている大型の LiB の場合、パック内部に水が入らない水密構造となっているため、異常電池の塩水放電時には電池内部へ塩水を注水する方法を検討する必要がある。またそれらパックでは内部圧力が高まると圧力弁が開弁する機構となっているが、損傷等により圧力弁が作動しなかった場合、塩水放電時の発生ガスがパック内に滞留し、アップパーカバーが飛び出してしまう恐れもある。

そのため、塩水放電時には塩水がパック内部に入っていくように、発生ガスをパック外部に放出可能なようにアップパーカバーを外すか、穴を開けるか等の処置を行う必要がある。

アップパーカバーの取り外しについては、可能であれば取り外すことが望ましいが、異常電池の場合はパック自体が変形している可能性もあり、取り外しできない可能性が高いため、穴あけ方法を検討した。穴開け方法として、グラインダー、ドリル、シートメタルチゼル等の検討を行った。

グラインダーは火花が出るため、使用が難しいと判断した。

ドリルは、ドリルの先端にビニルテープを巻き、深く刺さらないように工夫を行った。火花は発生させずに比較的簡単に穴が開いたが、穴のサイズが小さく、この穴から塩水を十分に注水することは難しいと考えられる。

シートメタルチゼルは、刃に段が付いており、缶切りのように切ることができる。使用時の火花の発生もなく、深さに制限が設けられている機構となっている。シートメタルチゼルを使うと、鉄板に細長い線状の切り込みを入れることができ、4辺を削ることで面として穴を開けることが可能で、パックへの塩水の流入・流出が行いやすくなる。

穴あけ加工にはチゼルが適していると判断し、使用することとした。シートメタルチゼルを用いて、LiB パックのアップカバー7カ所に切り込みを入れた。切り込みを入れる際は、内部のLiB とクリアランスがあると想定される場所を選択した。

表 2-5.穴あけ加工検討結果

種類	写真		火花	安全性 (電池本体を傷つける恐れがないか)	穴の形状 (塩水が入りやすい大きなサイズか)	総合判断
	使用時	穴の状態				
グラインダー			×	×	×	×
ドリル			○	×	×	×
シートメタルチゼル			○	○	○	○

※○は適している、×は適していない

出所：各種資料から矢野経済研究所作成

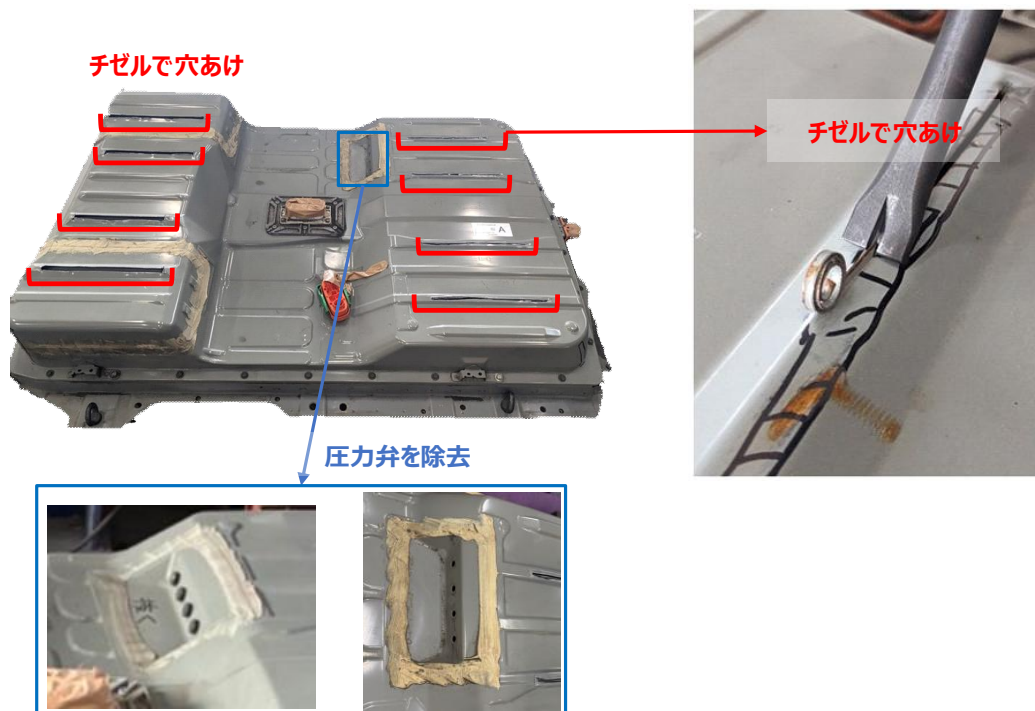


図 2-2.シートチゼルによるアップカバーへの穴あけ加工および圧力弁の除去

出所：マテック

そのほか、LiB パックには、パックの内圧が規定値を超えるとバルブが開き、圧力を大気に開放することで爆発を防ぐための圧力弁（ゴム等で構成）がある。今回は塩水放電に伴い LiB 内部で発生するガスを抜くために、これらのゴムを除去し、弁部の穴が露出するようにした。

## ・ポンプの設置

アッパーカバーを付けた状態では、穴あけ加工を行った場合でも、パック内部にうまく塩水が循環（拡散）しないことが危惧される。そのため、パック内部に塩水を循環させる方法が必要となる。

ポンプおよびチューブを用いて、水槽内の塩水が LiB 内部に循環するように設定した。具体的には、ポンプの吐出側のチューブ先端に、LiB 筐体の穴に合うサイズのノズルを取り付け、勢いよく内部に塩水を導入できるようにした。

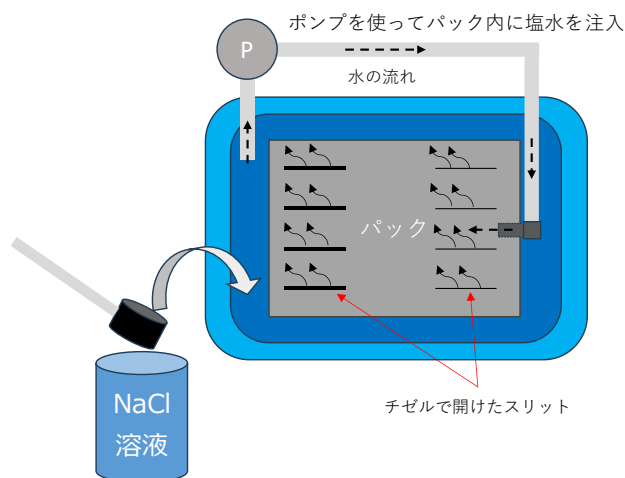
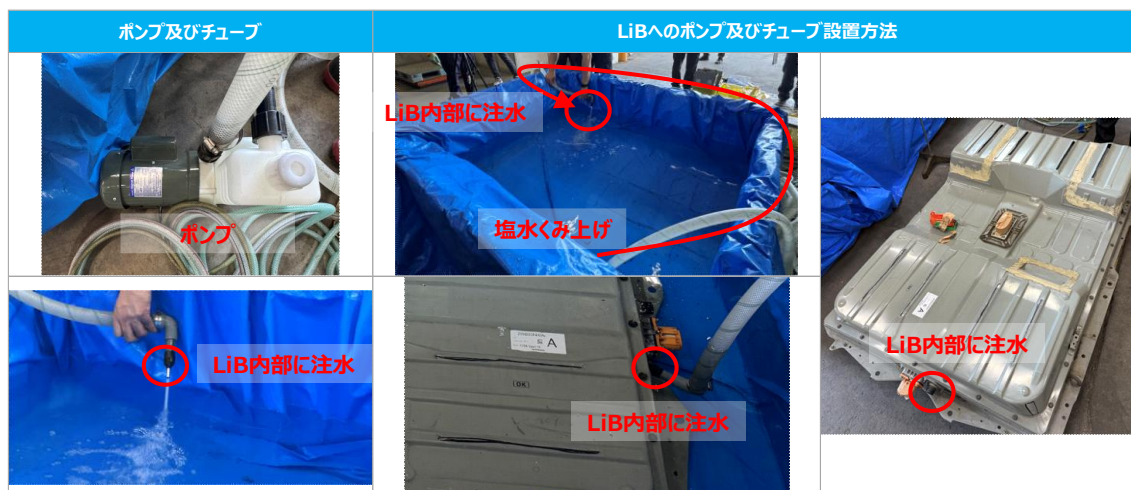


図 2-3.ポンプによる LiB 内部への塩水循環方法

出所： マテック

## ・実施場所

LiB を塩水放電する際には、塩水電気分解が起こり、一極からは水素、+極からは酸素、塩濃度が高い場合、塩素ガスが発生する。また LiB に含まれる電解質 (LiPF<sub>6</sub>) が水分と反応して、弗化水素が発生する。そのため、安全面を考慮し塩水放電の実施場所は、屋根のある屋外が望ましい。ただし今回は、塩水放電時の発生ガス計測を行うため、風などの周辺環境の影響を受けにくい、換気が可能な屋内で実施した。塩水放電時は水素ガスなどが発生するため、周辺の火気厳禁の環境で実施した (2024 年度実施場所と同様)。



図 2-4.塩水放電実施場所 (2024 年度実施場所と同様)

出所：矢野経済研究所撮影

## ・使用器具 (ボックス)

塩水放電を行うために、LL タイプの電池を浸漬可能な容器を用意した。図 2-5 に LL 用塩水放電容器を示す。



図 2-5.LL 用塩水放電容器

出所：矢野経済研究所撮影

・ 塩水濃度・時間

塩水放電方法は、LiB の高さまで沈めることが可能な量の真水を用意し、まずは LiB を真水に沈め、そこにひしゃく等で塩水を注水した。なお塩水を注水する際は急激な反応が起こらないように、直接電池に塩水が当たらないように配慮しながら攪拌した。

塩水濃度は 1% となるように調整した。1% の塩水の作製方法は、濃度 10% の塩水を作製し、それを水に注入することで作製した。

塩水放電時間は 24 時間とした。

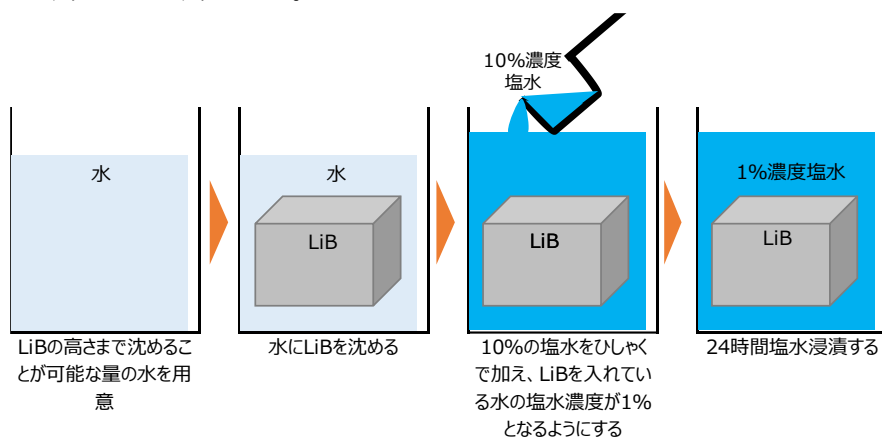


図 2-6.塩水放電手順

出所：矢野経済研究所

### ③ 塩水放電

前述の方法に基づき、塩水放電を実施した。パック内に塩水を循環させるため、塩水投入開始から 3 日後の引き上げまで常にポンプを稼働させた。10%塩水は一度に投入するのではなく、少量ずつをひしゃく等でかき混ぜながら約 10 分かけて投入が完了した。

塩水放電時の様子 (LL、1%濃度) を図 2-7 に示す。すべての塩水を投入してから約 7 分で白煙が発生した。その後 7 分程度で顕著な白煙の発生は収まった。白煙発生から 15~20 分程度は断続的に塩水水面の気泡の発生とともに少量の白煙が発生していた。その後は水面に大きな変化はなく、3 日間の塩水放電を実施した。なお、発生した白煙については電解液由来と推測される。異常電池を塩水放電する場合、電極が損傷している可能性があり、白煙にコバルト、マンガンなどが含まれる可能性があり、人体への有害性については気を付ける必要がある。



図 2-7.塩水放電時の様子 (LL、1%濃度)

出所：矢野経済研究所

#### ④ 失活確認

##### ・引き上げ、水洗い、水気飛ばし

3日後のLiBの様子(LL、1%濃度)を図2-8に示す。チゼルで開けたスリットの近傍には茶色の沈殿が少なかった。これは、パック内部からの水流により、沈殿が巻き上げられたためとだと考えられ、ポンプの送液によりパック内部に塩水が循環していたと考えられる。LiBの引き上げが可能か、10分間浸漬時の状況を撮影し、気泡の発生の状況を確認した(図2-9)。10分間に4回、スリットからの気泡を確認したが、気泡の発生は少なく、十分失活できていると判断し、3日間で浸漬を終了した。



図 2-8.3 日後の LiB の様子 (LL、1%濃度)

出所：マテック

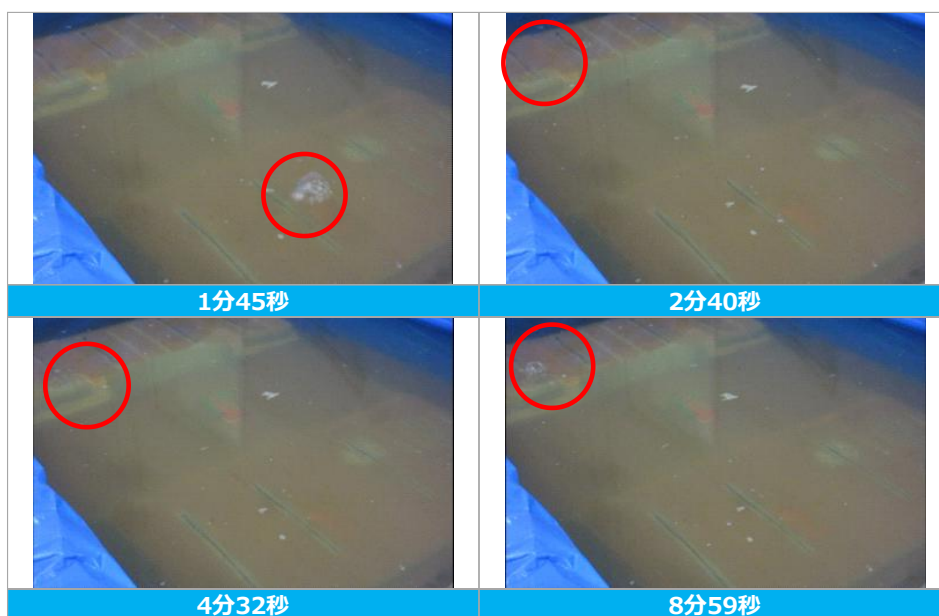


図 2-9.10 分間気泡確認の様子 (LL、1%濃度)

出所：マテック

塩水放電を実施した LiB は、電圧計測、塩水の水洗い・乾燥のためにアッパーカバーを取り外した。

塩水放電後の LiB は乾燥の過程を経て自動車再資源化協力機構(以後 JARP) 引き取りとなるが、乾燥時に付着した塩水が濃縮され高濃度になり、短絡や腐食が発生する可能性がある。そのため、LiB を塩水から取り出した後に、軽く水洗いをする必要がある。水洗い方法については、LiB を吊り上げながら塩水から取り出したのち、浸漬させた容器の上部で、LiB の端子部を中心に水洗いを行った。

また、失活が完了していない場合、端子の短絡のリスクがあるため、水洗い後に LiB の水気を飛ばす必要がある。失活が完了していれば、絶縁手袋を着用のうえ、ウエス等で水気をふき取る。エアブロー等で水気を飛ばすほうがより安全性が高いため、今回はエアブローで乾燥させた。

塩水からの引き上げ、アッパーカバー取り外し後の LiB の様子を図 2-10 に示す。アッパーカバーの裏面に、黒色の煤のようなものが付着している。その部分が激しく反応していた可能性がある。



図 2-10.塩水からの引き上げ、アッパーカバー取り外し後の LiB の様子 (1%塩水濃度)

出所：マテック

## ・電圧測定

失活確認の電圧測定について、本事業関係者で協議した結果、基本的にセル単位で 1V 以下を失活の判断基準として設定した。ただ、セル単位での計測ができない場合は、モジュール単位での計測を行う。仮に 1 モジュール 10 数セルの場合、1 セルが 1V 以下であれば、1 モジュールも数 V 程度となるため、モジュールの電圧測定結果から失活状態であるかどうかを確認する。ただし、モジュール内のセル間で断線し、計測した値が 0V の場合もある。特定のモジュールのみが 0V の場合、その他モジュールが 0.数 V であれば失活できていると判断する。

なお、パック単位での計測は、正確な数値が出ない場合がある。理由としては、塩水放電によりモジュール間を接続するブスバーが溶解し断線している場合や、リレーやサービス

プラグが断線している場合もあるため、正確な電圧を把握できないことに留意する必要がある。

電圧測定箇所を図 2-11 に、塩水放電 3 日後の LL の電圧測定結果を表 2-6 に示す。総プラスで 1.4V 程度、各モジュール計測では 1V 以下であり、セル単位で 1V 以下と計算されるため、失活していると判断した。



図 2-11.電圧測定箇所

出所：マテック

表 2-6.塩水放電 3 日後の LL の電圧測定結果（1%塩水濃度）

全体					V
総プラス-総マイナス（サービスプラグなし）					1.42
総プラス-総マイナス（サービスプラグあり）					1.46
	A1	A2	A3	A4	C
ブスバー全体（V）	0.013		0.013		0.66
各 モジュール（V）	0	0.002	0.004	0.003	—
	0	0	0.001	0	—
	0	0	0	0	—
	0.001	0.009	0.004	0.002	—

出所：マテック

## ⑤ 乾燥

失活確認が完了した LiB は、JARP の LiB 共同回収システムで処理を要請する必要がある。ただし、塩水放電を行った LiB は通常の処理フローとは異なるため、JARP に塩水放電後の LiB 処理であることを別途相談することが求められる。

また処理施設に送付する前に、輸送時の荷台への水濡れ等が発生しないように、十分乾燥させる必要がある。乾燥方法は、直射日光を避け、風通しの良い涼しい場所で乾燥させる。LL は 5 日間乾燥を行った。

## ⑥ 塩水放電時の発生ガス測定

先述したように LiB を塩水放電した際には、水素、塩素、弗化水素等のガスが発生する。解体事業者が自ら異常電池を安全に処理するためには、これらの発生したガスが作業者にあって有害にならないように確認する必要がある。

表 2-7 に発生ガス測定検体数を示す。発生ガス測定では LiB からの発生が想定される水素、全炭化水素、塩化水素、弗化水素、塩素を対象に実施した。公定法の場合、各分析項目で試料を捕集する時間数が異なっており、10 分ごとで可能なものから 3 時間かかるものまであり、公定法通り行くと、分析項目によってサンプリング時間が異なる。

水素、全炭化水素は塩水投入後 10 分が反応のピークとみられるため、公定法の 10 分間隔ではなく、さらに短い 4 分間隔での計測を実施することとした。

塩化水素、塩素、弗化水素はそもそも濃度が低いと考えられ、計測間隔を短くしすぎる場合、検出されない可能性がある。より低濃度を検出可能とするため、塩化水素は 20 分間隔、弗化水素は 10 分間隔、塩素は 25 分間隔とした。

発生ガス測定箇所を図 2-12 に示す。発生ガス計測は、1 測定つき 2 か所測定した。1 か所は作業者の顔を想定し、容器側面の地面から 150cm 付近で計測し、もう 1 か所は発生ガスの濃度が高いと想定される容器中央の水面近く（容器上部から 30cm 下付近）で計測した。

表 2-7. 発生ガス測定検体数

項目	計測間隔 (公定法)	計測間隔 (本実証)	投入 前	投入 直後	4分	8分	10分	12分	16分	20分	25分	30分	40分	50分	1時 間後	2時 間後	24時 間後	検体 数
水素	10分ごと	4分 (1分吸引、3分交換)	1	2	2	2	-	2	2	2	-	-	2	-	2	2	2	21
全炭化水素	10分ごと	4分 (1分吸引、3分交換)	1	2	2	2	-	2	2	2	-	-	2	-	2	2	2	21
塩化水素	30分ごと	20分 (12~13分吸引、7分交換)	1	2	-	-	-	-	-	2	-	-	2	-	2	2	2	13
弗化水素	30分ごと	10分 (5分吸引、5分交換)	1	2	-	-	2	-	-	2	-	2	2	2	2	2	2	19
塩素	20分ごと	25分 (20分吸引、5分交換)	1	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2	-	2	2	11
合計計測タイミング																		85

※数値は1回当たりの計測検体数、1の場合は容器中央(直上)計測のみ

出所：矢野経済研究所



図 2-12.発生ガス測定箇所

出所：矢野経済研究所撮影

LLの発生ガス計測結果を表 2-8 に示す。水素、塩化水素、弗化水素、塩素ではすべて基準値以下であった。全炭化水素は基準値がないが、メタンは基準値：1.5vol% (30%LEL) (15,000ppm) 未満が労働安全衛生規則より定められている。この濃度は「直ちに、労働者を安全な場所に退避させ、および火気その他点火源となる怖れがあるものの使用を停止し、かつ、通風、換気等を行う濃度」である。最も全炭化水素の数値が高かった8分後のサンプルにおいてメタン濃度を再測定したところ、メタン濃度の結果としては、数十ppmであった。メタンの測定は、採取から1カ月後に実施したため、ガス濃度が減衰していることを加味しても基準値の数百分の1の濃度レベルであり安全上は問題のない濃度と考えられる。

ただし、この結果は今回実施したn=1での試験結果によるものである。LiBの状態によってはガス発生量が増える怖れがあるため、塩水放電を実施する際には発生ガスを作業者が吸引しない環境下で行うべきである。

表 2-8.LL の発生ガス計測結果

単位：％は体積百分率を示す（水素）、ppmは体積百万分率を示す(水素以外)

試料名称（採取時間）		測定箇所	投入前	投入直後	4分後	8分後	10分後	12分後	16分後	20分後	25分後	30分後	40分後	50分後	1時間後	2時間後	24時間後
水素	定量下限値：0.1%	直上	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1
	基準値適否（爆発下限界：4%）		○	○	○	○	-	○	○	○	-	-	○	-	○	○	○
	定量下限値：0.1%	側面	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1
	基準値適否（爆発下限界：4%）		-	○	○	○	-	○	○	○	-	-	○	-	○	○	○
全炭化水素	メタン換算 定量下限値：1ppm	直上	8	8	7	670	-	270	78	34	-	-	38	-	23	28	18
	基準値無し		-														
	メタン換算 定量下限値：1ppm	側面	-	10	10	180	-	58	27	24	-	-	12	-	15	15	13
	基準値無し		-														
塩化水素	定量下限値：0.3ppm	直上	<0.3	<0.3	-	-	-	-	-	<0.3	-	-	0.6	-	<0.3	<0.3	<0.3
	基準値適否※ 最大許容濃度：2ppm		○	○	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	○	○	○
	定量下限値：0.3ppm	側面	-	<0.3	-	-	-	-	-	0.3	-	-	<0.3	-	<0.3	<0.3	<0.3
	基準値適否※ 最大許容濃度：2ppm		-	○	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	○	○	○
弗化水素	定量下限値：0.1ppm	直上	<0.1	<0.1	-	-	0.4	-	-	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	基準値適否※ 最大許容濃度：3ppm		○	○	-	-	○	-	-	○	-	○	○	○	○	○	○
	定量下限値：0.1ppm	側面	-	<0.1	-	-	<0.1	-	-	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	基準値適否※ 最大許容濃度：3ppm		-	○	-	-	○	-	-	○	-	○	○	○	○	○	○
塩素	塩素(定量下限値：0.05ppm)	直上	<0.05	<0.05	-	-	-	-	-	-	<0.05	-	-	<0.05	-	<0.05	<0.05
	基準値適否※ 最大許容濃度：0.5ppm		○	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	○	○
	塩素(定量下限値：0.05ppm)	側面	-	<0.05	-	-	-	-	-	-	<0.05	-	-	<0.05	-	<0.05	<0.05
	基準値適否※ 最大許容濃度：0.5ppm		-	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	○	○

※公益財団法人日本産業衛生学会韓国の2023年度の核物質の許容濃度を基準とした

※全炭化水素は、大気汚染防止法の揮発性有機化合物の測定方法で測定しており、対象施設では排出口において400ppm～6000ppmといった基準が決められている。今回の作業は、この基準が適用される作業ではなく、排出口での測定でもないため基準なしとした。

出所：環境管理センター

### ⑦ 塩水放電後の排水分析

塩水放電後の浸漬水にどのような物質がどの程度含有されているのかを確認するため、LLタイプの塩水放電を行った排水について水質汚濁防止法に規定される「排水基準を定める省令」に準じた49項目の分析を実施した。

LLの塩水放電後の排水分析結果を表2-9に示す。

銅・亜鉛・燐・鉛・浮遊物質などは環境中に排出できない濃度であるが、有害金属等の人の健康に関する項目では特に基準を超えるものではなく、水酸化物沈殿処理など、一般的な水処理で浄化可能な水質であった。

ただし、ガス分析結果と同様にn=1での試験結果によるものであり、LiBの状態によって排水に含まれる物質の濃度が変化することを考慮しておく必要がある。

表 2-9.LL の塩水放電後の排水分析結果

分析項目	単位	環境省 一般排出基準	LL	分析方法
水素イオン濃度 [pH]		5.8-8.6	7.2	JISK0102の12.1 (ガラス電極法) [at25°C]
生物化学的酸素要求量 [BOD]	mg/L	160	46	JISK0102の21(DOはJISK0102の32.3)
化学的酸素要求量 [COD]	mg/L	160	100	JISK0102の17
浮遊物質 [SS]	mg/L	200	450	昭和46年環境庁告示第59号付表9
ノルマヘキサン抽出物質含有量 (鉱油類含有量)	mg/L	5	<1	JISK0102の24及びK0102の附属書1のIIの1
ノルマヘキサン抽出物質含有量 (動植物油類含有量)	mg/L	30	<1	JISK0102の24及びK0102の附属書1のIIの2
フェノール類含有量	mg/L	5.00	<0.05	JISK0102の28.1.2
銅含有量	mg/L	3	67	JISK0102の52.5
亜鉛含有量	mg/L	2	48	JISK0102の53.4
溶解性鉄含有量	mg/L	10	<0.1	JISK0102の57.4備考12
クロム含有量	mg/L	2	0.05	JISK0102の65.1.5
大腸菌群数	個/mc3	3000		昭和37年厚生省・建設省令第1号
窒素含有量	mg/L	120	1.4	JISK0102の45.2
炭含有量	mg/L	16	6.6	JISK0102の46.3.2
カドミウム及びその化合物	mg/L	0.1	<0.001	JISK0102の55.4
シアン化合物	mg/L	1	<0.1	JISK0102の38.1.2及び38.3
有機燐化合物	mg/L	1		昭和49年環境庁告示第64号付表1
鉛及びその化合物	mg/L	0.100	0.120	JISK0102の54.4
六価クロム化合物	mg/L	0.5	<0.02	JISK0102の65.2.5
砒素及びその化合物	mg/L	0.1	<0.005	JISK0102の61.4
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化	mg/L	0.005	<0.0005	昭和46年環境庁告示第59号付表2
アルキル水銀化合物	mg/L	検出されないこと		昭和46年環境庁告示第59号付表3
ポリ塩化ビフェニル[PCB]	mg/L	0.003	<0.0005	昭和46年環境庁告示第59号付表4
トリクロロエチレン	mg/L	0.3	<0.0005	JISK0125の5.2.2
テトラクロロエチレン	mg/L	0.1	<0.0005	JISK0125の5.2.2
ジクロロメタン	mg/L	0.2	<0.002	JISK0125の5.2.2
四塩化炭素	mg/L	0.02	<0.0002	JISK0125の5.2.2
1, 2-ジクロロエタン	mg/L	0.04	<0.0004	JISK0125の5.2.2
1, 1-ジクロロエチレン	mg/L	0.2	<0.002	JISK0125の5.2.2
シス-1, 2-ジクロロエチレン	mg/L	0.4	<0.004	JISK0125の5.2.2
1, 1, 1-トリクロロエタン	mg/L	3	<0.0005	JISK0125の5.2.2
1, 1, 2-トリクロロエタン	mg/L	0.06	<0.0006	JISK0125の5.2.2
1, 3-ジクロロプロペン	mg/L	0.02	<0.0002	JISK0125の5.2.2
チウラム	mg/L	0.06	<0.0006	昭和46年環境庁告示第59号付表5
シマジン	mg/L	0.03	<0.0003	昭和46年環境庁告示第59号付表6の第1
チオベンカルブ	mg/L	0.06	<0.002	昭和46年環境庁告示第59号付表6の第1
ベンゼン	mg/L	0.100	0.002	JISK0125の5.2.2
セレン及びその化合物	mg/L	0.1	<0.002	JISK0102の67.4
ほう素及びその化合物	mg/L	10	0.3	JISK0102の47.4
ふっ素及びその化合物	mg/L	8.0		JISK0102の34.1
1, 4-ジオキサソ	mg/L	0.5	0.040	昭和46年環境庁告示第59号付表8
アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び酸化合物	mg/L	100	1.0	JISK0102の43.2.1に準ずる
溶解性マンガン	mg/L	10	0.42	JISK0102の56.4備考8
全鉄	mg/L	なし	73.5	JISK0102の57.4
マンガン及びその化合物	mg/L	なし	0.54	JISK0102の56.5に準ずる
ニッケル	mg/L	なし	1.2	平成15年10月10日健水発第1010001号別添方法4
アルミニウム及びその化合物	mg/L	なし	37	平成15年厚生労働省告示第261号別表第6
リチウム	mg/L	なし	0	分ず析る化学便覧改訂六版5.1.1aに準
コバルト	mg/L	なし	0.05	JISK0102の60.4

出所：一般財団法人 北海道薬剤師会公衆衛生検査センター

## (2) マテックでの LL の塩水放電 (0.5%濃度)

### ① 塩水放電

1%濃度の塩水放電では、塩水投入完了後約7分から白煙が発生した。その際の発生ガス測定結果は人体に影響のない値であったものの、さらに反応が急激になれば、塩水放電時の発火等の危険性も考えられる。緩やかな反応とするため、浸漬水の塩水濃度0.5%を最大として、0.1%ずつ塩水濃度を上昇させる塩水放電試験を実施した。

試験の実施方法詳細は以下である。厳密には0.1%ずつ塩分濃度上昇にはならないが、最終的に0.5%塩分濃度になるように操作を行った。

1. 塩水放電用の容器に500L水を入れる (LiBが水没するように底面積を調整する)。
2. LiBを塩水放電用の容器に投入する。
3. 3%NaCl溶液を100L調製する。
4. 3%塩水をまずは20L入れ良く攪拌する (NaClとして0.6kg)。
5. 容器内の4隅の電気伝導率を測定し、塩水の均一化を確認 (図2-15)。
6. 15分程度静置し反応がなければ20L追加する (激しく反応した場合は静置し、反応が収まるまで待ったのち、追加する)。
7. 4~6を繰り返す
8. 3%NaCl溶液を100L入れたところで0.5%濃度となる。

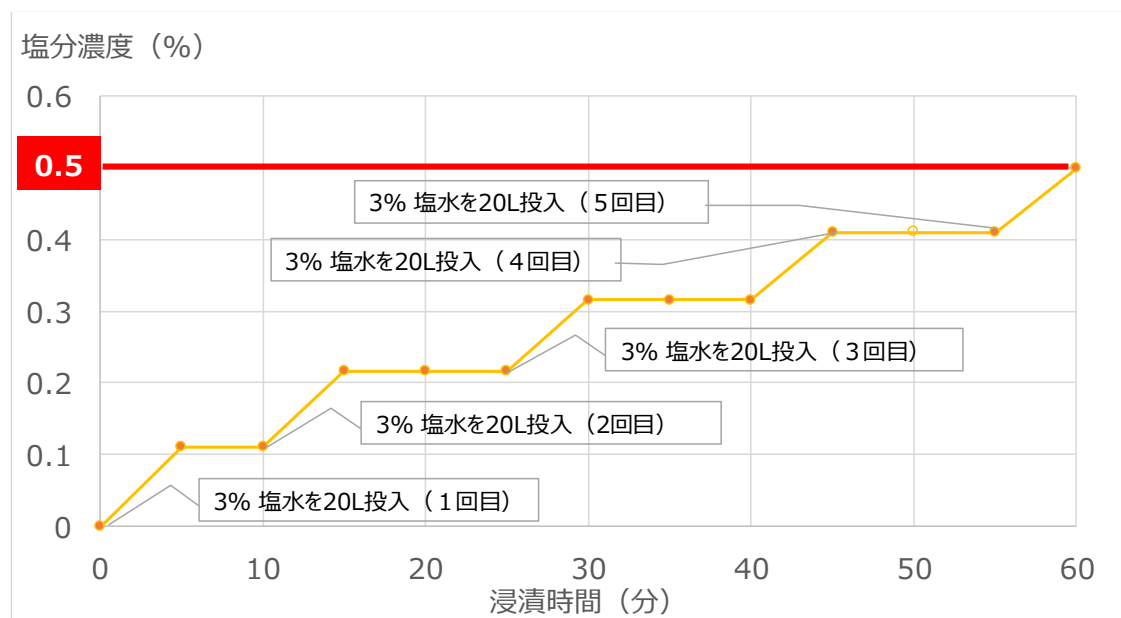


図 2-13. 塩分濃度と浸漬時間との関係

出所：マテック

塩水放電時の様子 (LL、0.5%濃度) を図 2-14 に示す。白煙は 0.3% (60L 投入時) まで、ほとんど発生しなかった。0.4% (80L 投入後)、発生する気泡に白煙が混じり始め、ラミネートパックの開裂が起こったと考えられる。白煙の増加がみられなかったため、さらに 20L 追加し、0.5%塩水とした。

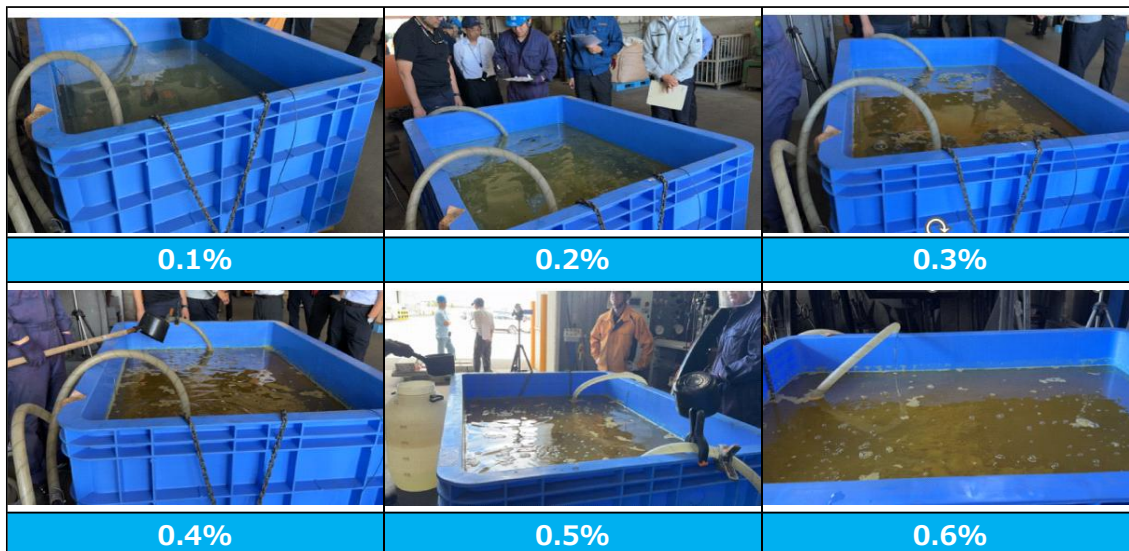


図 2-14. 塩水放電時の様子 (LL、0.5%濃度)

出所：マテック



図 2-15. 塩水継ぎ足しごとに四隅の電気伝導度を測定

出所：マテック

## ② 失活確認

一般的に、塩水を使った放電はガスの発生を伴いながら進行していく。特に放電開始直後はガス発生量が多く、放電が進行するにつれて発生量は減少していく。ガスの発生量を観察することで、放電の進捗状況を大まかに推測できる。放電が十分に進行し LiB が引き上げ可能か判断するため、10 分間浸漬時の状況を撮影し、気泡の発生の状況を確認した（図 2-16）。10 分間に 6 回、スリットからの気泡を確認したが、気泡の発生量は少なく、十分失活できていると判断し、3 日間で浸漬を終了した。

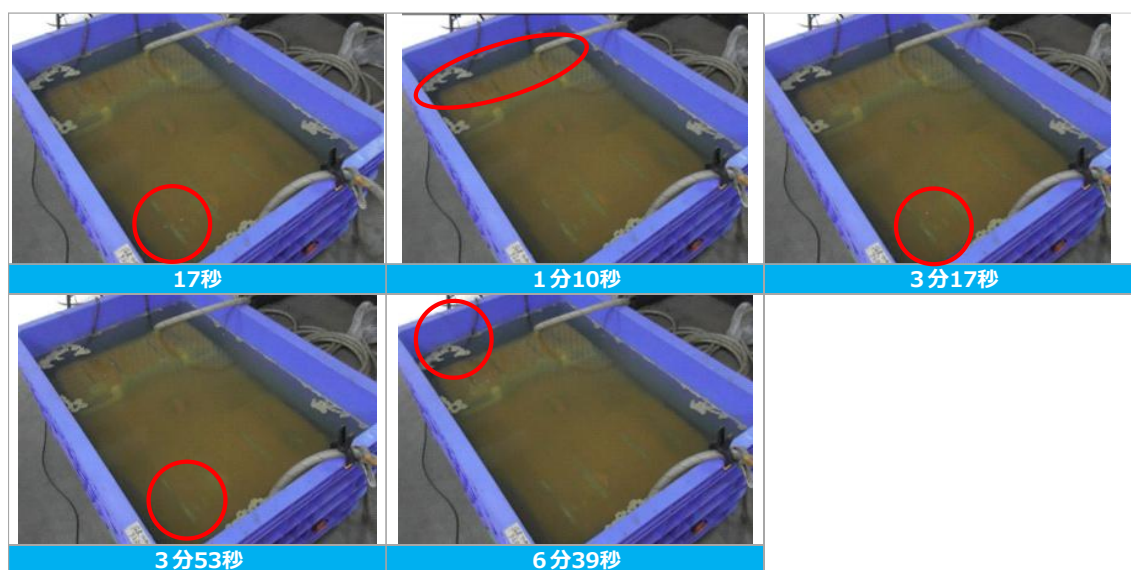


図 2-16.10 分間気泡確認の様子（LL、0.5%濃度）

出所：マテック

塩水放電を実施した LiB は、電圧計測、塩水の水洗い・乾燥のためにアッパーカバーを取り外した。塩水からの引き上げ後、アッパーカバー取り外し後の LiB の様子（1%濃度、0.5%濃度比較）を図 2-17 に示す。1%濃度での塩水放電時のアッパーカバーは黒色の煤のようなものが付着していたが、0.5%濃度での塩水放電時には特に認められなかった。0.5%濃度では発火等の激しい反応を抑えて、穏やかに放電できたと考えられる。



図 2-17.塩水からの引き上げ後、アッパーカバー取り外し後の LiB の様子（1%濃度、0.5%濃度比較）

出所：マテック

・電圧測定

電圧測定箇所(図 2-11 再掲)を図 2-18 に、塩水放電 3 日後の LL の電圧測定結果(0.5% 及び 1%塩水濃度比較)を表 2-10 に示す。総プラスで 1.2~1.4V 程度、各モジュール計測では 1V 以下であり、セル単位で 1V 以下と計算されるため、失活していると判断した。

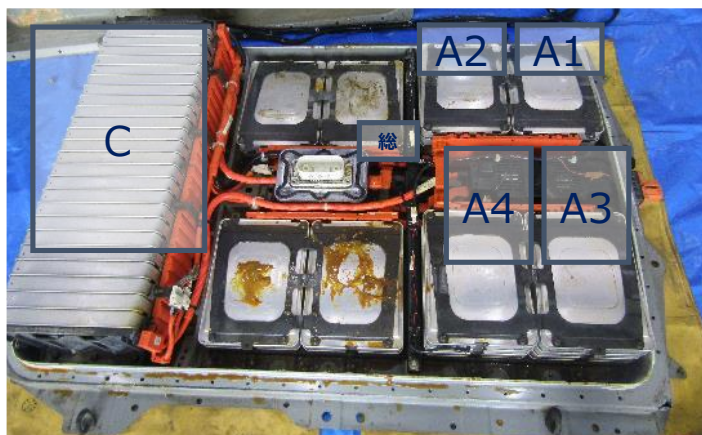


図 2-18.電圧測定箇所(図 2-11 再掲)

出所：マテック

表 2-10.塩水放電 3 日後の LL の電圧測定結果(0.5%及び 1%塩水濃度比較)

全体					V
総プラス-総マイナス(サービスプラグなし)					1.23
					1.42
総プラス-総マイナス(サービスプラグあり)					1.44
					1.46
	A1	A2	A3	A4	C
ブスバー全体(V)	0.037		0.022		1.32
	0.013		0.01		0.66
各モジュール(V)	0.010	0.007	0.002	0.012	-
	0.002	0.000	0.004	0.003	
	0.003	0.001	0.002	0.000	
	0.000	0.000	0.001	0.000	
	0.002	0.001	0.000	0.000	
	0.000	0.000	0.000	0.000	
	0.004	0.007	0.001	0.003	
	0.009	0.001	0.004	0.002	

※赤字が1%濃度の塩水放電時の失活確認時の数値、黒字が0.5%濃度での数値

出所：マテック

## 2.2.2. 塩水放電（全国の2～3 解体事業者での実施）

本事業では、異常電池が発生した際に、全国どこの解体事業者においても安全に失活処理ができる方法を提示することを目指している。そのため、マテックで実施した塩水放電の結果を活用しながら他の事業者向けの塩水放電のマニュアルを作成し、それをもとに全国の解体事業者2～3社で、問題なく塩水放電が実施可能か確認を行った。

協力解体事業者3社を表2-11に示す。全国ブロックでの異常電池処理を想定し、関東、九州、中部の各地区から（株）エコアール、西日本オートリサイクル（株）、（株）テラダパーツに協力いただくこととなった。エコアールは2025年9月、西日本オートリサイクルは同年11月、テラダパーツは2026年1月に試験を実施した。

表 2-11. 協力解体事業者3社

事業者名	所在地
（株）エコアール	栃木県足利市
西日本オートリサイクル（株）	福岡県北九州市
（株）テラダパーツ	愛知県半田市

出所：矢野経済研究所

## (1) エコアール

### ① 使用 LiB

塩水放電で使用する LiB (L) について、異常電池を疑似的に作り出すことは難しいため、通常の非損傷電池で試験を実施した。比較的手配しやすいアウトランダーPHEV の電池を選定した。選定した L の LiB を表 2-12 に示す。

表 2-12.L の LiB (エコアール試験)

L	
車種	アウトランダーPHEV (12kWh)
写真	
セル個数	80セル (10モジュール)
接続方式	直列
電圧/総電圧	300V
容量	40.5Ah
総電力量	13.8kWh
重量	—

出所：各種資料から矢野経済研究所作成

## ② 事前準備

### ・ 穴開け加工

アウトランダーPHEVのLiBは、アッパーカバーを取り外しやすい構造であるが、実証では厳しい条件で行うため、あえてアッパーカバーを付けた状態で塩水放電を実施することとした。そのため、塩水がLiB内部に循環するように、アッパーカバーの一部に穴開けを行った（図 2-19）。



図 2-19.LiB への穴あけ加工（エコアール試験）

出所：エコアール

### ・ ポンプ／攪拌用機器作成

アッパーカバーを付けた状態では、穴あけ加工を行った場合でも、パック内部にうまく塩水が循環（拡散）しないことが危惧される。そのため、パック内部に塩水を循環させる方法が必要となる（図 2-20）。



図 2-20.ポンプおよび攪拌用機器（エコアール試験）

出所：エコアール

ポンプおよび攪拌用機器を図 2-20 に示す。ポンプの吐出側のチューブ先端に、LiB 筐体の穴に合うサイズのノズルを取り付け、内部に塩水を導入できるようにした。なおこのポンプは日産 LEAF のウォーターポンプを活用してエコアールが作製した。

そのほか、マテックにおいては塩水の攪拌をひしゃくを用いて行っていたが、エコアールでは市販のスクリューを活用して攪拌を実施した。

## ・実施場所

塩水放電実施場所を図 2-21 に示す。先述したように、LiB を塩水放電する際には、様々なガスが発生する。そのため、安全面を考慮し塩水放電の実施場所は、屋根のある屋外が望ましい。今回は適切な屋根のある屋外がなかったため、雨水の混入に注意しながら、屋外で実施することとした。



図 2-21.塩水放電実施場所（エコアール試験）

出所：エコアール

## ・使用器具（水槽）

塩水放電を行うために、Lタイプの電池を浸漬可能な容器を用意した。なおエコアールではL以上の大型のLiBにも対応可能なように、大型の容器を製作している（図 2-22）。この容器は内部に仕切りを入れることで、水槽を小さく使用することもできる。

水を入れて利用する際は、水漏れ防止策として中にブルーシートを設置して使用した。



図 2-22.塩水放電用の水槽と LiB 設置状況（エコアール試験）

出所：エコアール

## ・塩水濃度・時間

塩水放電時の様子（L、0.25%、0.5%濃度）を図 2-23 に示す。マテックでの実施結果から、1%濃度では急速な反応が起こることも考慮し、0.5%を最大塩水濃度として、まずは0.25%濃度で放電したのち、0.5%まで塩水濃度を上昇させることとした。

0.25%での放電時に水面にわずかに白い煙が気泡とともに確認されることもあったが、概ね穏やかな反応であった。0.5%でも穏やかな反応であった。

0.5%濃度での塩水放電の場合は、3日間の放電を想定しているが、今回は24時間後に1回引き上げて失活状況を確認し、再度2日間塩水放電を実施し、最終失活確認を行った。

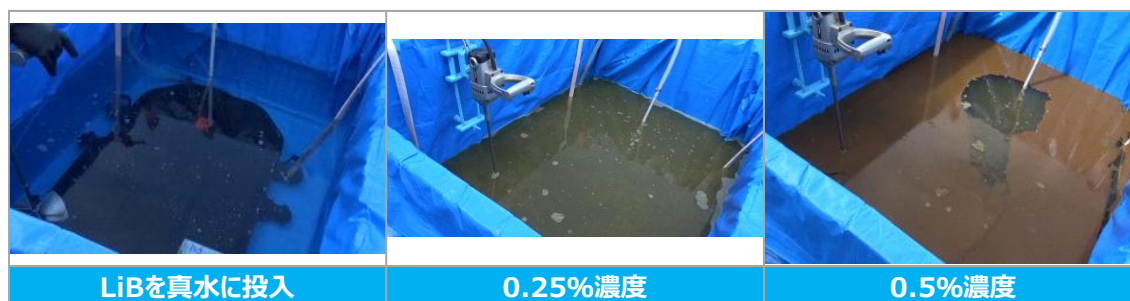


図 2-23. 塩水放電時の様子（L、0.25%、0.5%濃度）（エコアール試験）

出所：エコアール

### ③ 失活確認

#### ・引き上げ、水洗い、水気飛ばし

24 時間後の LiB の様子 (L、0.5%濃度) を図 2-24 に示す。気泡の発生ほぼなく、十分失活できていると判断し、引き上げを行った。

塩水放電を実施した LiB は、電圧計測、塩水の水洗い・乾燥のためにアップパーカバーを取り外した。洗浄作業を図 2-25 に示す。



図 2-24.24 時間後の LiB の様子 (L、0.5%濃度) (エコアール試験)

出所：エコアール



図 2-25.洗浄作業の様子 (L、0.5%濃度) (エコアール試験)

出所：エコアール

・電圧測定

電圧測定箇所を図 2-26 に、塩水放電 24 時間、4 日後の電圧測定結果を表 2-13 に示す。  
24 時間後の時点で 1 セル当たり 1V 以下となっており、失活を確認した。

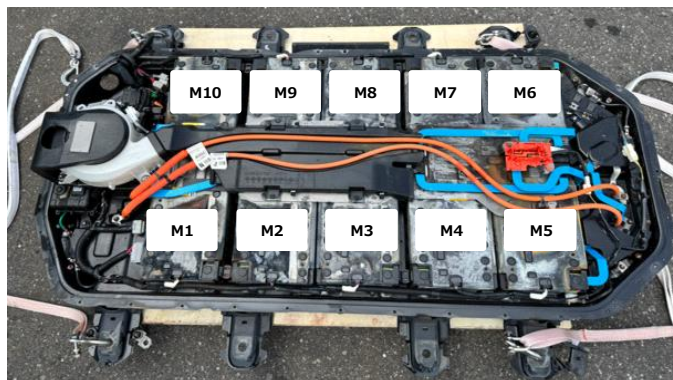


図 2-26.電圧測定箇所（エコアール試験）

出所：エコアール

表 2-13.塩水放電 24 時間、4 日後の電圧測定結果（エコアール試験）

単位 (V)

項目	24h後		4日後	
	モジュール	1セル	モジュール	1セル
M1	2.04	0.26	2.42	0.30
M2	0.13	0.02	0.67	0.08
M3	0.38	0.05	1.37	0.17
M4	0.22	0.03	1.15	0.14
M5	0.54	0.07	2.40	0.30
M6	1.18	0.15	0.68	0.09
M7	0.11	0.01	0.78	0.10
M8	0.27	0.03	1.30	0.16
M9	0.20	0.03	0.53	0.07
M10	0.26	0.03	0.39	0.05

※ 1モジュール8セル

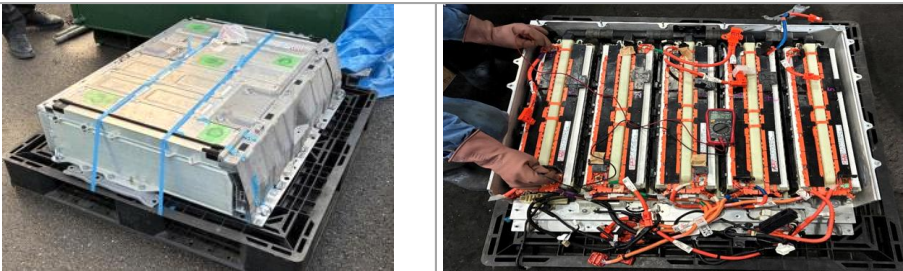
出所：エコアール

## (2) 西日本オートリサイクル

### ① 使用 LiB

塩水放電で使用する LiB (L) について、異常電池を疑似的に作り出すことは難しいため、通常の非損傷電池で試験を実施した。比較的手配しやすいプリウス PHV (型式: ZVW52) の電池を利用した。L の LiB を表 2-14 に示す。

表 2-14.L の LiB (西日本オートリサイクル試験)

L	
車種	プリウスPHV (型式: ZVW52) (8.8kWh)
写真	
セル个数	95セル (5モジュール)
接続方式	—
電圧/総電圧	351.5V
容量	25Ah
総電力量	8.8kWh
重量	—

出所: 各種資料から矢野経済研究所作成

## ② 事前準備

### ・ 穴開け加工

プリウス PHV の LiB は、アッパーカバーを取り外しやすい構造であるが、実証では厳しい条件で行うため、あえてアッパーカバーを付けた状態で塩水放電を実施することとした。そのため、塩水が LiB 内部に循環するように、アッパーカバーの一部に穴開けを行った。なお穴あけ加工方法は、1 度アッパーカバーを外し、アッパーカバーだけの状態でホールソーで穴開けをして、再度アッパーカバーを付けた。LiB への穴あけ加工（西日本オートリサイクル試験）を図 2-27 に示す。

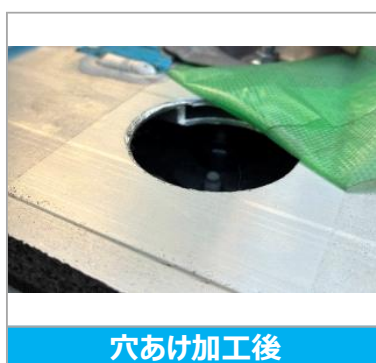


図 2-27.LiB への穴あけ加工（西日本オートリサイクル試験）

出所：西日本オートリサイクル

### ・ ポンプ／攪拌用機器作成

アッパーカバーを付けた状態では、穴あけ加工を行った場合でも、パック内部にうまく塩水が循環（拡散）しないことが危惧される。そのため、パック内部に塩水を循環させる方法が必要となる。



図 2-28.ポンプおよび攪拌用機器（西日本オートリサイクル試験）

出所：西日本オートリサイクル

ポンプおよび攪拌用機器（西日本オートリサイクル試験）を図 2-28 に示す。ポンプの吐出側のチューブ先端に、LiB 筐体の穴に合うサイズのノズルを取り付け、内部に塩水を導入できるようにした。

LiB へのポンプの設置方法（西日本オートリサイクル試験）を図 2-29 に示す。ポンプは西日本オートリサイクルが所有していた一般的な小型底水用ポンプを水槽の角に設置し使用した。

そのほか、マテックにおいては塩水の攪拌をひしゃくを用いて行っていたが、西日本オートリサイクルでは船舶用の小型スクリューを活用して攪拌した。



図 2-29.LiB へのポンプの設置方法（西日本オートリサイクル試験）

出所：西日本オートリサイクル

#### ・実施場所

塩水放電実施場所を図 2-30 に示す。LiB を塩水放電する際には、様々なガスが発生する。そのため、安全面を考慮し塩水放電の実施場所は、屋根のある屋外が望ましい。今回は適切な屋根のある屋外がなかったため、雨水の混入に注意しながら、屋外で実施することとした。



図 2-30.塩水放電実施場所（西日本オートリサイクル試験）

出所：西日本オートリサイクル

#### ・ 使用器具（水槽）

塩水放電を行うために、Lタイプの電池を浸漬が可能な容器を用意した。塩水放電用の水槽とLiB設置状況（西日本オートリサイクル試験）を図 2-31 に示す。

水を入れて利用する際は、水漏れ防止策として中にシートを設置して使用した。



図 2-31.塩水放電用の水槽とLiB設置状況（西日本オートリサイクル試験）

出所：西日本オートリサイクル

#### ・ 塩水濃度・時間

エコアール試験時に、0.5%濃度の塩水作成の計算が分かりにくいという指摘があった。そのため、西日本オートリサイクルからは塩水作成早見表を作成し、それをもとに塩水濃度

の計算をしてもらった。塩水作成早見表については詳しくは(4)3 社の結果から把握したマニュアルに反映すべき内容で記載する。

水槽の水量 750L に対して、塩水放電作成用の水 40L を用意し、そこに 4.0kg の塩を溶かして塩水を作成した。塩水放電時の様子 (L、0.25%、0.5%濃度) (西日本オートリサイクル試験) を図 2-32 に示す。0.5%を最大塩水濃度として、まずは 0.25%濃度となるように塩水の 22L を投入し、10 分程度放電したのち、残りの塩水 22L を投入し 0.5%まで塩水濃度を上昇させた。激しい反応などは発生せず、問題なく完了した。

0.5%濃度での塩水放電の場合は、3 日間の放電を想定しているが、今回は 24 時間後に 1 回引き上げて失活状況を確認し、再度 2 日間塩水放電を実施し、最終失活確認を行った。

本試験において、LiB の塩水放電時を最も厳しい条件で行うため、反応を最大化するための事前充電は行っていない。過去の塩水放電と比較してもかなり緩やかな反応であったのは、LiB の SOC がかなり低い状態であったのではないかと推測される。



図 2-32. 塩水放電時の様子 (L、0.25%、0.5%濃度) (西日本オートリサイクル試験)

出所：西日本オートリサイクル

### ③ 失活確認

#### ・引き上げ、水洗い、水気飛ばし

24 時間後の LiB の様子 (L、0.5%濃度) (西日本オートリサイクル試験) を図 2-33 に示す。気泡の発生ほぼなく、十分失活できていると判断し、引き上げを行った。

塩水放電を実施した LiB は、電圧計測、塩水の水洗い・乾燥のためにアップカバーを取り外した。洗浄作業の様子 (L、0.5%濃度) (西日本オートリサイクル試験) を図 2-34 に示す。



図 2-33.24 時間後の LiB の様子 (L、0.5%濃度) (西日本オートリサイクル試験)

出所：西日本オートリサイクル



図 2-34.洗浄作業の様子 (L、0.5%濃度) (西日本オートリサイクル試験)

出所：西日本オートリサイクル

## ・電圧測定

電圧測定箇所（西日本オートリサイクル試験）を図 2-35 に、塩水放電 24 時間、3 日後、4 日後の電圧測定結果（西日本オートリサイクル試験）を表 2-15 に示す。24 時間後の時点で 1 セル当たり 1V 以下となっており、失活を確認した。

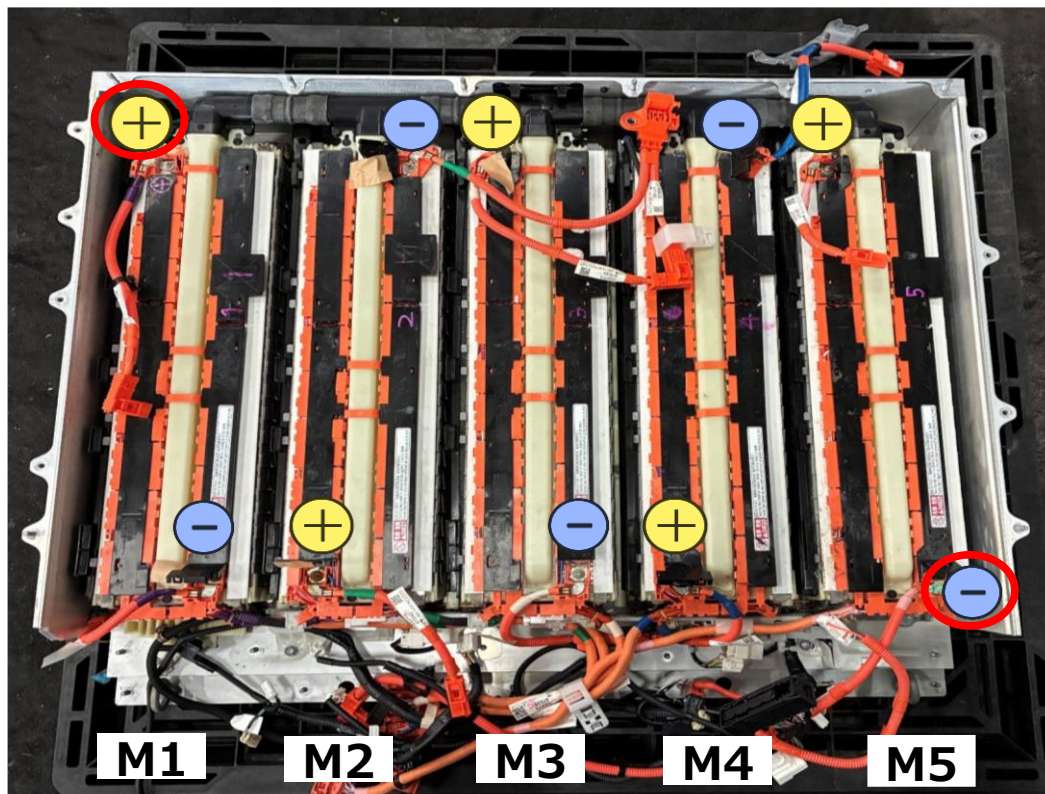


図 2-35.電圧測定箇所（西日本オートリサイクル試験）

出所：西日本オートリサイクル

表 2-15.塩水放電 24 時間、3 日後、4 日後の電圧測定結果（西日本オートリサイクル試験）

単位 (V)

測定日 モジュールNo.	24h後		3日後		4日後	
	モジュール	セル	モジュール	セル	モジュール	セル
M1	4.00	0.21	9.94	0.52	10.43	0.55
M2	2.06	0.11	5.06	0.27	5.74	0.30
M3	1.88	0.10	4.65	0.24	4.96	0.26
M4	2.10	0.11	4.89	0.26	5.17	0.27
M5	4.16	0.22	10.01	0.53	10.47	0.55
Total	14.20	0.75	34.55	1.82	36.77	1.94

※ 1 モジュール19セル

出所：西日本オートリサイクル



### (3) テラダパーツ

#### ① 使用LiB

塩水放電で使用するLiB(L)について、異常電池を疑似的に作り出すことは難しいため、通常の非損傷電池で試験を実施した。マテック、エコアール、西日本オートリサイクルでは現状、ELVとして流通量の多いLiBを手配したが、テラダパーツでは今後流通量が増えていくであろう車種のLiBを選定した。選定したLのLiB(テラダパーツ試験)を表2-16に示す。

エコアール、西日本オートリサイクル試験ではLiBの塩水放電時の反応を最大化するための事前充電は行わず、入手した際の電圧で塩水放電を実施した。満充電時のLiBを塩水放電すると、電池残量の少ないLiBと比べて化学反応が活発化する怖れがある。テラダパーツにおいては、ハイリスクな状態での挙動確認のため、事前充電を実施しSOC100%になるように調整を行った。

表 2-16.LのLiB (テラダパーツ試験)

	L	
車種	トヨタ RAV4 PHEV (型式: AXAP54)	
写真		
セル个数	96セル (4モジュール)	
接続方式	直列	
電圧/総電圧	355.2V	
容量	50Ah	
総電力量	18.1kWh	
重量	-	

出所：各種資料から矢野経済研究所作成

## ② 事前準備

### ・ 穴開け加工

RAV4 の LiB は、アッパーカバーを取り外しやすい構造である。先述したように SOC を 100% に調整するために事前にアッパーカバーを取り外して充電を行っていたため、今回は取り外した状態で塩水放電を実施することとして、穴あけ加工等を行わなかった。

### ・ ポンプ／攪拌用機器作成

アッパーカバーを取り外した状態での塩水放電を実施したが、人力を介さずとも塩水が水槽内を循環できるように、水循環用ポンプ、攪拌用機器を利用した。

ポンプおよび攪拌用機器を図 2-36 に示す。ポンプの吐出側のチューブ先端に、LiB 筐体の穴に合うサイズのノズルを取り付け、内部に塩水を導入できるようにした。LiB へのポンプの設置方法（テラダパーツ試験）を図 2-37 に示す。ポンプは一般的な水中ポンプを水槽の角に設置し使用した。

そのほか、塩水の攪拌用としてひしゃくや、ペイントミキサーを用いた。この攪拌用機器は塗料等の攪拌に用いられる工具である。



図 2-36.ポンプおよび攪拌用機器

出所：テラダパーツ



図 2-37.LiB へのポンプの設置方法 (テラダパーツ試験)

出所：テラダパーツ

#### ・実施場所

塩水放電実施場所 (テラダパーツ試験) を図 2-38 に示す。LiB を塩水放電する際には、様々なガスが発生する。そのため、安全面を考慮し塩水放電の実施場所は、屋根のある屋外が望ましい。今回は適切な屋根のある屋外がなかったため、雨水の混入に注意しながら、屋外で実施することとした。



図 2-38.塩水放電実施場所 (テラダパーツ試験)

出所：テラダパーツ

## ・ 使用器具（水槽）

塩水放電を行うために、Lタイプの電池を浸漬可能な容器を用意した（図 2-39）。水を入れて利用する際は、水漏れ防止策として中にブルーシートを設置して使用した。



図 2-39.塩水放電用の水槽と LiB 設置状況（テラダパーツ試験）

出所：テラダパーツ

## ・ 塩水濃度・時間

西日本オートリサイクルでの試験と同様に、塩水作成早見表をもとに塩水濃度を計算してもらった。また、中間報告時に、塩水放電時には LiB の発熱量を考慮し、必要最低水量を確認したほうが良いという意見を反映し、適正な水量の確認も実施した。詳しくは(4)3社の結果から把握したマニュアルに反映すべき内容で記載する。

水槽の水量 1200L に対して、塩水放電作成用の水 75L を用意し、そこに 6.4kg の塩を溶かして塩水を作成した。塩水放電時の様子（L、0.25%、0.5%濃度）（テラダパーツ試験）を図 2-40 に示す。0.5%を最大塩水濃度として、まずは 0.25%濃度となるように塩水の 40.7L を投入し、10 分程度放電したのち、残りの塩水 40.7L を投入し 0.5%まで塩水濃度を上昇させた。激しい反応などは発生せず、問題なく完了した。

0.5%濃度での塩水放電の場合は、3 日間の放電を想定しているが、今回は 24 時間後に 1 回引き上げて失活状況を確認し、再度 2 日間塩水放電を実施し、最終失活確認を行った。



図 2-40. 塩水放電時の様子（L、0.25%、0.5%濃度）（テラダパーツ試験）

出所：テラダパーツ

### ③ 失活確認

#### ・引き上げ、水洗い、水気飛ばし

24 時間後の LiB の様子 (L、0.5%濃度) (テラダパーツ試験) 図 2-41 を図 2-24 に示す。気泡の発生ほぼなく、十分失活できていると判断し、引き上げを行った。洗浄作業の様子 (L、0.5%濃度) (テラダパーツ試験) を図 2-42 に示す。



図 2-41.24 時間後の LiB の様子 (L、0.5%濃度) (テラダパーツ試験)  
出所：テラダパーツ



図 2-42.洗浄作業の様子 (L、0.5%濃度) (テラダパーツ試験)  
出所：テラダパーツ

## ・電圧測定

電圧測定箇所（テラダパーツ試験）を図 2-43 に、塩水放電 24 時間、4 日後の電圧測定結果（テラダパーツ試験）を表 2-17 に示す。24 時間後の時点で 1 セル当たり 1V 以下となっており、失活を確認した。

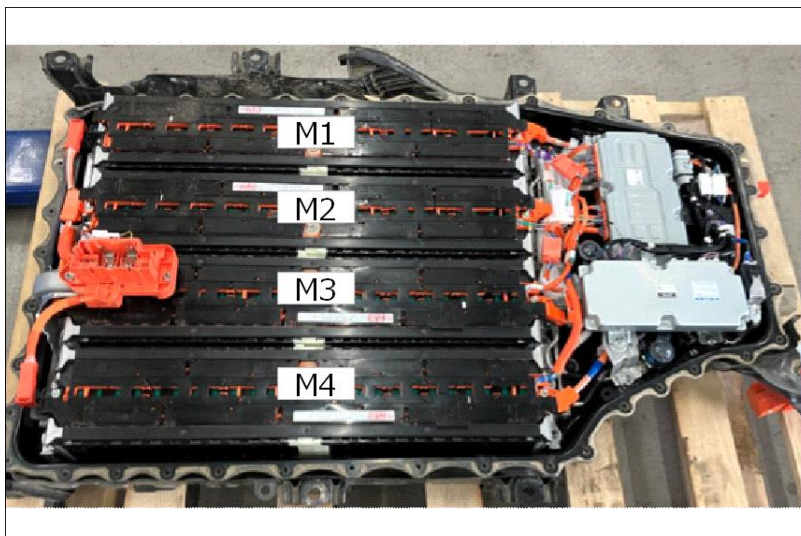


図 2-43.電圧測定箇所（テラダパーツ試験）

出所：テラダパーツ

表 2-17.塩水放電 24 時間、4 日後の電圧測定結果（テラダパーツ試験）

単位 (V)

測定日 ジュールNo.	24h後		4日後	
	モジュール	セル	モジュール	セル
M1	0.41	0.02	3.38	0.14
M2	0.36	0.02	0.82	0.03
M3	0.02	0.00	0.30	0.01
M4	4.01	0.17	2.03	0.08
Total	4.80	0.20	36.77	1.53

※ 1 モジュール24セル

出所：テラダパーツ

#### (4) 3社の結果から把握したマニュアルに反映すべき内容

##### ① 塩水作成早見表

塩水放電方法概要を図 2-44 に示す。エコアール、西日本オートリサイクル、テラダパーツでの塩水放電時には、塩水放電方法概要等をもとに作業を実施してもらった。

エコアール塩水放電時に出た意見として、0.5%をどのように計算したらよいか、分かりにくいという意見が出ていた。そのため、塩水作成早見表を作成した。

塩水作成早見表を図 2-45 に示す。まずは異常電池を完全に水没可能な量の水を水槽に用意するが、水槽の水量を縦、横、水位の高さから計算する(①)。例示の水槽の場合では440Lが水槽に入れる適量という計算となる。440Lの水槽の水量の場合、塩水放電用の水量は25Lであり、そこに2.3kgの塩を加えることで、塩水を作成する。 $24L(kg) + 2.3kg = 26.3kg$ であり、まずはその半量である13.15kgの塩水を水槽に投入することで水槽の塩水濃度が0.25%となる。残りの半量である13.15kgの塩水を水槽に投入することで水槽の塩水濃度が0.5%となる。

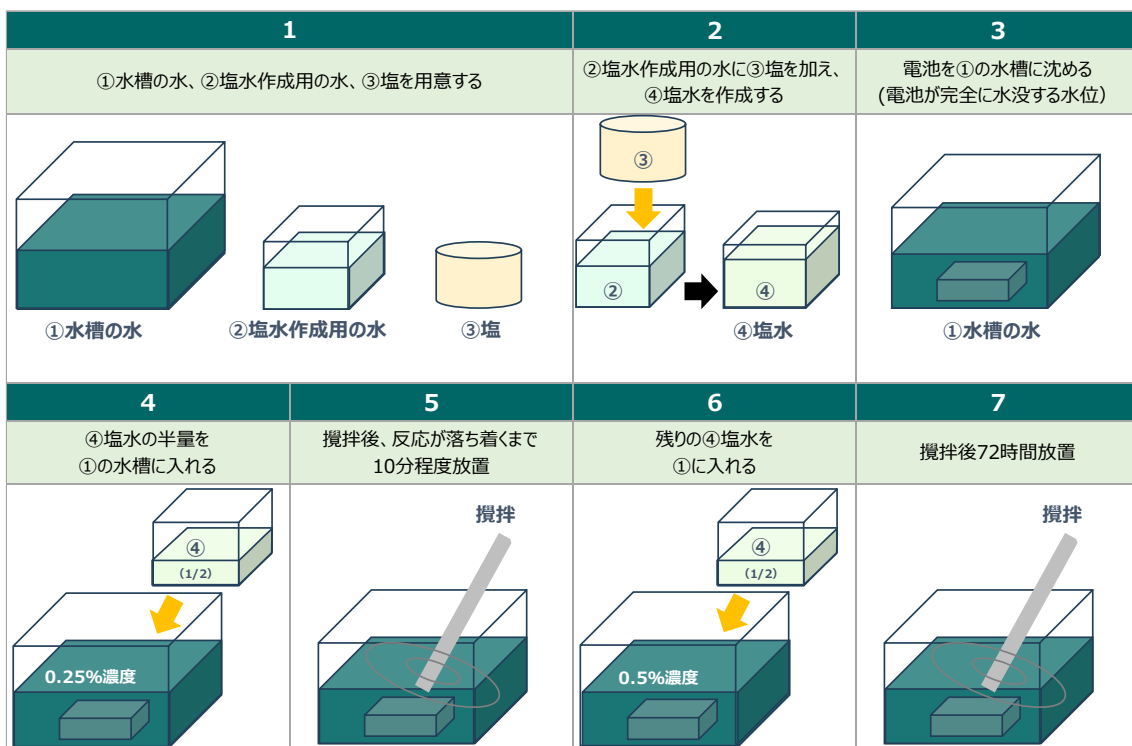
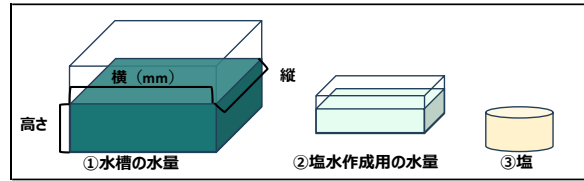


図 2-44.塩水放電方法概要

出所：矢野経済研究所

【1】水槽に入れた水量計算

縦 (mm)	800
横 (mm)	800
高さ (mm)	700
①水槽の水量 (L≒kg) 1桁切り捨て 計算式：縦×横×高さ (1桁切り捨て)	440



【2】①水槽の水量、②塩水作成用の水量、③塩量の関係 (一覧表)

①水槽の水量 (L≒kg)		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
②塩水作成用の水量 (L≒kg)		5										10
③塩 (kg) 計算式： $(0.005 \times (① + ②)) \div 0.995$		0.075	0.126	0.176	0.226	0.276	0.327	0.377	0.427	0.477	0.553	0.603

①水槽の水量 (L≒kg)	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310
②塩水作成用の水量 (L≒kg)	15											20
③塩 (kg) 計算式： $(0.005 \times (① + ②)) \div 0.995$	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7

①水槽の水量 (L≒kg)	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510
②塩水作成用の水量 (L≒kg)	25											30
③塩 (kg) 計算式： $(0.005 \times (① + ②)) \div 0.995$	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7

図 2-45.塩水作成早見表

出所：矢野経済研究所

## ② 発熱量から必要最低水量の把握

中間報告時に、電池の容量に対する発熱量を把握し、必要最低水量の把握を行ったほうが良いという指摘があった。そのため、計算値の把握および、過去の塩水放電時の実際の温度上昇結果を整理し、水温上昇率を加味したうえでの必要最低水量を検討した。

電池の容量と発熱量および必要最低水量を表 2-18に示す。1kWh=860kcalであり、1kcalは1kgの水を1℃昇温させるエネルギー量である。20kWhの電池の場合、17,200kcalという計算となり、仮に水温上昇を20℃程度に抑える場合は17,200kcal ÷ 20℃=860Lの水が必要という計算となる。

表 2-18. 電池の容量と発熱量および必要最低水量

電池の公称容量 (1 kWh = 860kcal)		水温上昇を20℃程度に抑える場合の最低必要水量 (Cal÷20℃)
kWh	cal (kWh×860kcal)	L・kg
5	4,300	215
10	8,600	430
15	12,900	645
20	17,200	860
25	21,500	1,075
30	25,800	1,290
35	30,100	1,505
40	34,400	1,720
45	38,700	1,935
50	43,000	2,150
55	47,300	2,365
60	51,600	2,580
65	55,900	2,795
70	60,200	3,010
75	64,500	3,225
80	68,800	3,440
85	73,100	3,655
90	77,400	3,870
95	81,700	4,085
100	86,000	4,300

•1kcalは、1kgの水を1℃昇温させるエネルギー量

出所：矢野経済研究所

ただし、LiB に記載されている公称容量は、0V までの放電を示したのではなく 3V 程度までの値である。そのため、実際の LiB は公称容量よりも大きな値となるため、エネルギー算出した値より、実際のエネルギー量のほうが大きくなる可能性が高く、発熱量もより大きくなる。失活させる場合のエネルギー量を算出する場合、3V から 0V までの分もエネルギーを考慮すべきという指摘が当事業関係者からあった。

そのため、セルレベルでの 0V 付近までの放電時のエネルギー量を測定し、そのほか過去の塩水放電試験から、20°C 昇温を上限とすることが適切かどうか確認した。

#### ・ 0V までの放電

塩水放電時にセルから放出するエネルギーが、塩水の温度上昇に与える影響を調査するため、SOC100%に調整したセルを 0V 付近まで掃引する。電圧と電流の変化から、塩水放電時に放出される電気エネルギーを算出し、そのエネルギーがすべて熱に変換されたと仮定して、塩水に与える熱量を計算した。

電力回生式電子負荷装置（Elektro-Automatik 社製 EA-ELR91000-30） 30A と LiB を図 2-46 に示す。0V 付近までの掃引は電力回生式電子負荷装置（Elektro-Automatik 社製 EA-ELR91000-30） 30A（CC 放電）で実施した。なお使用した LiB は LEAF（ZE0）の単セルを SOC100%に調整後使用した。



図 2-46. 電力回生式電子負荷装置（Elektro-Automatik 社製 EA-ELR91000-30） 30A と LiB

出所：マテック

LEAF (ZE0) 1セルの0V付近までの掃引時の放電曲線を図 2-47 に、LEAF (ZE0) の測定電気エネルギーと定格容量比較を表 2-19、図 2-48 に示す。ZE0 単セルでの電気容量は 48.67 Ah、電気エネルギーは 160.57 Wh と測定される。1 パック換算 (192 セル) では、電気エネルギーは 30.8kWh と計算され、定格容量の 128%である。

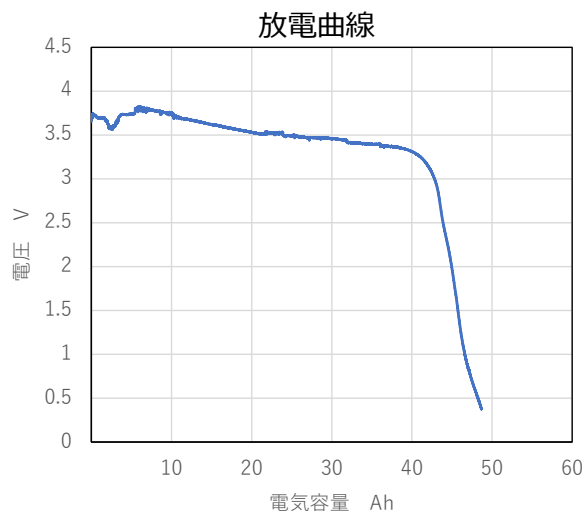


図 2-47. LEAF (ZE0) 1セルの0V付近までの掃引時の放電曲線

出所：マテック

表 2-19. LEAF (ZE0) の測定電気エネルギーと定格容量比較

LEAF ZE0	電気容量	電気エネルギー		②実測容量÷
	Ah	Wh	kWh	③定格容量
① 1セル測実測値	48.67	160.57	-	-
②1パック192セル (①×192)	9,344.64	30,829.44	<b>30.8</b>	<b>128%</b>
③LEAF ZE0 定格容量			<b>24.0</b>	-

出所：マテック

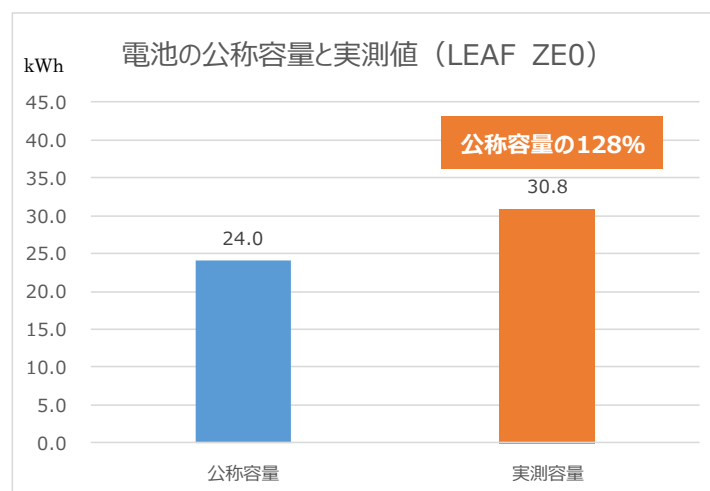


図 2-48. LEAF (ZE0) の測定電気エネルギーと定格容量比較

出所：マテック

## ・ 塩水放電試験からの温度上昇結果

マテックでの1%塩水放電時の結果（LEAF ZEO）を図 2-49 に、マテックでの0.5%塩水放電時の結果（LEAF ZEO）を図 2-50 に、1%塩水放電と0.5%塩水放電時の水量、温度上昇の実測値と計算値との比較を表 2-20 に示す。1%塩水放電（6月）では計算値の37%、0.5%塩水放電では計算値の58%と両試験とも、計算値よりも少ない温度上昇幅であった。これはすべての熱エネルギーが塩水に放出されるわけではなく、大気中への放出やバッテリー端子などの溶解、パック容器側への熱の分散などが影響している。また、6月と8月で比率が異なる要因は周囲の気温やそれに伴う水温が影響していると考えられる。そのため参考として平均値47.5%を記載している。

定格容量の61%（容量実測値128%×温度実測値47.5%）として必要最低水量を計算できるが、安全を考え定格容量で水量を計算する。

なお、0VまでのLiB放電実測値についてはLiBの構造により変化するため、定期的な見直しを実施する必要がある。

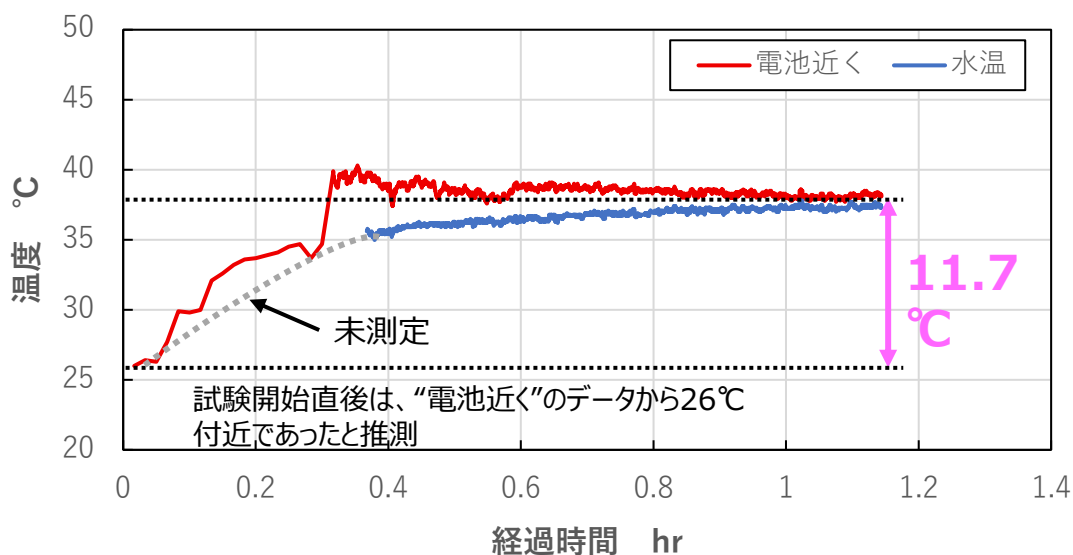


図 2-49.マテックでの1%塩水放電時の結果（LEAF ZEO）

出所：マテック

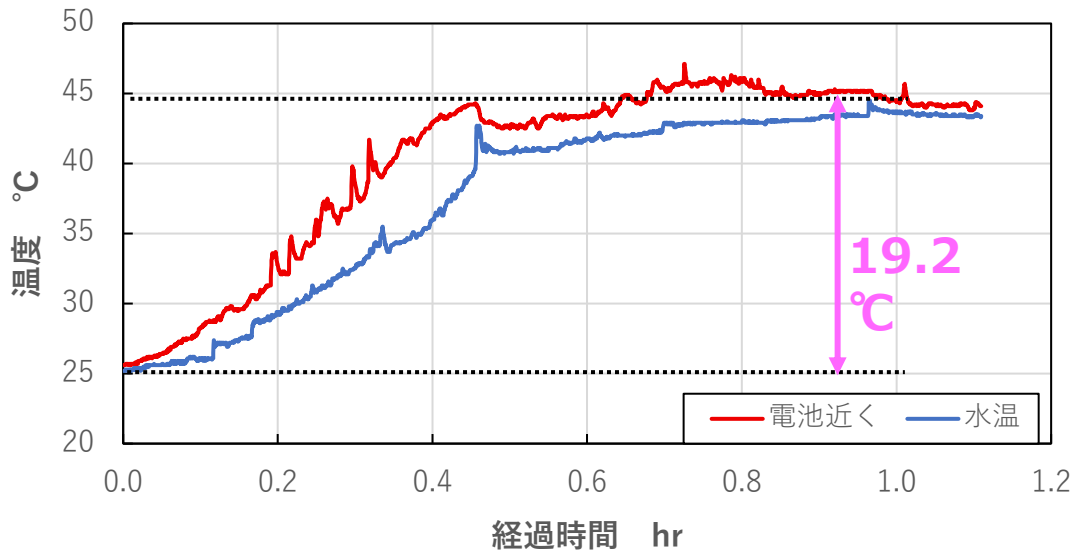


図 2-50.マテックでの 0.5%塩水放電時の結果 (LEAF ZE0)

出所：マテック

表 2-20. 1%塩水放電と 0.5%塩水放電時の水量、温度上昇の実測値と計算値との比較

	水量	水温上昇 (実測値) °C	水温上 (計算値) °C	実測値÷ 計算値
1%塩水放電 (6月)	841L	11.7	31.5	37%
0.5% 塩水放電 (8月)	800L	19.2	33.1	58%

出所：マテック

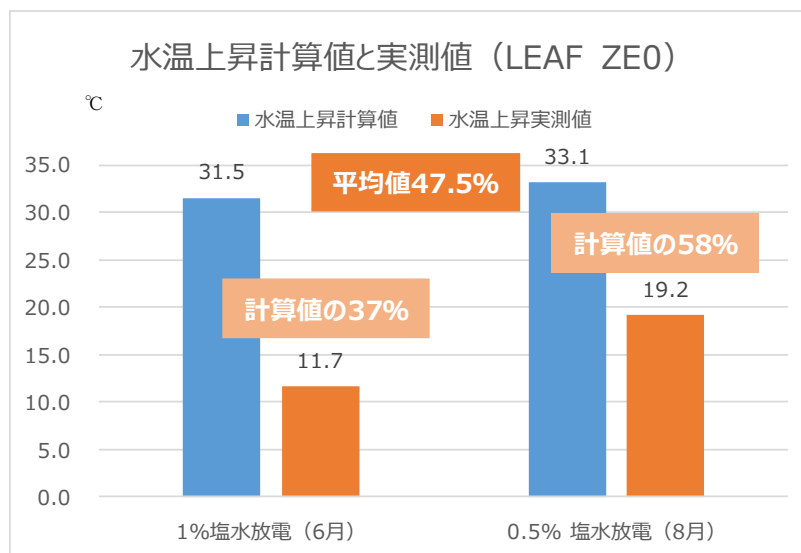


図 2-51. 1%塩水放電と 0.5%塩水放電時の水量、温度上昇の実測値と計算値との比較

出所：マテック

### ③ その他マニュアルの追加内容

塩水放電用マニュアルへの追記次項一覧を表 2-21 に示す。マテック、エコアール、西日本オートリサイクル、テラダパーツと塩水放電を実施していくなかで、本事業関係者より出た意見・追記事項である。これらの内容を今後マニュアルに反映していく。

表 2-21.塩水放電用マニュアルへの追記次項一覧

項目	内容
張り紙	塩水放電中は「立ち入り禁止、火気厳禁、塩水放電中」の張り紙を貼る。
注意点	塩水放電時にLiBより出火した場合は近づかない。
塩水放電用容器	本事業では、塩水放電用の容器として鉄箱ないしプラスチック容器を使用しているが、容器は組み立て式の簡易プールでもよい。プール→スパッタシート→ブルーシートと組み合わせる。簡易プールの場合は、プールの破れ防止のために、底面にコンパネなどを敷く。 容器が鉄製の場合は、塗料を塗って絶縁する。かつ鉄製の容器の中に、ブルーシートを敷く。鉄性の場合は感電に注意。
スリングベルト	LiB吊り上げ時のスリングベルトは布製を推奨、金属の場合は感電に注意する必要がある。
塩水作成時	使用する水は真水（水道水または工業用水）であり、井戸水は使用禁止。 塩の溶け残りがないように、塩水作成時はよく攪拌する。
塩水投入時	塩水を投入するときは電池に直接かけずに、ゆっくり、外側から入れる。（水槽の側面にそそぐ）
塩水攪拌	アッパーカバーがある場合は、ポンプを最低 2 時間程度循環を継続する。 アッパーカバーがない場合は、攪拌機を最低 2 時間程度継続する。
必要経費	塩水放電に必要な道具や装備などの参考価格を表示する。
全体	一覧で確認できる作業書も必要であるが、1つ1つの作業についてより詳細に説明した資料にする。

出所：矢野経済研究所



図 2-52.LiB 吊り下げ作業時の布製のスリングベルト

出所：テラダパーツ

### 2.2.3. 燃焼挙動確認

異常電池発火時の最大の危険性（延焼危険性、炎や煙の発生状況、燃焼物の飛び散り等）を把握し、その内容を解体事業者向けのマニュアルへ反映するため、LiB パックの無消火時の燃焼挙動を確認することとした。ラミネートおよび角型の 2 タイプの燃焼挙動の確認を行った。

#### (1) ラミネート

##### ① 使用 LiB

ラミネートの LiB では入手しやすい日産自動車の LEAF を使用した。反応が最大となるように車上で満充電としたのち解体し、試験を実施した。

表 2-22. ラミネートの LiB (表 2-4 再掲)

	LL	
車種	LEAF (ZE0)	
写真		
セル個数	192 セル (48 モジュール)	
接続方式	直列	
電圧/総電圧	3.8V/360V	
容量	36Ah	
総電力量	24kWh	
重量	294kg	

出所：矢野経済研究所

## ② 発火方法

燃焼挙動確認試験方法を図 2-53 に示す。鉄箱に日産 LEAF の LiB パックを入れ、ヒーターを用いて発火させる。火が消えるまで燃焼を行い、火が消えた後、鎮火のため LiB を水没処理する。なお、LiB 燃焼時に LiB 部品が飛散することを防ぐため、鉄箱上部には飛散防止の金網を設置した（図 2-54）。

ラミネート LiB の燃焼挙動確認試験でのヒーター設置個所を図 2-55 に示す。ヒーターと温度センサーを設置するため、一度アッパーカバーを取り外した。所定の位置にヒーターと温度センサーを設置したのち、水密を再現できるようにガスケットボンドを用いてアッパーカバーを接着した。

着火は LiB パックを A、B、C のブロックごとに分けてヒーターのスイッチを入れる。まずは A のヒーターのスイッチを入れ、A で着火しなければ B のヒーターのスイッチも入れ、B で着火しなければ C のヒーターのスイッチも入れることとした。A のヒーターのスイッチを入れ、着火すればそこでヒーターのスイッチをオフにした。

ラミネート LiB の燃焼挙動確認試験でのヒーターと熱電対の設置位置を図 2-56 に示す。LiB 上部、底面、ヒーター側、鉄箱側面、鉄箱底面、空間に熱電対を設置し温度計測を実施した。

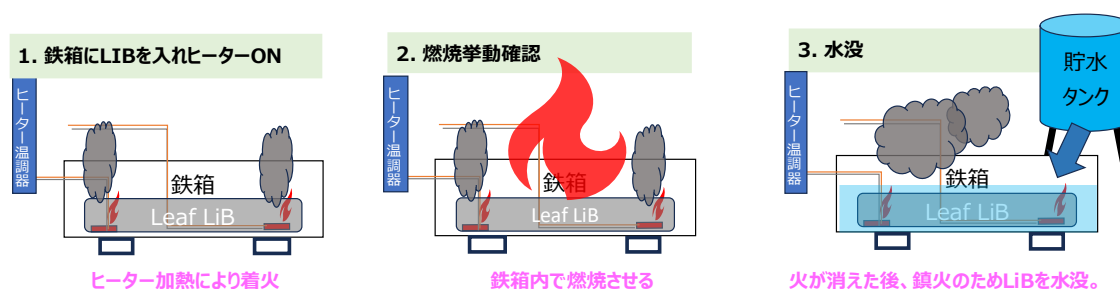


図 2-53.燃焼挙動確認試験方法

出所：マテック



図 2-54.飛散防止の金網

出所：マテック

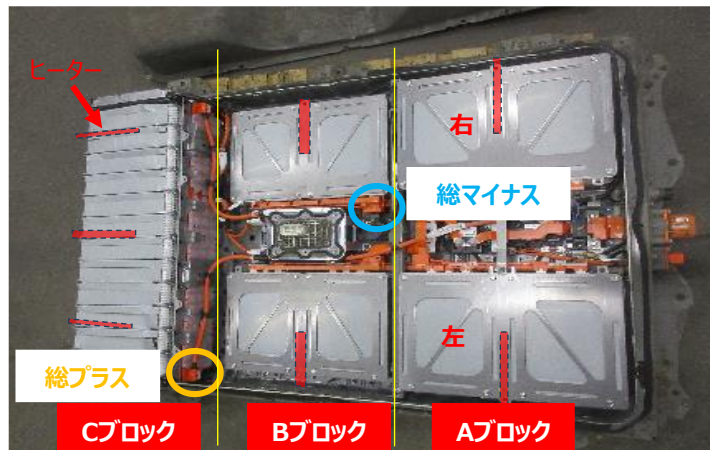


図 2-55.ラミネート LiB の燃焼挙動確認試験でのヒーター設置箇所

出所：マテック

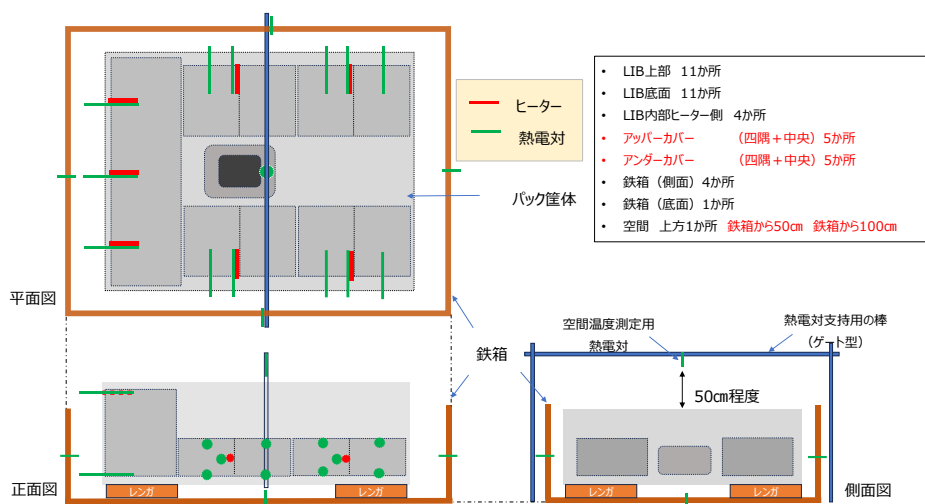


図 2-56.ラミネート LiB の燃焼挙動確認試験でのヒーターと熱電対の設置位置

出所：マテック

### ③ 目視確認

ヒーターのスイッチを入れてから、1分30秒程度で白い煙が発生し、その直後に炎が発生した。炎発生から35分後頃までは激しく燃焼しており、パック右側や後方でアップパーカバーとアンダーカバーのボンド結合部分から火が漏れ出て、大きな炎が出ていた。その後は炎が小さくなり、1時間以上炎が小さくくすぶっている状況となったため、鉄箱内部に水を入れて鎮火した(図 2-57、図 2-58)。



図 2-57.ラミネート LiB の燃焼挙動確認の様子

出所：マテック



図 2-58.燃焼後のラミネート LiB

出所：マテック

#### ④ 温度計測

燃焼時の温度計測について、①LiB パック、②鉄箱周辺、③空間温度の 3 点を計測した (図 2-59)。

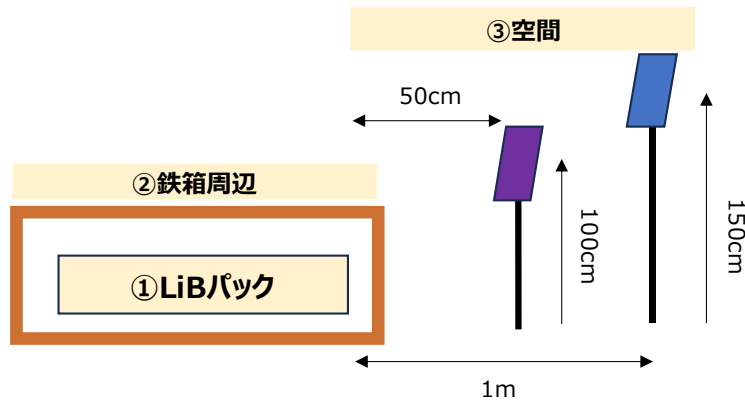


図 2-59.温度計測箇所

出所：マテック

#### ・ パック温度

ラミネート LiB 温度計測箇所を図 2-60 に示す。ブロックに分けて温度計測を実施した。なお、LiB の表面、ヒーター側、底面の 3 か所測定できたモジュールは A、B、D、F、G、H、J である。

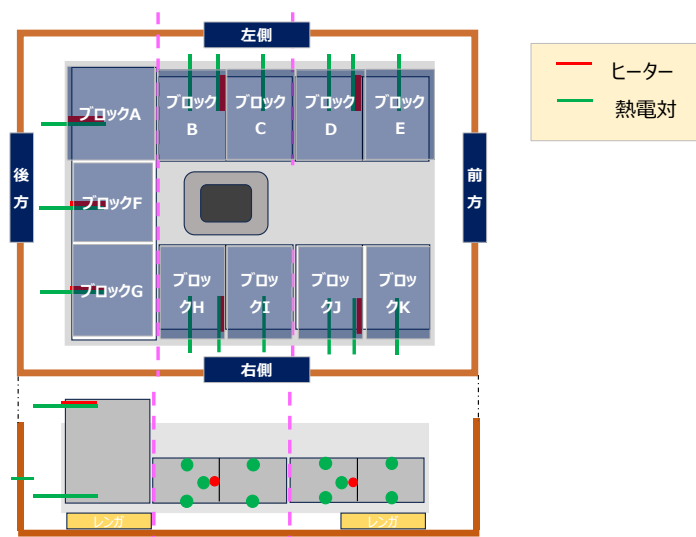


図 2-60.ラミネート LiB 温度計測箇所

出所：マテック

表 2-23. ラミネート LiB 温度計測結果

単位：℃

		燃焼前	最高温度			燃焼前	最高温度
ブロックA	ヒーターそば	32	685	ブロックG	ヒーターそば	32	665
	下	30	704		下	30	619
ブロックB	上	32	797	ブロックH	上	31	878
	ヒーターそば	30	869		ヒーターそば	31	820
	下	30	579	下	30	556	
ブロックD	上	33	717	ブロックJ	上	35	783
	ヒーターそば	28	731		ヒーターそば	28	910
	下	28	483	下	28	494	
ブロックF	ヒーターそば	31	814				
	下	30	707				

出所：マテック

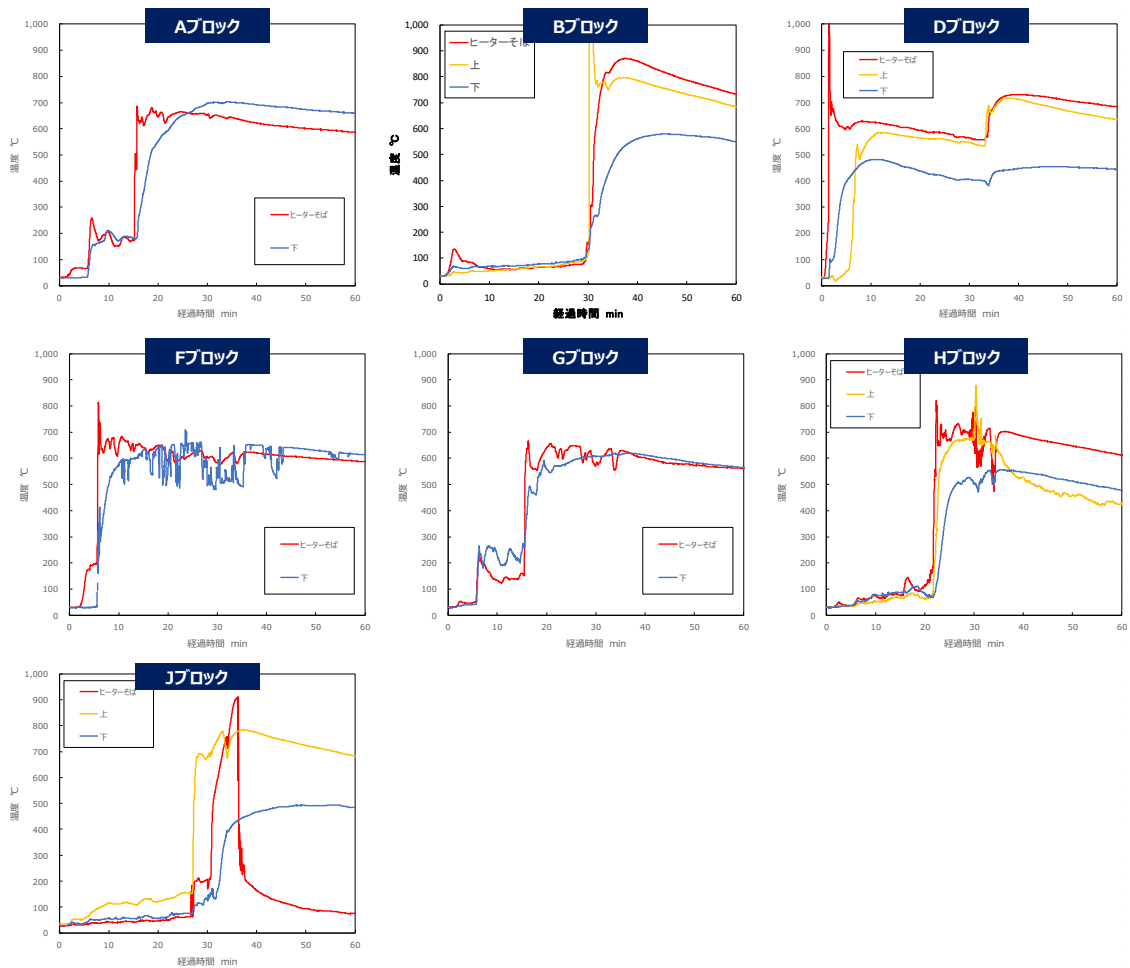


図 2-61. ラミネート LiB 温度計測結果

出所：マテック

ラミネート LiB 温度計測結果を表 2-23、図 2-61 に示す。また、表 2-24 にラミネート LiB の温度状況まとめを示す。

表 2-24. ラミネート LiB の温度状況まとめ

ブロック	概要
Aブロック	15分過ぎから急激な温度上昇が認められた。最高温度は665℃と他のブロックと比較し少し低めの温度であった。
Bブロック	30分結果まで大きな温度上昇はなかったが、その後急激に温度が上昇した。
Dブロック	炎の噴出が少なかった側であるが、測定開始直後から3か所とも急激な温度上昇が認められた。
Fブロック	6分過ぎから急激な温度上昇が認められ、最高温度は814℃であった。
Gブロック	18分過ぎから急激な温度上昇が認められ、最高温度は665℃であった。
Hブロック	炎がよく噴出していたブロックであり、最高温度は820℃を記録した。開始20分過ぎから急激な温度上昇がみられた。
Jブロック	炎がよく噴出していたブロックであり、最高温度は910℃を記録した。

出所：マテック

#### ・鉄箱温度

ラミネート LiB 燃焼時の鉄箱温度を表 2-25、図 2-62 に示す。パックから炎が漏れ出して火勢が強かった右側が高い温度であった。

表 2-25. ラミネート LiB 燃焼時の鉄箱温度

単位：℃

	燃焼前	最高温度
前方	33	140
右側	33	917
左側	32	159
後方	32	569
上側	36	132

出所：マテック

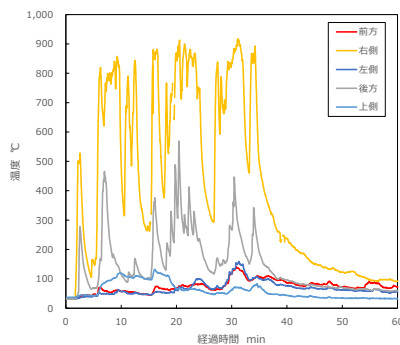


図 2-62. ラミネート LiB 燃焼時の鉄箱温度

出所：マテック

・ 50cm、100cm 距離

ラミネート LiB 燃焼時の 50cm、100cm 距離での温度を表 2-26、図 2-63 に示す。燃焼後は炎が噴き出していた鉄箱（右側）の最高温度が 917℃に対して、50cm 離れたついたてでは最高温度 562℃、100cm 離れたついたてでは 109℃という結果であった。ついたてに使用していた PP バインダーも熱で変形してしまった（図 2-64）。

表 2-26.ラミネート LiB 燃焼時の 50cm、100cm 距離での温度

単位：℃

	燃焼前	最高温度
鉄箱(右)	33	917
50cm遠ついたて	34	562
100cm遠ついたて	37	109

出所：マテック

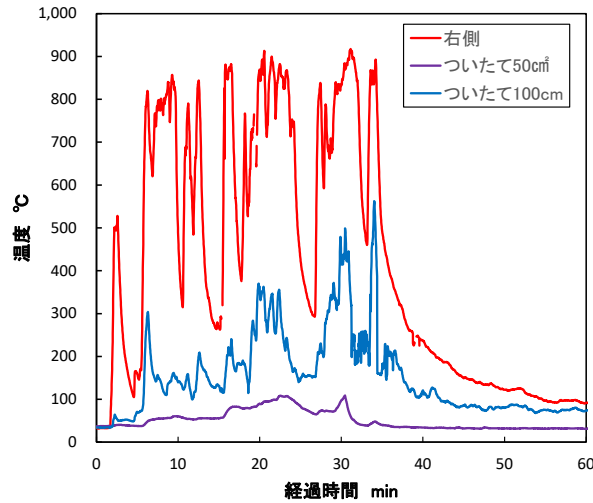


図 2-63.ラミネート LiB 燃焼時の 50cm、100cm 距離での温度

出所：マテック



図 2-64.温度計を設置していた PP バインダー

出所：マテック

## ・ 最高温度カラーマップ

ラミネート LiB の最高温度カラーマップを図 2-65 に示す。LiB パックはどのブロックも 650℃以上の最高温度を示しており、万遍なく温度が上がっている。鉄箱の温度は、炎が噴出していた右側が偏っており、噴出した方向の温度は 917℃であった。噴出が少なかった前方と左側の最高温度は 150℃程度であった。

ラミネート LiB のアッパーカバーおよびアンダーカバーの最高温度カラーマップを図 2-66 に示す。アッパーカバーは炎が上がったことで、温度が高くなる傾向にあった。特にサービスプラグ差し込み口があり、炎の通り道となった中央で温度が高くなっていた。

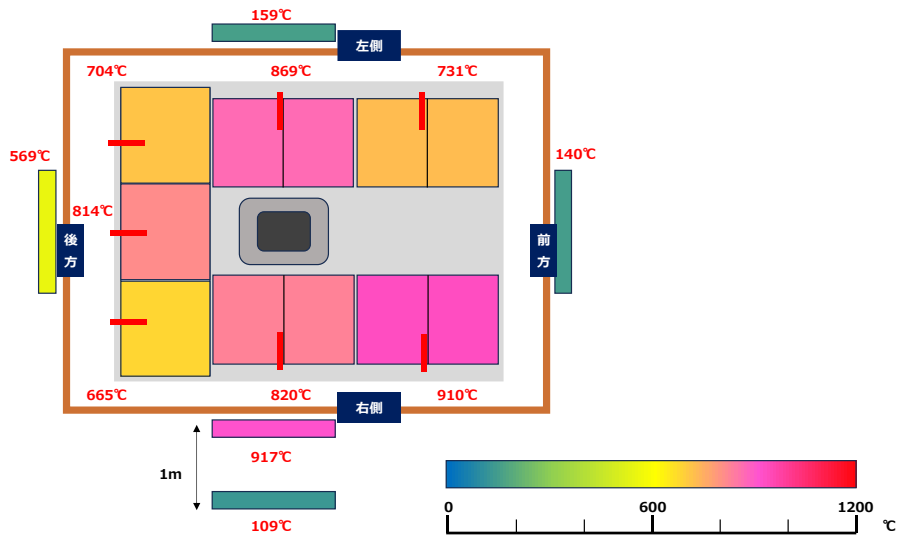


図 2-65. ラミネート LiB の最高温度カラーマップ

出所：マテック

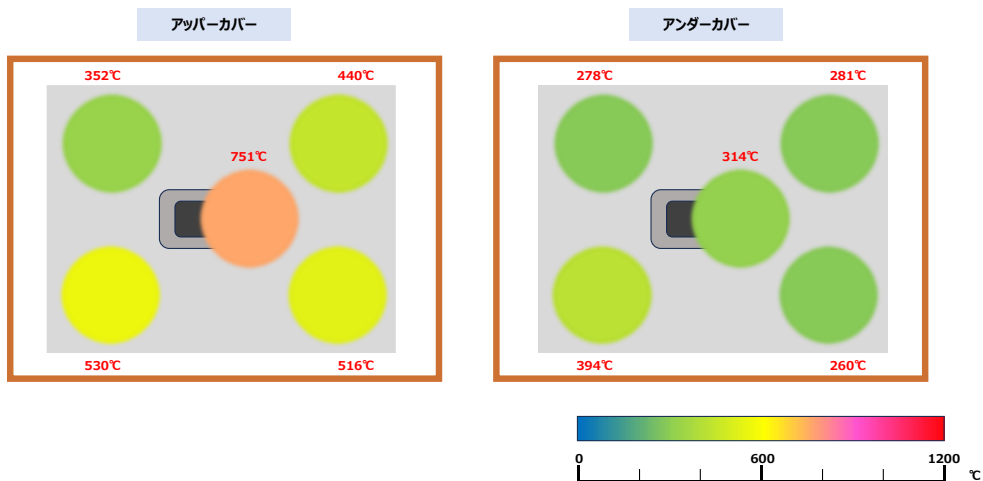


図 2-66. ラミネート LiB のアッパーカバーおよびアンダーカバーの最高温度カラーマップ

出所：マテック

## ⑤ まとめ

各ブロックとも万遍なく燃焼しており、パック内の最高温度は 650°Cから 910°Cであった。

アッパーカバーの最高温度は、352°Cから 751°Cであり、中央の温度が高かった。

アンダーカバーの最高温度は 260°Cから 394°Cであり、アンダーカバーでも 400°C近い高温になることが分かった。


鉄箱から 50 cmと 100 cm離れた空間の温度を測定したところ、それぞれ最高温度は 562°Cと 109°Cを示し、PP 製のバインダーが変形するほどの熱であった。

## (2) 角型

### ① 使用 LiB

角型の LiB では入手がしやすい三菱自動車のアウトランダーPHEV を使用した。反応が最大となるように満充電状態で試験を実施した (表 2-27)。

表 2-27.角型の LiB (表 2-12 再掲)

L	
車種	アウトランダーPHEV (12kWh)
写真	
セル个数	80セル (10モジュール)
接続方式	直列
電圧/総電圧	300V
容量	40.5Ah
総電力量	13.8kWh
重量	—

出所：矢野経済

### ② 発火方法

角型 LiB の燃焼挙動確認試験でのヒーター設置個所を図 2-67 に、角型 LiB の燃焼挙動確認試験でのヒーターと熱電対の設置位置を図 2-68 に示す。中央に設置した 2 本のヒーターは、ブスパーに接触させ、被覆が消失した際にヒーターを介して電流が流れ、短絡をさせて発熱させる目的で設置した。その他のヒーターは、セルの熱暴走を狙って設置した。

角型では全ヒーターのスイッチを同時に付け、ヒーターで LiB に着火できなかった場合、バーナーで電池を炙って着火させることとした。バーナーの使用箇所は、後方の燃料タンク側からの出火を想定し、LiB の後部座席側から炙ることとした (燃料タンクは電池パック後部に存在しているため)。

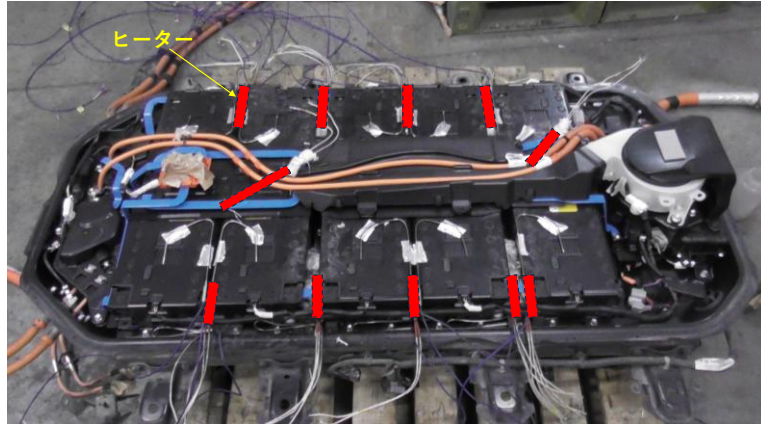


図 2-67. 角型 LiB の燃焼挙動確認試験でのヒーター設置個所

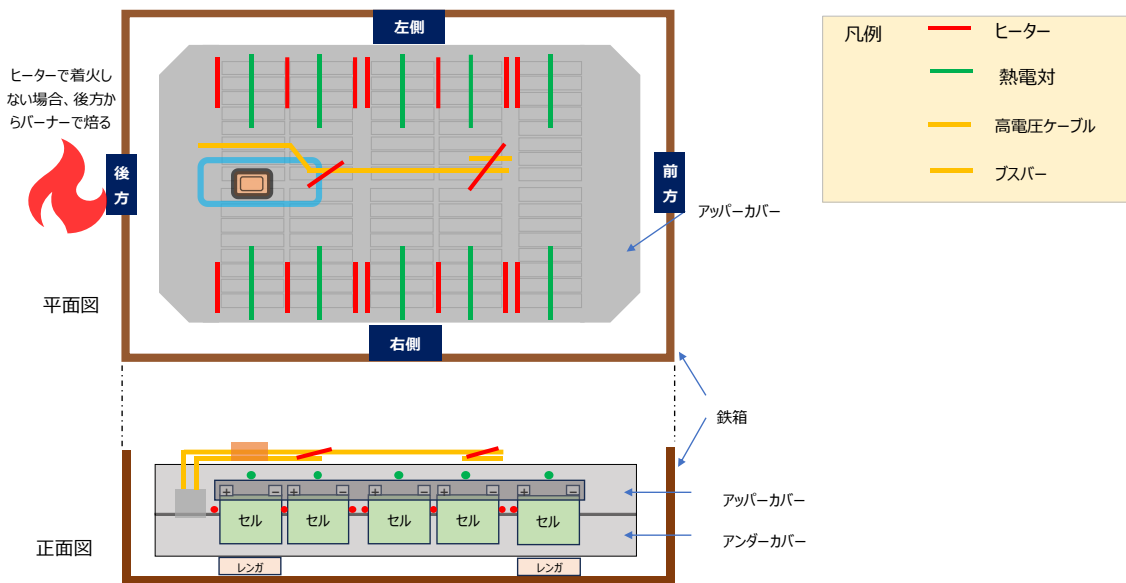


図 2-68. 角型 LiB の燃焼挙動確認試験でのヒーターと熱電対の設置位置

### ③ 目視確認

角型 LiB の燃焼挙動確認の様子を図 2-69 に示す。ヒーターのスイッチを入れてから 2 分後から白い煙が発生、約 13 分後にパック外にも白煙が出ていた。内部で LiB を固定するプラスチックに火が付いていたと考えられる。その後、炎が発生する見込みがなかったため、約 15 分経過後にバーナー加熱に切り替え燃焼させた。3 分程度バーナーで着火したところ、大きな炎が発生したため、バーナーでの加熱をやめたところ、LiB パックの自然燃焼が開始した。角型の LiB はアッパーカバーが樹脂製であったため、図 2-70 に示すようにアッパーカバーの一部が飛散したほか、燃焼が進行するにつれアッパーカバーが消失した。その結果、LiB 開弁時の噴出物を遮るものがなくなり、破裂音とともに LiB の燃え殻が吹き飛ばされ 1m50cm ほど外側に飛散していた。角型 LiB はアッパーカバーの消失に伴い、炎が上側に大きく出ていた。一方でラミネートの LiB はアッパーカバーが鉄製であったため、アッパーカバーが消失することはない、炎が右側面に出ていた。

途中雨が降るなどの影響もあり、すべてのセルが燃えきる前に火が鎮火方向に向かったため、着火から約 1 時間後に再度バーナーで加熱し、LiB を燃焼させ切ったのち、鉄箱内部に水を入れて鎮火を行った（図 2-71）。



図 2-69.角型 LiB の燃焼挙動確認の様子

出所：マテック



図 2-70.飛散したアッパーカバー

出所：マテック

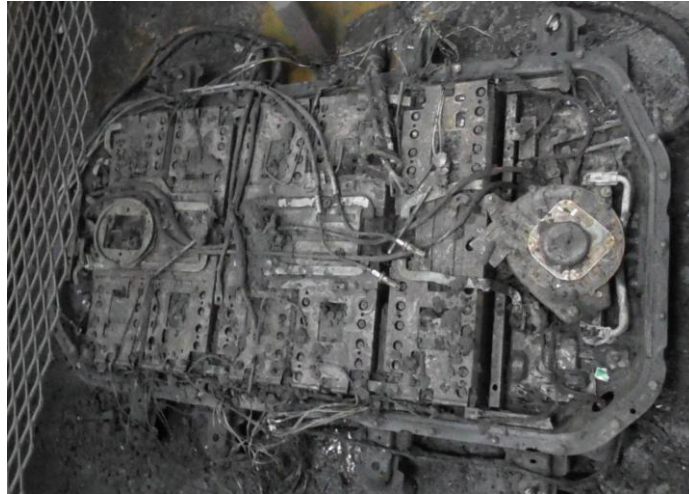


図 2-71.燃焼後の角型 LiB

出所：マテック

#### ④ 温度計測

ラミネート LiB と同様に、燃焼時の温度計測について、①LiB パック、②鉄箱周辺、③空間温度の 3 点を計測した。

##### ・パック温度

角型 LiB 温度計測箇所を図 2-72 に示す。ブロックに分けて温度計測を実施した (図 2-72)。

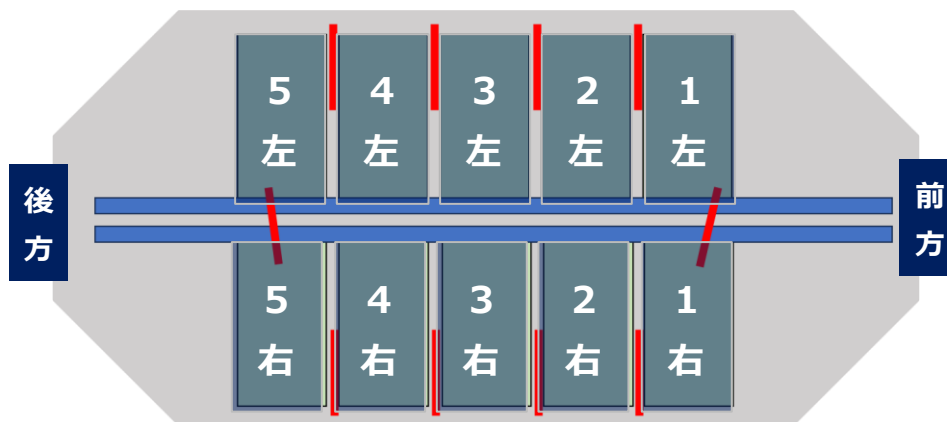


図 2-72 角型 LiB 温度計測箇所

出所：マテック

表 2-28.角型 LiB 温度計測結果

単位：℃

		燃烧前	最高温度
1	右	32	773
	左	32	772
2	右	32	908
	左	32	704
3	右	32	782
	左	31	747
4	右	33	647
	左	33	647
5	右	33	770
	左※	33	554

\*炎が強かった22～45分で計測異常

出所：マテック

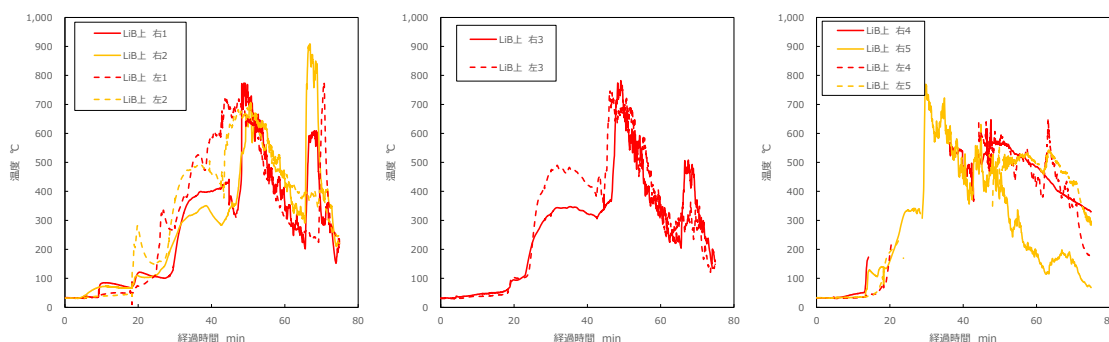


図 2-73. 角型 LiB 温度計測結果

出所：マテック

角型 LiB 温度計測結果を表 2-28、図 2-73 に示す。ブロック 1 および 2 について、最高温度は、右側で 908℃に達していた。バーナーからは離れた位置にあるため、試験開始からある程度時間が経ってから温度上昇している。70 分付近の急激な温度上昇は、燃え残りを防ぐため、バーナーによる直接加熱を行った際に発生したと考えられる。

ブロック 3 について、ブロック 1 および 2 のデータに比べ、バーナーが近いため、最高温度に早く到達している。

ブロック 4 および 5 について、ブロック 3 よりも、さらにバーナーに近い、最高温度に早く到達している。温度上昇は、LiB の熱暴走による影響よりも、バーナー加熱による影響のほうが大きいと考えられる。

ブロック 1~5 の温度データについて、左右の測定点の平均温度を 100℃ごとにプロットし、温度の経時変化を確認した (図 2-74)。ブロック 5 が最もバーナーに近いが、バーナーに近い測定点から、温度が高くなっていった。

どのブロックでも、500℃以上になると傾きが急になっている。500℃以上で LiB セルが開弁し、電解液に着火、急激に温度上昇したと考えられる。

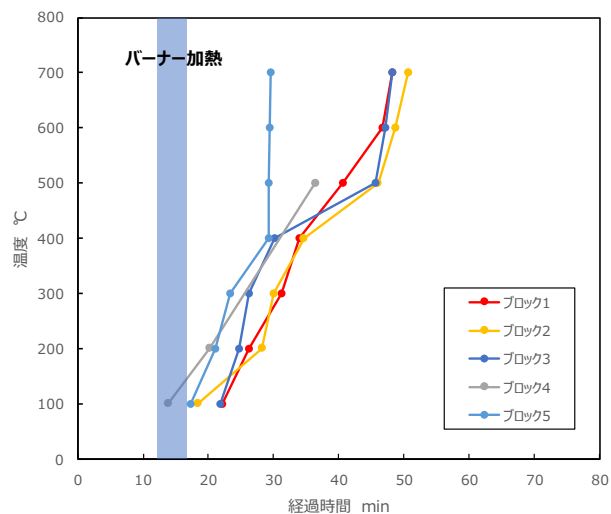


図 2-74.角型 LiB 温度計測結果 (左右の測定点の平均温度を 100℃ごとにプロット)

出所：マテック

## ・鉄箱温度

角型 LiB 燃焼時の鉄箱温度を表 2-29、図 2-75 に示す。アッパーカバー上に接触するように設置した「真上」の最高温度が高く、551℃まで上昇していた。鉄箱の側面温度は、どの測定点でも 400℃付近まで上昇した。

表 2-29.角型 LiB 燃焼時の鉄箱温度

単位：℃

	燃焼前	最高温度
前方	30	435
右側	28	417
左側	26	396
真上	27	551
1m上	26	252

出所：マテック

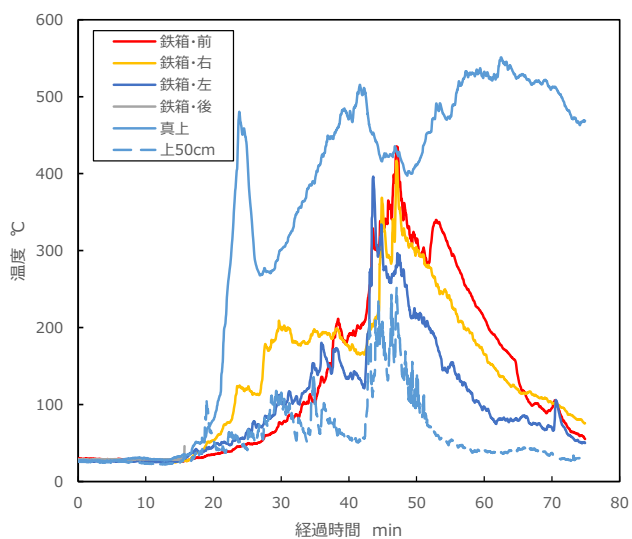


図 2-75.角型 LiB 燃焼時の鉄箱温度

出所：マテック

・ 50cm、100cm 距離

角型 LiB 燃焼時の 50cm、100cm 距離での温度を表 2-30、図 2-76 に示す。ラミネート LiB と異なり、炎が側面ではなく上部に噴き出していたことで、最高温度がラミネート LiB よりも低い値であった。ラミネート LiB では、PP 製バインダーを使用して熱変形したため、LiB の保護に使われている鉄板 (LEAF のモジュールに実際に使用されているもの) を使用した。

表 2-30.角型 LiB 燃焼時の 50cm、100cm 距離での温度

単位：℃

	燃焼前	最高温度
鉄箱(右)	28	417
50cm遠ついたて	26	81
100cm遠ついたて	26	56

出所：マテック

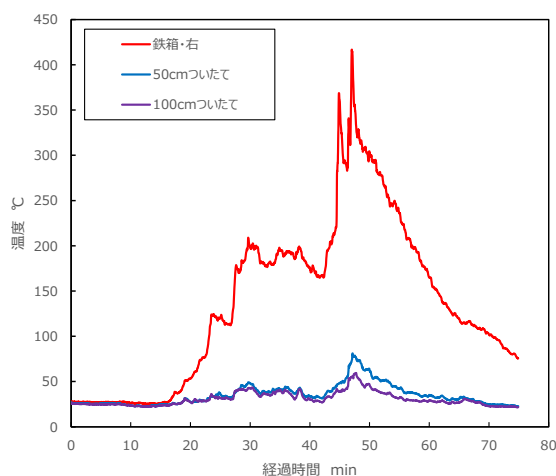


図 2-76.角型 LiB 燃焼時の 50cm、100cm 距離での温度

出所：マテック



図 2-77.温度計を設置した鉄板

出所：マテック

・最高温度カラーマップ

角型 LiB の最高温度カラーマップを図 2-78 に、角型 LiB のアンダーカバーの最高温度カラーマップを図 2-79 に示す。角型 LiB はアップパーカバーが焼失してしまうので、LiB 上部に熱電対データからカラーマップを作成した。カバーが焼失し放熱しやすくなったためか、ラミネート型よりも全体的に低温だった。

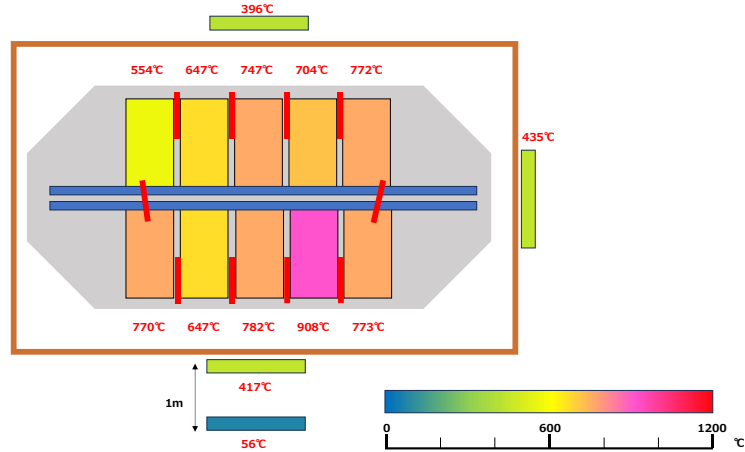


図 2-78.角型 LiB の最高温度カラーマップ

出所：マテック

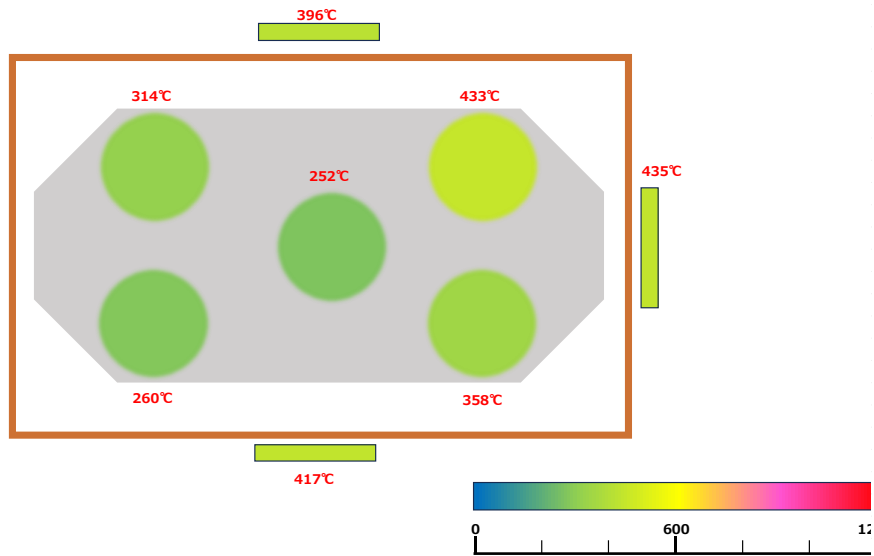


図 2-79.角型 LiB のアンダーカバーの最高温度カラーマップ

出所：マテック

## ⑤ まとめ

　　アップカバーや内部のプラスチック構造物の燃焼の影響で、ヒーター配線が断線してしまい、同時に着火させることができず、最大の火勢を出す試験はできなかったが、アップカバーが焼失することにより、炎が上方へ成長しやすくなり、ラミネート型 LiB に比べ、大きな炎が発生した。燃焼時に生じた燃え殻が周囲に飛散していることも確認され、これが高温の物質であれば延焼を引き起こす可能性がある。前述のアップカバーがあるラミネート型 LiB とは明らかに異なる燃焼挙動だった。周囲への飛散は、LiB の種類よりもアップカバーの種類によるところが大きいと考えられ、焼失するようなアップカバーの LiB は燃焼時にはより注意が必要になる。

### (3) ラミネートおよび角型比較

ラミネートおよび角型 LiB の燃焼挙動比較を図 2-80 に、ラミネートおよび角型 LiB の温度比較（鉄箱、周辺）を表 2-31 示す。

ヒーター加熱においては、セルの材質・厚みの違いからラミネート LiB のほうが角型よりも着火しやすく、火が燃え広がりやすい結果であった。

自然燃焼後の LiB 自体の温度は、ラミネートおよび角型共に大きな違いはなかった。燃焼時間も消火をしなければ双方 1 時間以上火が出ている結果となった。

アッパーカバーの材質の違いにより、ラミネートは上蓋が鉄のため、電池側面から火が出ていたのに対して、角型は上蓋が樹脂製であり、熱により溶けたことで、上部から火が出て、かつ火花が飛び散っていた。ラミネートは側面（右側）および周辺の温度が角型よりも高くなっている。一方で、角型は鉄箱全体および上部の温度が高くなっている。

本実証で把握できたラミネートおよび角型、外装の材質の違いによる燃焼挙動の違いを参考に、どのタイプの LiB であっても最大限安全に保管可能な方法をマニュアルに記載していく。

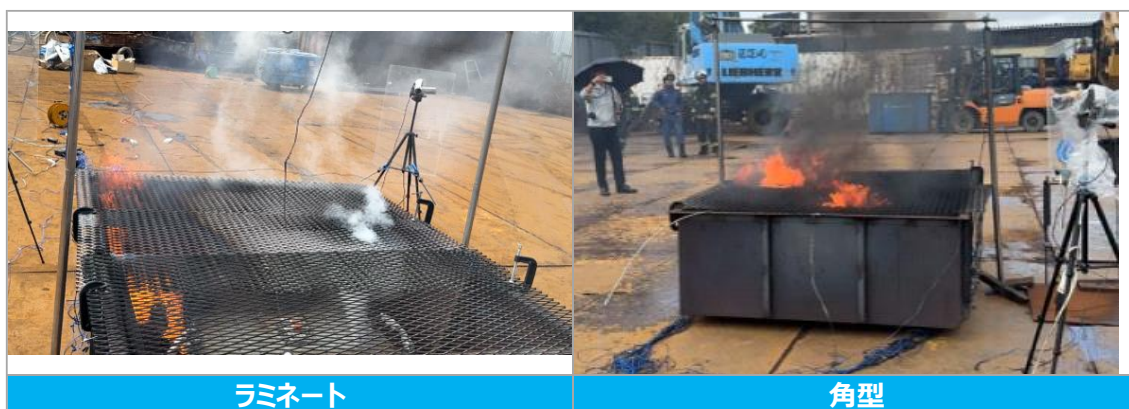


図 2-80. ラミネートおよび角型 LiB の燃焼挙動比較

出所：マテック

表 2-31. ラミネートおよび角型 LiB の温度比較（鉄箱、周辺）

単位：℃

		ラミ 最高温度	角型 最高温度
鉄箱	前方	140	435
	右側	917	417
	左側	159	396
	後方	569	551
	上側/真上	132	551
	1m上	—	252
周辺	50cm遠ついたら	562	81
	100cm遠ついたら	109	56

出所：マテック

## 2.2.4. 消火試験

2024年度の消火試験結果から、LiBパック発火時の消火器単独での鎮火は難しいことが分かった。しかしながら、一般的に火災への対応は初期消火が重要とされ、LiBに対してもその重要性は変わらない。LiBパック発火時に消防到着まで適切な消火作業を行うことにより、周囲への延焼リスクを低減できる。解体事業者が火災の拡大を防ぐ手立てを確立しておくことは大きな意義がある。

2025年度の消火試験では、消火器単独ではなく、消火器等で火の勢いを弱めて、防火シート／砂等により穏やかに発火反応を収めるまたは消防到着までの時間を確保することを目指す。またそれら方法は解体事業者が配備可能な実効性の高い方法を検討していく。

表 2-32.消火剤、防火シート候補（表 2-3 再掲）

効果	種類	詳細	評価項目	備考
冷却	消火器	CO2	温度挙動 炎が消えるまでの時間	—
		水（浸潤剤入り）		—
		強化液（中性）		—
窒息	消火剤	マテック敷地内の砂	温度挙動 炎が消えるまでの時間	0円/kg
		消火砂（パーミキュライト）		300円/kg
		吸水性ポリマー（エコ・フレンドリー）		300円/kg
		吸水性ポリマー（トイレ凝固剤）		300円/kg
	防火シート （約2m×2m）	スパッタシート	耐火性・耐久性 遮熱性 温度挙動 窒息性	2.8万円/枚
		シリカクロス		3.6万円/枚
		栗田工業製防火シート（LiB用）		開発品
		Bridgehill AS（LiB用）		18.3万円/枚
		ヒュアテムシートシート（LiB用）		18.5万円/枚

出所：マテック

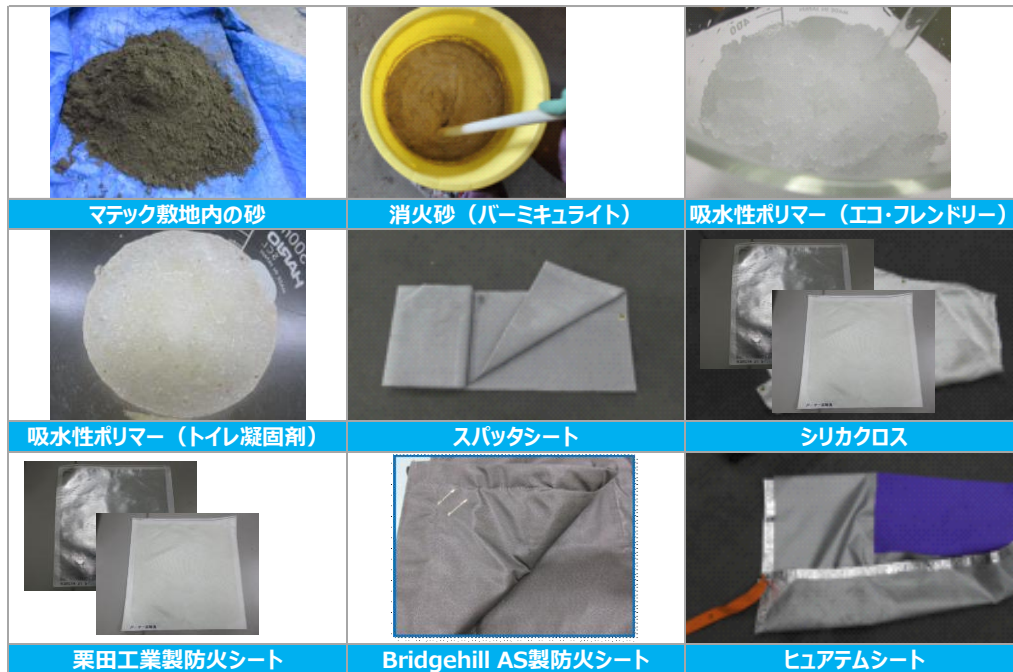


図 2-81.消火剤、防火シート候補

出所：マテック

### (1) 事前テスト (Ar ガスによる窒息効果の確認)

LiB 発火時に窒息による消火が期待できるのか確認するため、Ar ガスによるセルベースでの窒息による鎮火効果を確認した。Ar ガスは不燃性で空気より比重が重く、容器の底に停滞しやすいため、窒息の効果が期待できる（一般的に Ar ガスは、研究用途や半導体、鉄鋼業などで雰囲気コントロールによく用いられている）。Ar ガスによる試験方法を図 2-82 に示す。るつぼの中に LiB を入れアクリル板で蓋をした。ステンレス管から Ar ガスを断続的に流して、空間を Ar ガスで満たした（酸素濃度 7.5%を確認、平常時は 20.9%）。酸素濃度が下がっていることを確認してから着火した。

ヒーターの温度が 310°C 時点で、加熱部から勢いよく白煙が発生した。LiB セルからの白煙発生の様子を図 2-83 に示す。空気雰囲気下では着火するが、Ar ガスにより酸素濃度が低下していた結果、白煙が上がるだけで、炎は認められなかった。酸素濃度を低下させることで、炎の発生を防ぐことができると考えられる。煙の奥が赤くなるなどの色彩変化もなく、燻っている状態であると考えられる。

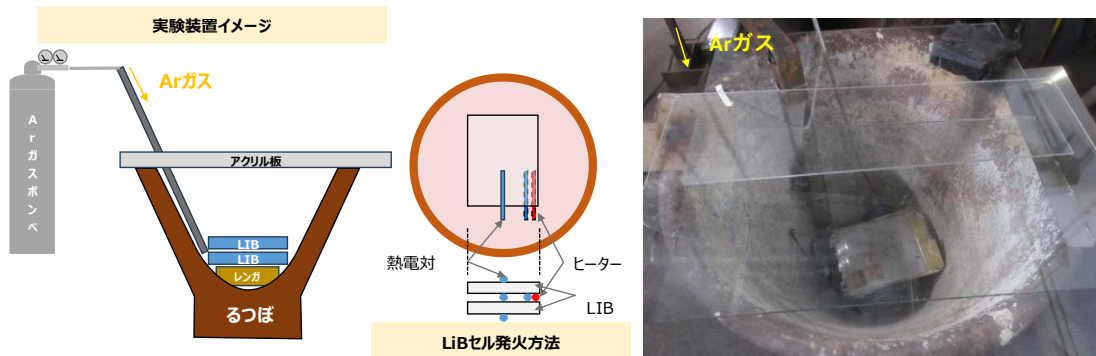


図 2-82.Ar ガスによる試験方法



図 2-83.LiB セルからの白煙発生の様子

出所：マテック

Ar ガス雰囲気での温度挙動を図 2-84 に示す。電池中央・底部は急激な温度上昇をしている。中央部は最高温度 813°Cを示しており、着火するときと同じような温度挙動を示している。

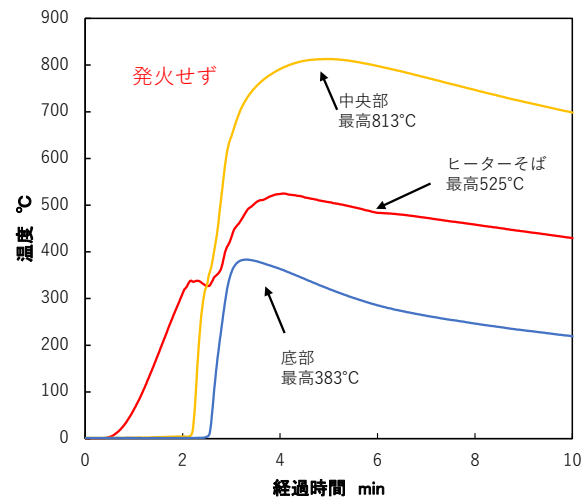


図 2-84.Ar ガス雰囲気での温度挙動

出所：マテック

## (2)セルによる基本消火・窒息性能確認

組み合わせによる試験を実施する前に、消火器、消火剤、防火シートの基本性能の確認およびセルにおける消火試験を実施した。

### ① 消火器の消火試験

図 2-85 に消火器によるセル消火試験の方法を示す。鉄箱中に LiB を配置し、ヒーター加熱により着火、炎が出た後に消火器 1 本を使用した。炎が鉄箱の中央になるように LiB を鉄箱の右寄りに設置した。温度測定箇所は、ヒーターそば、電池上部、電池底部の 3 か所である。

消火器は、CO<sub>2</sub>、水（浸潤材入り）、強化液（中性）消火器を用いた。なお、LiB は LEAF ZE1 であり、SOC100%に調整したセルを 4 個用いた。

表 2-33 に消火器でのセル消火時の様子を示す。昨年度の消火試験の結果と同様にどの消火器も鎮火させることができなかった。

図 2-86 に消火器でのセル消火時の温度挙動を示す。CO<sub>2</sub> 消火器はブランクと同様な温度挙動であった、強化液（中性）消火器が一番温度を低く維持できていた。

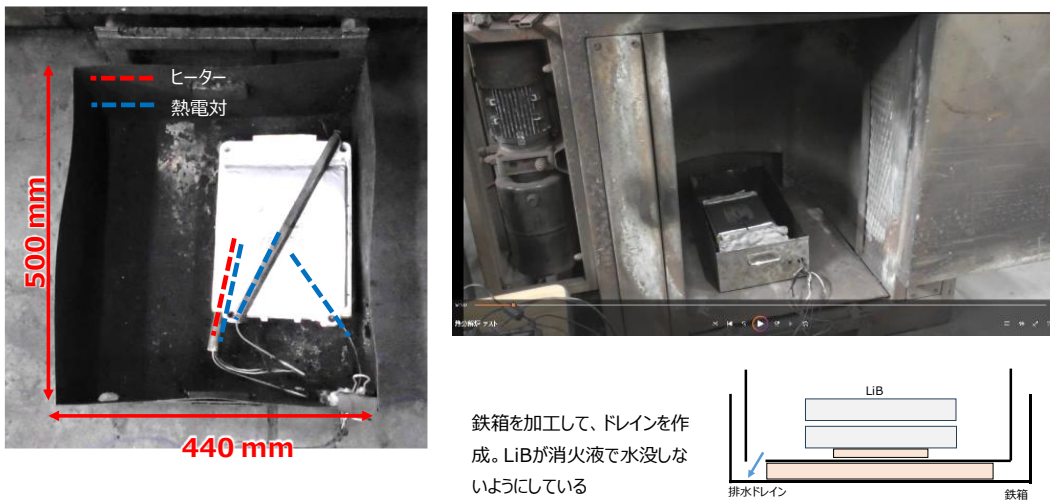


図 2-85.消火器によるセル消火試験の方法

出所：マテック

表 2-33.消火器でのセル消火時の様子

企業・製品名	噴霧時	噴霧後
CO2		
水（浸潤剤入り）		
強化液（中性）消火器		

出所：マテック

電池上部 温度挙動

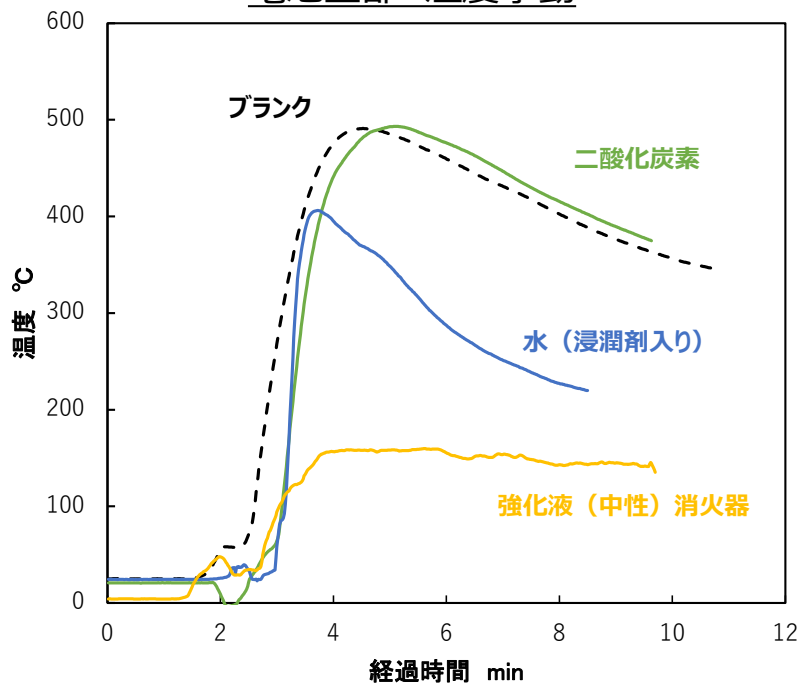


図 2-86.消火器でのセル消火時の温度挙動

出所：マテック

・消火器評価（組み合わせ試験選定）

表 2-34 にセルでの消火器の評価結果を示す。消火器のなかでは、強化液（中性）消火器が一定時間だけではあるが炎を消すことができた。そのため組み合わせ試験では同消火器を選定した。

表 2-34.セルでの消火器の評価結果

	鎮火できたか	最高温度（LiB上部3回平均）	燃焼挙動	評価
CO2	×	536℃	窒息の効果により、一瞬炎が消えたがすぐに再燃した。	×
水（浸潤材入り）	×	430℃	炎を消すことができたが、3回試験を行い、消火後1秒、10秒、30秒後に再発火した。	×
<b>組み合わせ試験実施</b> 強化液（中性）消火器	×	247℃	炎を消すことが出来たが、42秒、36秒、8秒後に再発火した。LiB上部の最高温度は247℃で他の2種類よりも低温で、火勢は弱めることが出来た。	△

出所：マテック

## ② 消火剤（砂・吸水ポリマー）の消火試験

### ・ 消火剤（砂）の昇温抑制効果確認

消火砂について、ベルミテック社のバーミキュライトを用いて、試験を行うこととした。ベルミテック社によれば、焼成後（1号品）のバーミキュライト 1Lは、水 450cm<sup>3</sup>を吸収可能である。バーミキュライトの各種スペックを表 2-35 に示す。窒息の効果を期待し、小さなすき間にも入り込みやすい粒度の小さいものを選んだ。窒息の効果を期待し、小さなすき間にも入り込みやすい粒度の小さい 0号品を選定した（図 2-87）。

表 2-35.バーミキュライトの各種スペック

		0号品	1号品	2号品	3号品	4号品
		ミクロン	スーパーファイン	ファイン	ミディアム	ラージ
サイズ	mm	0.7	1.0	2.0	3.0	10.0
嵩比重	kg/m <sup>3</sup>	100~150	95~115	90~110	85~105	80~100
比表面積	m <sup>2</sup> /g	6.4	5.4	4.4	—	—
pH	—	7~10				

出所：ベルミテック社 HP



図 2-87. バーミキュライト 0号品

出所：マテック



図 2-88.バーミキュライト昇温抑制効果の確認（実験風景及び共試サンプル）

出所：マテック

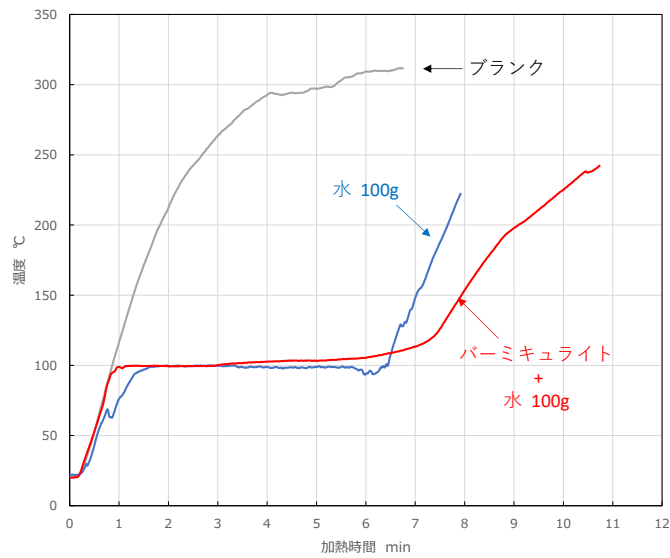


図 2-89. バーミキュライト昇温抑制効果の確認（温度推移）

出所：マテック

まずは、バーミキュライトの含水時の昇温抑制効果を確認するため試験を実施した。バーミキュライト昇温抑制効果の確認（実験風景及び共試サンプル）を図 2-88 に、温度推移結果を図 2-89 に示す。昇温はバーナーで行い、火力は一定とした（つまみは一定のまま、元栓で消火）。熱電対はフライパンの中央に設置した。

水は 100°C 付近の保持時間が 5.1 分に対して、バーミキュライト+水 100g では 6 分であり、バーミキュライトは水と比較しても 100°C 付近の保持時間が長く、水の蒸発を抑えている可能性がある。

昇温速度については、バーミキュライト+水 100g の傾きが最も緩やかであり、バーミキュライトは、急激な温度上昇を抑える効果がある（表 2-36）。

表 2-36. 昇温速度（温度上昇時のグラフの傾き）の比較

試料	昇温速度
ブランク	80°C/min
水100g	80°C/min
バーミキュライト+水100g	39°C/min

出所：マテック

### ・ 消火剤による消火試験

消火剤による消火試験方法を図 2-90 に示す。消火剤による延焼防止を評価するため、出火している LiB セルに消火剤をかけ、燃焼挙動を確認する。消火剤単独と水併用も試験を行い、目視と温度測定で評価した。温度測定箇所は、ヒーターそば、電池上部、電池底部、空間温度（LiB から 30cm 上方）の 4 カ所である。

検討した消火剤一覧を表 2-37 に示す。マテック敷地内の砂については、採取した状態で水分が 16%であった。この状態と乾燥させた状態の 2 パターンを試験した。バーミキュライト、吸水性ポリマーは、使用前に水と混ぜてあらかじめ調整した。

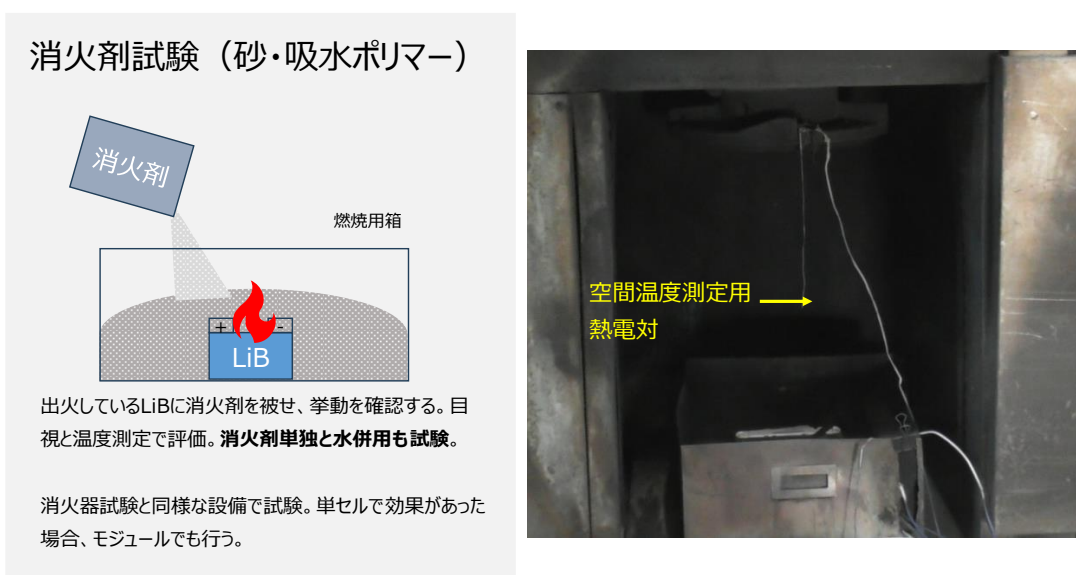



図 2-90.消火剤による消火試験方法

出所：マテック

表 2-37.検討した消火剤一覧

消火剤	調整後	使用方法等
マテック敷地内の砂		風乾状態（特に乾燥は行っていない） バケツ2杯分（30kg）を準備 スコップですくって燃えているLiBにかける。 1つは乾燥状態、1つは16%水分を与えた状態で実施
バーミキュライト		バケツ2杯分（3.6kg）を準備 質量比400%の水を加え混合した。 石狩浜の砂と同様、スコップですくって燃えているLiBにかける
吸水ポリマー ① 高吸水性ポリマー BR-G1000 エコフレンドリー		ケツ2杯分の水（36L）を準備 360gの吸水ポリマーを加え混合した。 スコップですくって燃えているLiBにかける
吸水ポリマー ② 簡易トイレ 強力凝固・消臭剤 アズマ工業		バケツ2杯分の水（36L）を準備 360gの吸水ポリマーを加え混合した。 スコップですくって燃えているLiBにかける

出所：マテック

消火剤による消火の様子を表 2-38 に示す。砂（水分 16%）を投入したところ、消火できた。一方で、同じ砂を乾燥させて投入したところ、砂表面から炎が噴き出し、消火できなかった。同じ砂でも水分が変わると消火能力が異なっていた。

バーミキュライトは、LiB が完全に埋没するまで投入したが、バーミキュライトの表面から炎が噴き出していた。バーミキュライトの重量が軽いため、炎の勢いで吹き飛んでいた可能性がある。

吸水ポリマーは、エコフレンドリーも、トイレ凝固剤も LiB を覆いつくすほど投入したが、すぐには消火できなかったが、かけ終わってからしばらくして消火した。トイレ凝固剤は、投入後、水を放出している挙動であった。

消火剤による消火の際の電池上部の温度挙動を図 2-91 に示す。水を含んだバーミキュライト、エコフレンドリー、トイレ凝固剤は温度を低く維持できている。特に、トイレ凝固剤が低い温度だった。

表 2-38.消火剤による消火の様子

消火剤	かけ終わった直後	状況
マテック敷地内の砂 (水分16%)		1:18 鎮火
マテック敷地内の砂 (乾燥)		0:55 鎮火 0:58 再発火
バーミキュライト		鎮火せず
吸水ポリマー ① 高吸水性ポリマー BR-G1000 エコ・フレンドリー		1:40鎮火
吸水ポリマー ② 簡易トイレ 強力凝固・消臭剤 アズマ工業		0:50 火が消える 1:20 再発火 1:53 鎮火
ブランク	—	1:16 激しい炎が終わる 4:45 燃え尽きる

出所：マテック

## 電池上部 温度挙動

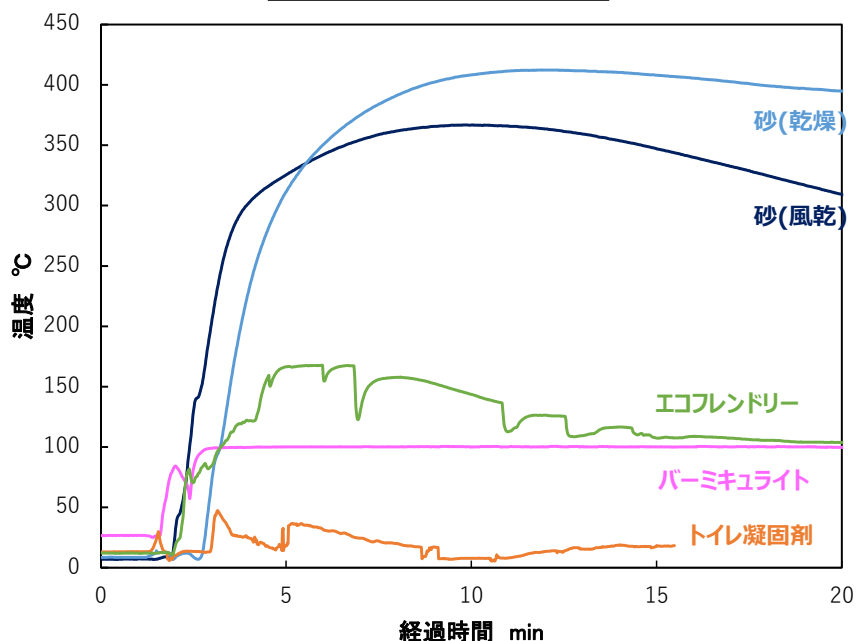


図 2-91.消火剤による消火の際の電池上部の温度挙動

出所：マテック

### ・ 消火剤評価（組み合わせ試験選定）

セルでの消火剤の評価結果を表 2-39 に示す。時間はかかったものの、炎を消すことができたという点で、組み合わせ試験では吸水性ポリマー2種を選定した。

表 2-39.セルでの消火剤の評価結果

	最高温度 (LiB上部)	燃焼挙動	評価	備考
マテック敷地内の砂 (水分16%)	350℃	燃焼開始時の激しい炎は消せないが、その後の炎はすぐに消火できた。	△	“砂”の品質が一定ではなく一括りに評価できない。最高温度は高め。
パーミキュライト <b>組み合わせ試験実施</b>	100℃	パーミキュライト粒子の空隙を可燃ガスが流れ表面全体から炎が出た。	×	比重が小さいため、噴出ガスで飛ばされやすい
吸水ポリマー ① 高吸水性ポリマー BR-G1000 エコ・フレンドリー	160℃	激しい炎は抑えられなかったが、その後の炎はすぐに消火できた。	○	用事調製が必要（水を加え約2分攪拌）
吸水ポリマー ② 簡易トイレ 強力凝固・消臭剤 アズマ工業	50℃	激しい炎は抑えられなかった。後半は、凝固剤から水が分離している様だった。	◎	用事調製が必要（水を加え約2分攪拌）

出所：マテック

### ③ 防火シートの遮熱・耐熱・窒息性確認






防火シートへの要求性能を表 2-40 に示す。窒息性、遮熱性、耐熱性、耐久性等が要求される。各要求性能を確認するため、ガス透過性試験、遮熱試験、防火シートを LiB に被せた状態での着火試験、発火した LiB に防火シートを被せる試験を実施した。防火シート一覧を表 2-41 に示す。Bridgehill AS およびヒュアテムの製品は入手に非常に時間がかかり、かつ価格が高価であったため、特に重要な試験でのみ使用し、一部試験では使用していない。

表 2-40.防火シートへの要求性能

要求性能	概要	確認試験
窒息性	酸素を遮断する	ガス透過性試験
遮熱性	延焼を防ぐ	遮熱試験
耐熱性	炎が接触しても反応しない	防火シートをLiBに被せた状態での着火試験
耐久性	容易に穴が開かない	発火したLiBに防火シートをかぶせる試験

出所：マテック

表 2-41.防火シート一覧

用途	製造企業/国	問い合わせ先	製品名	写真	サイズ・重量	単価 (円/m <sup>2</sup> )	素材	性能			その他 保管方法、 保管時の 注意点
								耐熱温度	防火・ 消火性能	耐久性	
一般 用	吉野株式会社/日本		スパットシート プレミアムプラチナ4号 YS-PP-4		1920mm × 1920mm 3.6kg	1万円 以下	耐炎繊維織物 難燃シリコン 両面コーティング	記載なし	-	-	-
			シリカクロス4号 PS-1000-TO		1880mm × 1920mm 4.8kg	1万円	シリカ繊維織物	1,650℃以上	-	-	-
LiB 消火 用	栗田工業株式会社/ 日本		KURITA EP		2000mm × 2000mm 4.8kg	4~7万円	開発品のため 非公開	1200℃	窒息効果による 消火を狙う	1回	-
	Bridgehill AS/ ルウェー	YONE 株式会社	ファイヤーブランケット LITHUM		1920mm × 1920mm 8kg		パイロキシソ繊維 シリコンポリマー	1,600℃ (1分程度でその後 は800℃)	窒息効果による 消火を狙う	1回	日陰（屋内） などで保管。
	ヒュアテム/ 韓国	株式会社 アミスタ	ファイヤーブランケット		2000mm × 2000mm 2.3kg ※特注品		ガラス繊維と ハイシリカ特殊 防火コーティング	シルバー部分： 1,200~1500℃ 特殊防火コーティ ング部分：1,800~ 2,000℃近く	窒息効果による 消火を狙う	~30回程度 繰り返し 使用が可能	使い終わった後は 洗って乾燥させ、 綺麗に折りたたん で保管。

出所：マテック

## ・ガス透過性試験

プラスチック製の容器に、防火シートおよびドーナツ状のおもりを載せ密閉した状態でまず窒素を入れた。酸素濃度が 10%を下回ったところで、窒素の導入をやめ、容器内に空気中の酸素がどのくらい移行するか測定し、ガスの透過性を評価した。窒息性確認試験の様子を図 2-92 に、窒息性確認試験結果を図 2-93 に示す。窒息性は Bridgehill AS 製、栗田工業製が高い結果となった。

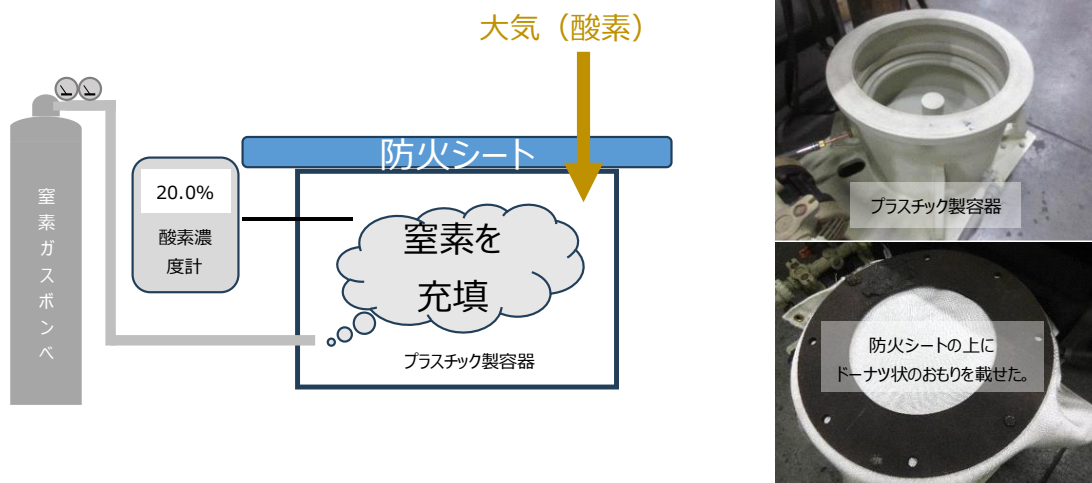


図 2-92.窒息性確認試験の様子

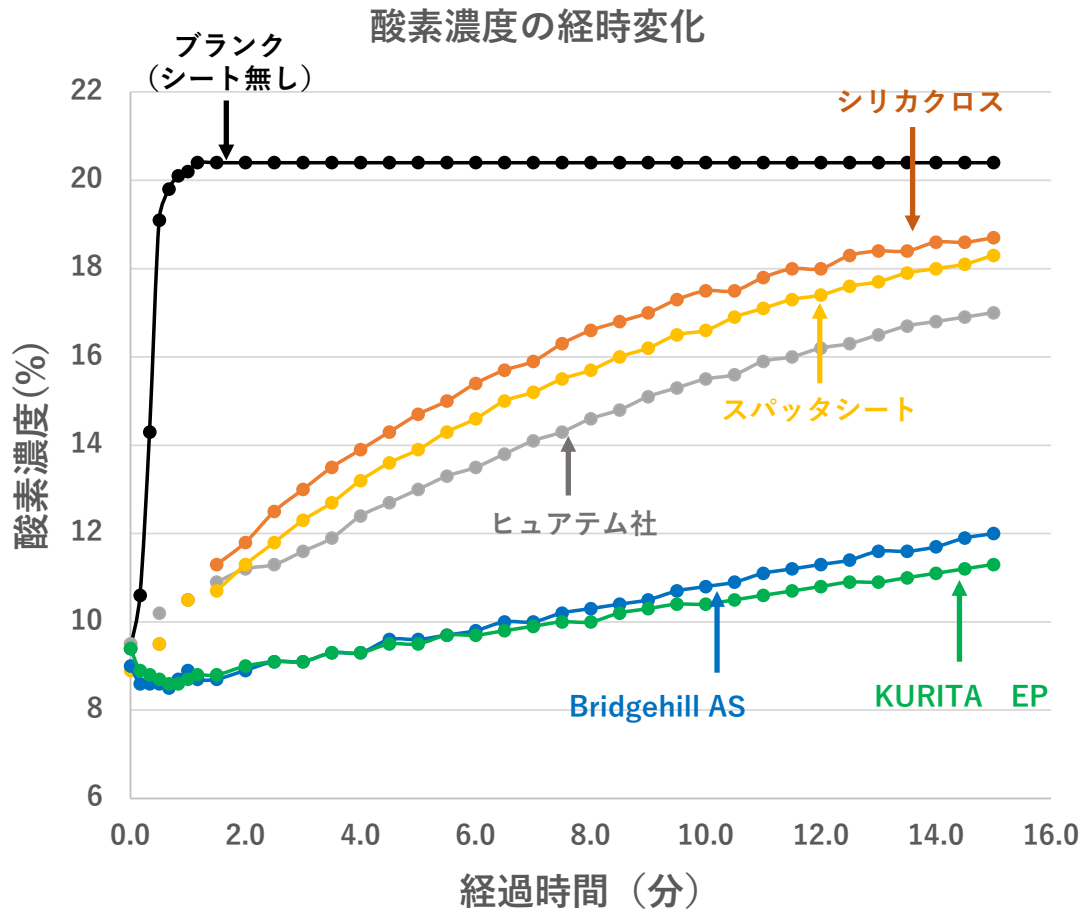


図 2-93.窒息性確認試験結果

## ・遮熱試験

生地 of 遮熱試験を図 2-94 に示す。JIS L 1951 の生地 of 遮熱性試験では、サンプルを透過した熱を測定し、遮熱率を算出している。本事業では、LIB 炎に対しての試験なので、パック燃焼試験で空間 of 最高温度だった 850℃程度 of 炎に対して十分な性能を持っているか確認をした。耐火レンガ of のうえに防火シートを設置し、850℃ of バーナーで一定時間炙り、シート上およびシート下 of 温度計測を実施した。

遮熱試験時 of 最高温度を表 2-42 に、遮熱試験時 of 温度挙動を図 2-95 に示す。Bridgehill AS 製、栗田工業製 of シートが温度を低く抑えられた。その次にスパッタシート、シリカクロスである。ヒュアテム社製 of シートは温度が最も高かった。

遮熱試験前および試験後 of 防火シート of 様子を表 2-43 に示す。変色するものはあったが、損傷は特に認められなかった。

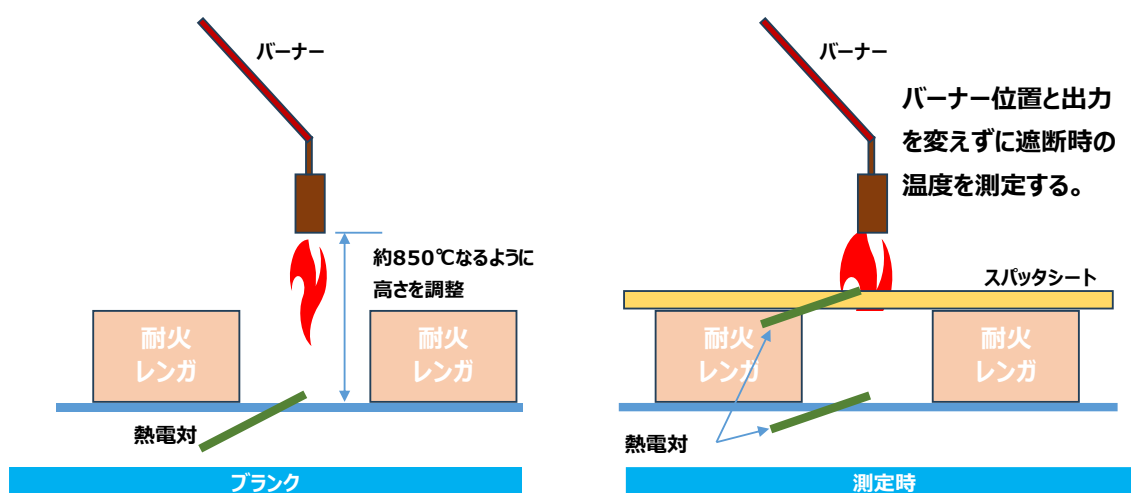
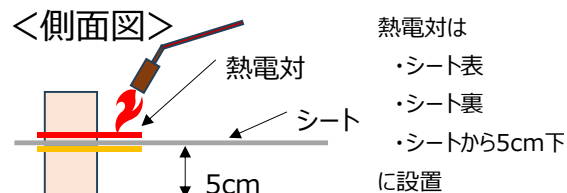


図 2-94. 生地 of 遮熱試験方法

出所：マテック

表 2-42. 遮熱試験時 of 最高温度

	5cm下
ヒュアテム社製 (銀)	240℃
ヒュアテム社製 (青)	230℃
スパッタシート	170℃
シリカクロス	155℃
KURITA EP	53℃
Bridgehill AS	70℃



## 温度挙動 (シートから5cm下)

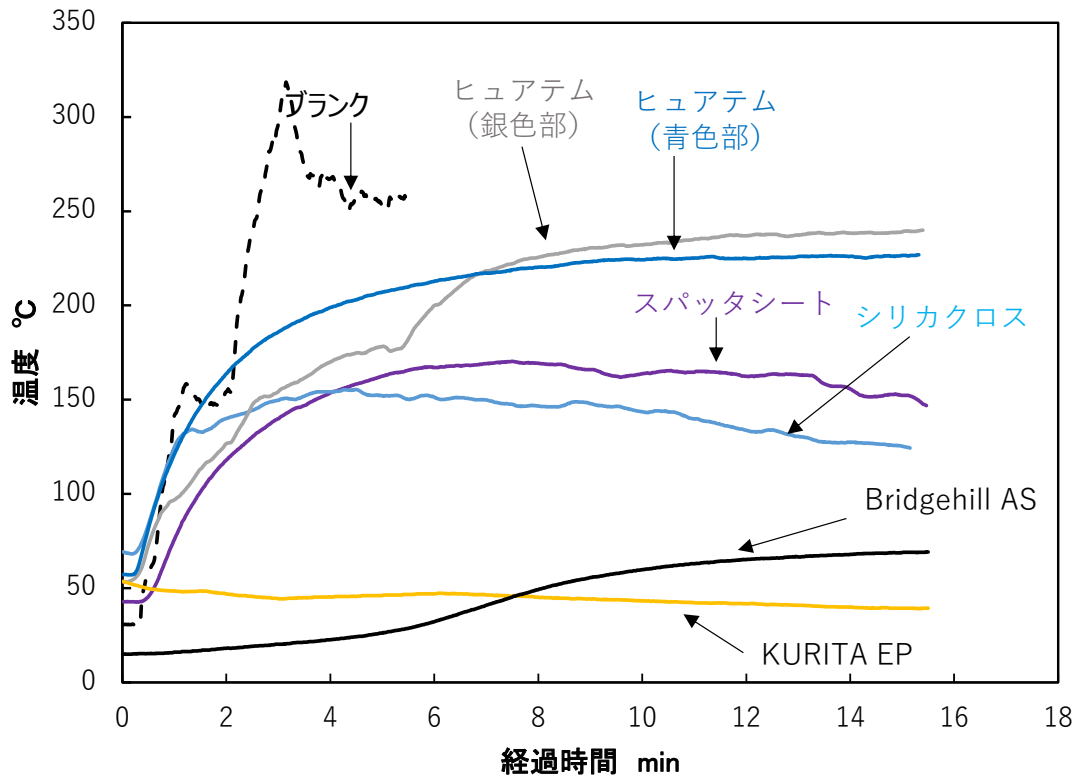


図 2-95. 遮熱試験時の温度挙動

表 2-43.遮熱試験前および試験後の防火シートの様子

企業・製品名	試験前	試験後
<p>吉野社製 スパッタシート プレミアムプラチナ4号 YS-PP-4</p>		
<p>吉野社製 シリカクロス4号 PS-1000-TO</p>		
<p>栗田工業 KURITA EP</p>		
<p>Bridgehill AS ファイヤーブランケット LITHUM</p>		
<p>ヒュアテム ファイヤーブランケット</p>		

出所：マテック

## ・ 防火シートを LiB に被せた状態での着火試験

発火した LiB の炎・熱をどれだけ外に逃がさないか確認を行うため、LiB のうえにシートを被せた状態でヒーターの電源を入れ LiB に着火し、その際のシート内側およびシート外側の温度を確認した。なお、LiB は LEAFZE1 であり、SOC100%に調整したセルを 2 個用いた。遮熱・耐熱試験方法を図 2-96 に、熱電対およびヒーター設置箇所模式図を図 2-97 に示す。なおこの試験は、複数枚入手可能な、シリカクロス、スパッタシート、栗田工業製のみで実施した。

防火シートを LiB に被せた状態で発火した際の様子を表 2-44 に、シート内側温度比較を図 2-98 に、シート外側温度比較を図 2-99 に示す。どの防火シートでも炎が漏れないように覆うことでシート外側の温度を 300℃以下に抑えられた。

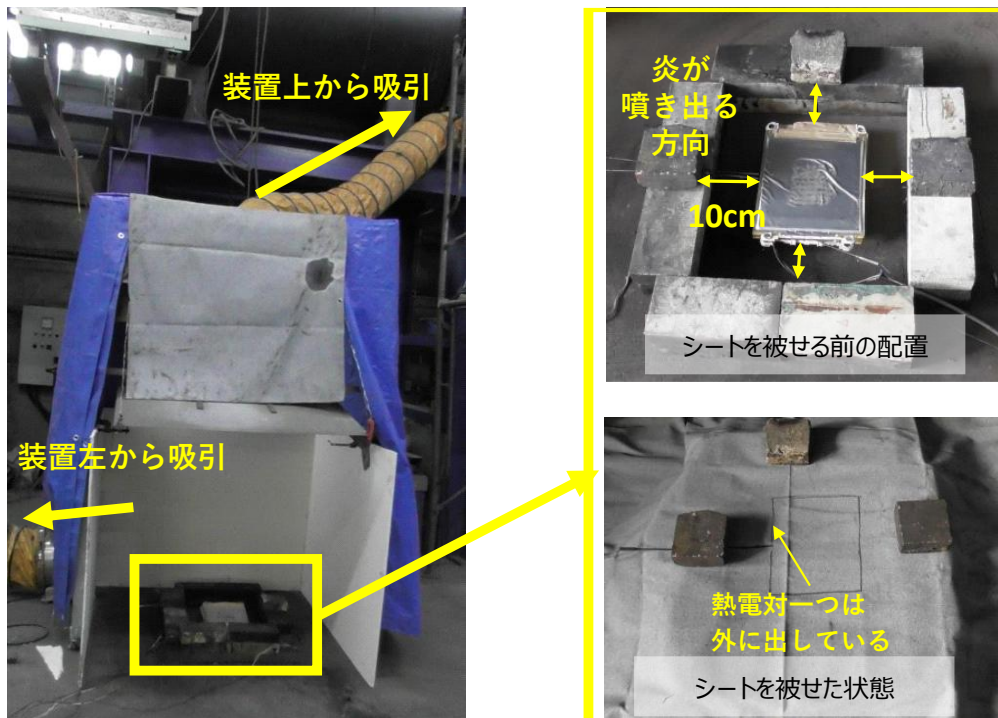


図 2-96.遮熱・耐熱試験方法

出所：マテック

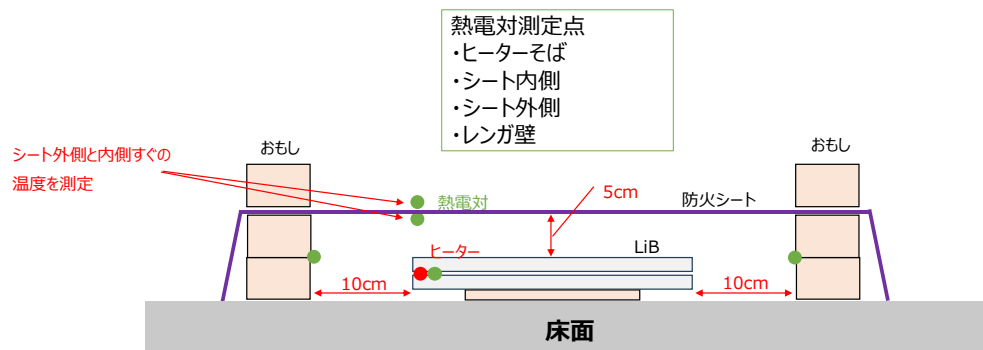











図 2-97.熱電対およびヒーター設置箇所模式図

出所：マテック

表 2-44.防火シートを LiB に被せた状態で発火した際の様子

企業・製品名	試験前	～1分	1～2分
吉野社製 スパッタシート プレミアムプラチナ4号 YS-PP-4			
吉野社製 シリカクロス4号 PS-1000-TO			
栗田工業 KURITA EP			

出所：マテック

### シート内側 温度比較

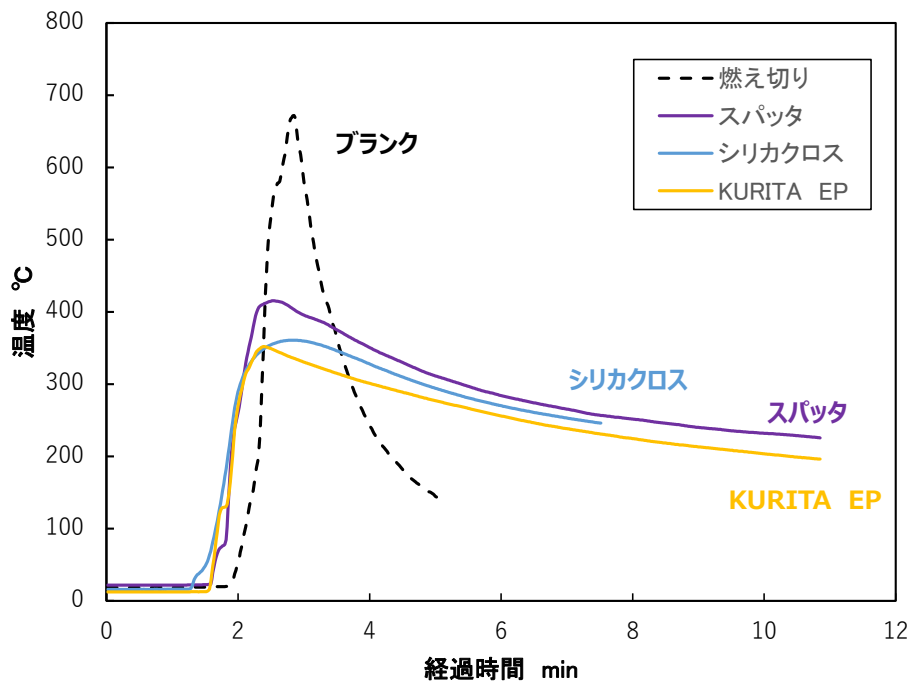


図 2-98.シート内側温度比較

出所：マテック

## シート外側 温度比較

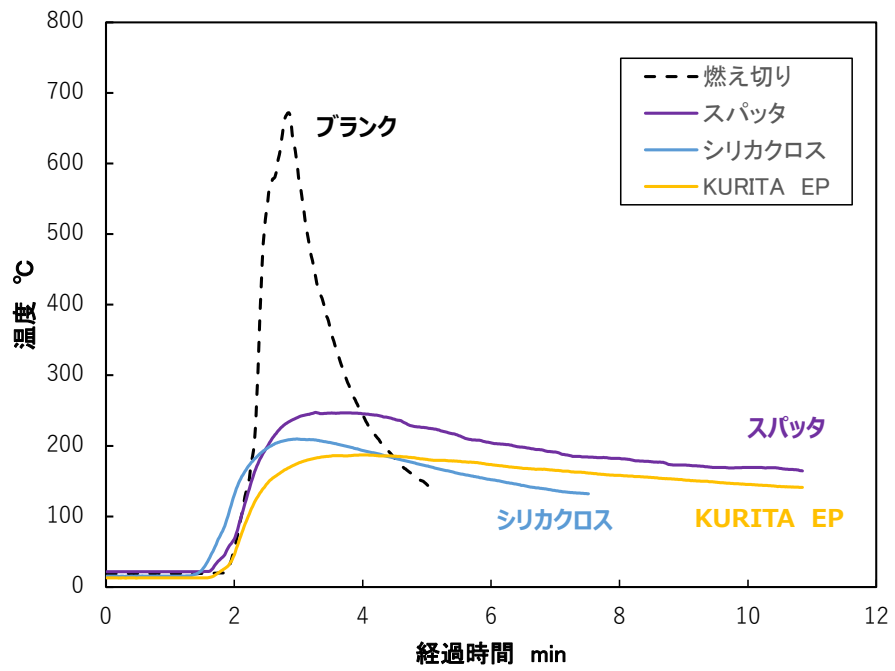


図 2-99.シート外側温度比較

出所：マテック

## ・ 防火シートによる LiB 消火試験 (2 セル)

LiB 発火後に防火シートを被せた場合、炎・熱をどれだけ外に逃がさないか確認を行うため、防火シートによる LiB 消火試験を実施した。防火シートを LiB に被せた状態での着火試験と同様に LiB を配置し、ヒーター加熱により着火、炎が出た後にシートを被せた。なお、LiB は LEAF ZE1 であり、SOC100%に調整したセルを 2 個用いた。まずは同方法で試験可能か確認を行うため、複数枚入手可能な、シリカクロス・スパッタシート・栗田工業製でプレ試験を行った。熱電対およびヒーター設置箇所模式図を図 2-100 に示す。温度測定点は、レンガ壁 2 か所と LiB 内部 1 か所、50cm 上方の合計 4 か所である。

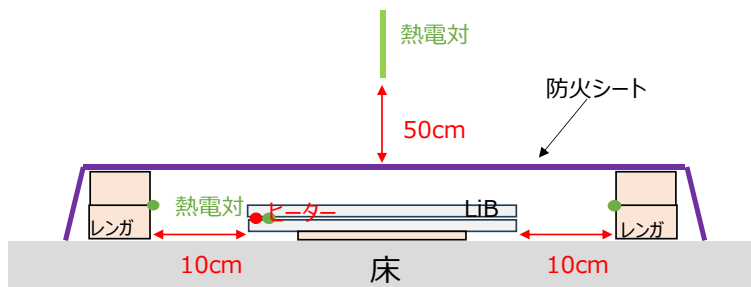


図 2-100. 熱電対およびヒーター設置箇所模式図 (2 セル試験)

出所：マテック

表 2-45. 発火した LiB に防火シートを被せた際の様子 (2 セル試験)

企業・製品名	試験時の様子
吉野社製 スパッタシート プレミアムプラチナ4号 YS-PP-4	
吉野社製 シリカクロス4号 PS-1000-TO	
栗田工業 KURITA EP	

出所：マテック

発火した LiB に防火シートを被せた際の様子を表 2-45 に示す。スパッタシートは、端から漏れた炎が引火し、若干シート中央でも炎が出た。シリカクロスは、シート中央から炎が突き出た。栗田工業製は、シート中央から炎は認められなかった。どのシートもシート端から炎があふれた。

.レンガ壁（炎が吹く側）温度比較を図 2-101 に、環境温度（50cm 上）温度比較を図 2-102 に示す。炎が出た後に防火シートを被せても内部の温度挙動は大きく変わらなかった（レンガ壁）。一方、50 cm上の温度はシートをかけることで 40℃以下となり、遮熱の効果が認められる（環境温度）。

### レンガ壁（炎が吹く側） 温度比較

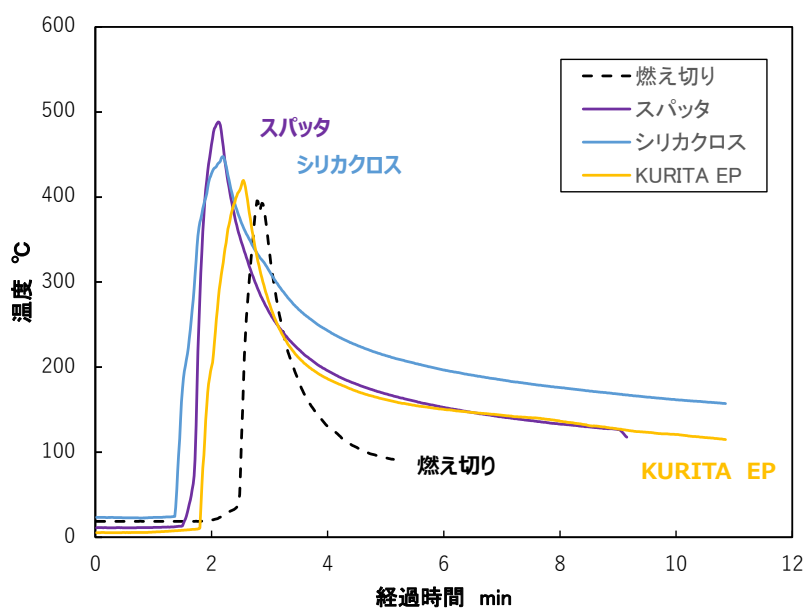


図 2-101.レンガ壁（炎が吹く側）温度比較

出所：マテック

## 環境温度（50cm上） 温度比較

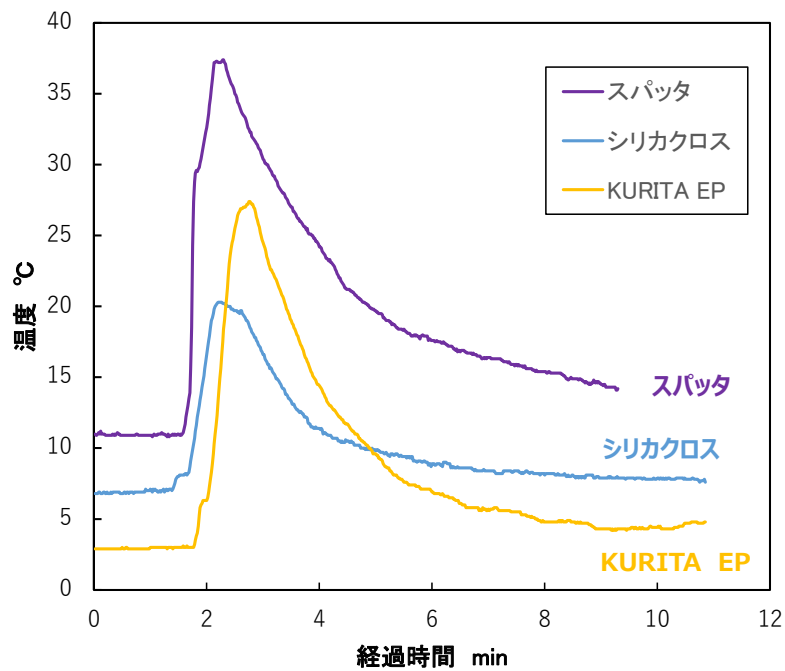


図 2-102. 環境温度（50cm 上） 温度比較

出所：マテック

### ・ 防火シートによる LiB 消火試験（8 セル）

2 セルでの試験で問題なくデータ取りができたため、入手が難しい防火シートも含めて、8 セルでの防火シートによる LiB 消火試験を実施した。使用した防火シートは、栗田工業製、Bridgehill AS 製、ヒュアテム製の 3 種である。

熱電対およびヒーター設置箇所模式図（8 セル試験）を図 2-103 に示す。LiB は LEAF ZE1 であり、SOC100%に調整したセルを 8 個用いた。4 セルと 4 セルの間にヒーターを設置した。ヒーター加熱により着火、炎が出た後にシートを被せた。















発火した LiB に防火シートを被せた際の様子（8 セル試験）を表 2-46 に示す。



図 2-103. 熱電対およびヒーター設置箇所模式図（8 セル試験）

出所：マテック

表 2-46. 発火した LiB に防火シートを被せた際の様子 (8セル試験)

栗田工業 KURITA EP	被せた直後	1分経過	5分経過	被せたシートを開ける (7分後)	
					
	被せた直後	1分経過	5分経過	10分経過	被せたシートを開ける (10分後)
					
ヒュアテム ファイヤーブラン ケット	被せた直後	1分経過	5分経過	10分経過	被せたシートを開ける (10分後)
					

出所：マテック

栗田工業製防火シートでの温度変化を図 2-104 に示す。栗田工業製防火シートは、シート中央部からの煙や炎の漏れは認められなかった。50cm 上方の空間温度も最大 45℃に抑えられていた。

Bridgehill AS 製防火シートを図 2-105 に示す。Bridgehill AS 製の防火シートは、シート中央部からの煙や炎の漏れは認められなかった。50cm 上方の空間温度も最大 46℃に抑えられていた。

ヒュアテム製防火シートでの温度変化を図 2-106 に示す。ヒュアテム製の防火シートはシート中央部からの煙や炎の漏れが認められた。50cm 上方の空間温度は最大 110℃まで上昇した。

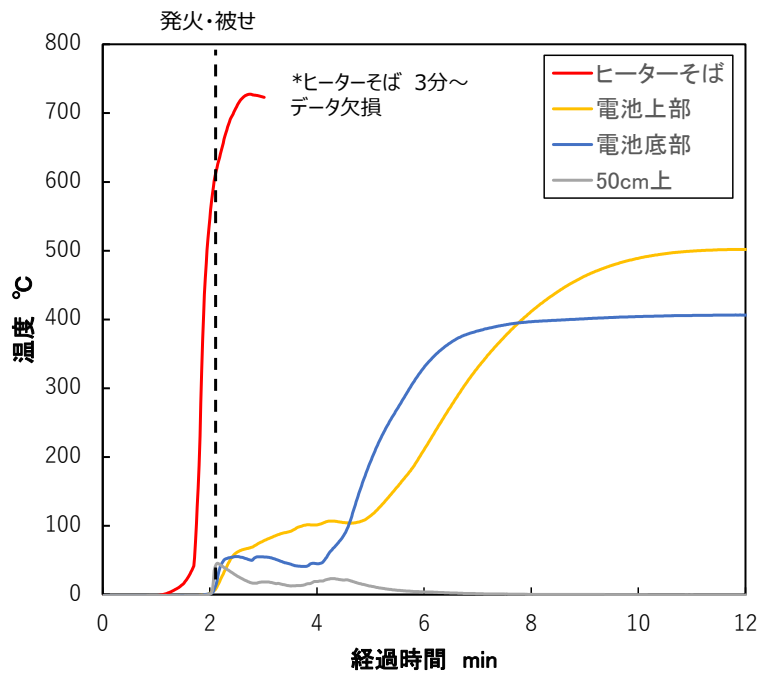


図 2-104.栗田工業製防火シートでの温度変化

出所：マテック

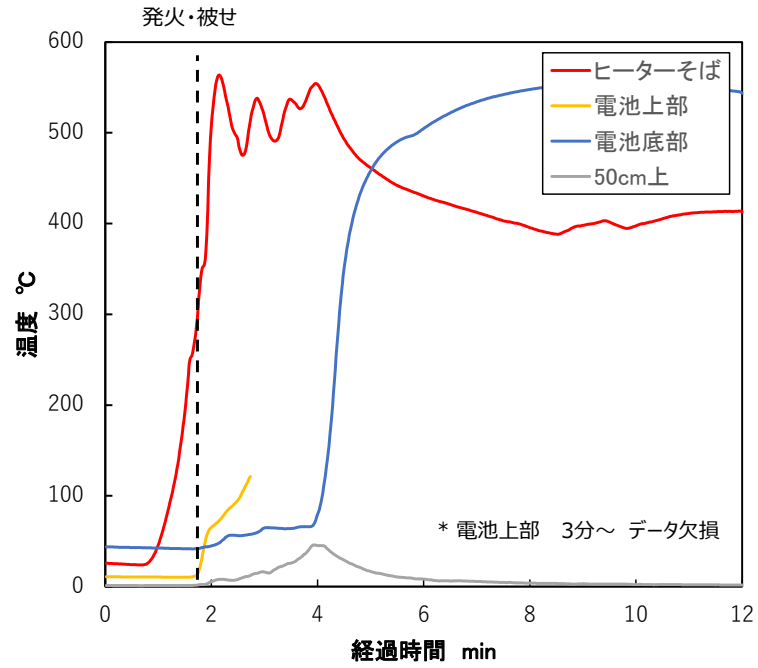


図 2-105. Bridgehill AS 製防火シートでの温度変化  
出所：マテック

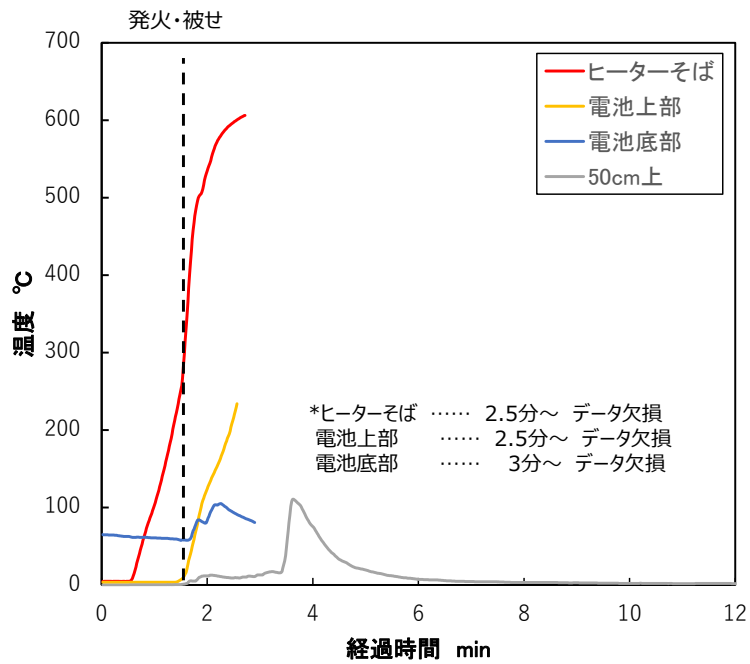


図 2-106. ヒュアテム製防火シートでの温度変化  
出所：マテック

防火シート別電池上部温度比較を図 2-107 に示す。ヒュアテム、Bridgehill AS 製防火シートは 2 分過ぎからデータ欠損した。急激な温度上昇により熱電対が損傷したものと考えられる

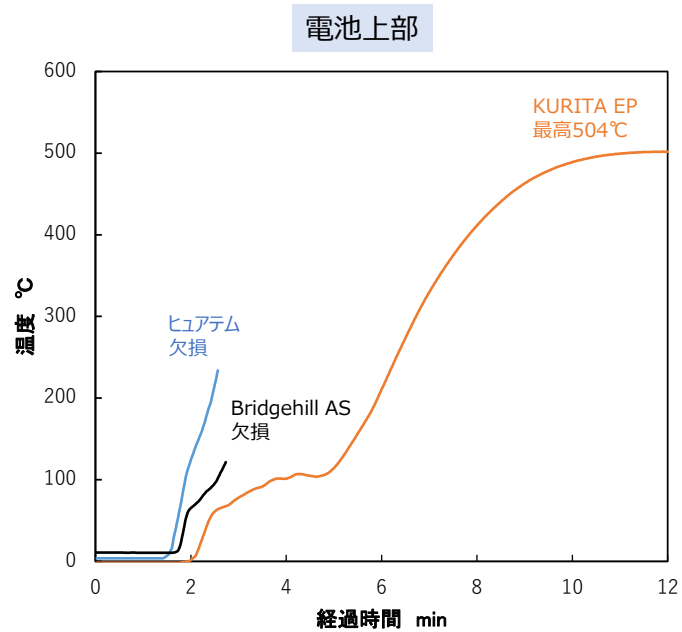


図 2-107.防火シート別電池上部温度比較

出所：マテック

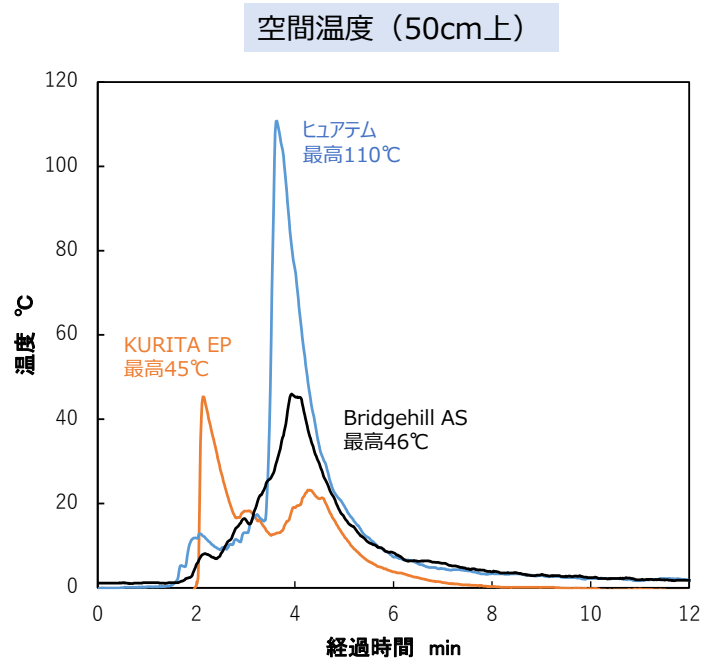


図 2-108.防火シート別空間温度比較

出所：マテック

防火シート別空間温度比較を図 2-108 示す。炎や煙が抜けていたヒュアテムが空間温度も高くなった。

栗田工業製、Bridgehill AS 製防火シートは共にシート中央部からは炎が出ず、良好な結果だった。シート端からの出火を防ぐことができれば、延焼を防ぐことができると考えられる。なお、シートの端からの炎は、シートのサイズにより炎の多寡が変わるので、シート中央部の挙動で性能を判断した。

#### ・防火シート評価（組み合わせ試験選定）

セルでの防火シートの評価結果を表 2-47 に示す。窒息性、耐熱性、遮熱性の観点から、Bridgehill AS 社製および栗田工業製の防火シートを選定した。ただしこの 2 種は比較的価格が高価であるため、安価な防火シートとして、性能は若干劣るがスパッタシートも含めて組み合わせ試験を実施することとした。

表 2-47. セルでの防火シートの評価結果

	窒息性	耐熱性 (850℃、15分)	遮熱性 (シートから5cm 離れた位置の温度)
吉野社製 スパッタシート プレミアムプラチナ4号 YS-PP-4	×	◎	○ (155℃)
吉野社製 シリカクロス4号 PS-1000-TO	△ <b>組み合わせ試験実施</b>	◎	○ (170℃)
栗田工業 KURITA EP	◎	◎	◎ (53℃)
Bridgehill AS ファイヤーブランケット LITHUM	◎	◎	◎ (70℃)
ヒュアテム ファイヤーブランケット	△	◎	△ (230℃)

出所：マテック

### (3) モジュールによる組み合わせ消火試験

組み合わせによるモジュール消火試験を表 2-48 に示す。専用品より性能は落ちるが、比較的良好な耐熱・遮熱性を持つスパッタシートと消火器・消火剤を組み合わせるモジュール消火試験を行った。スパッタシートで効果が実証された場合、LiB専用の防火シートでも効果があるといえる。

組み合わせ試験の実施方法を図 2-109 に示す。LiBはLEAF ZE1であり、SOC100%に調整したセルを8個用いた。4セルと4セルの間にヒーターを設置した。ヒーター加熱により着火、炎が出た後に消火器または消火剤をすべてかけ、その後スパッタシートを被せた。

表 2-48. 組み合わせによるモジュール消火試験

	防火シート	消火剤	消火器	期待される効果/狙い
試験①	スパッタシート	—	—	ブランク試験 比較的安価ながら、遮熱と防災の効果が 高いスパッタシートのみで試験。初期の激しい 炎による延焼を食い止める。
試験②		—	強化液（中性）消 火器	初期の激しい炎を抑えることは難しいが、消 火器が一時的に火勢を弱め、シートを被せ る際の安全性を高める
試験③		吸水ポリマー① （エコフレンドリー）	—	初期の激しい炎を抑える事は難しいが、含 有する水により冷却、延焼を食い止める
試験④		吸水ポリマー② （トイレ凝固剤）	—	初期の激しい炎を抑える事は難しいが、含 有する水により冷却、延焼を食い止める

出所：マテック

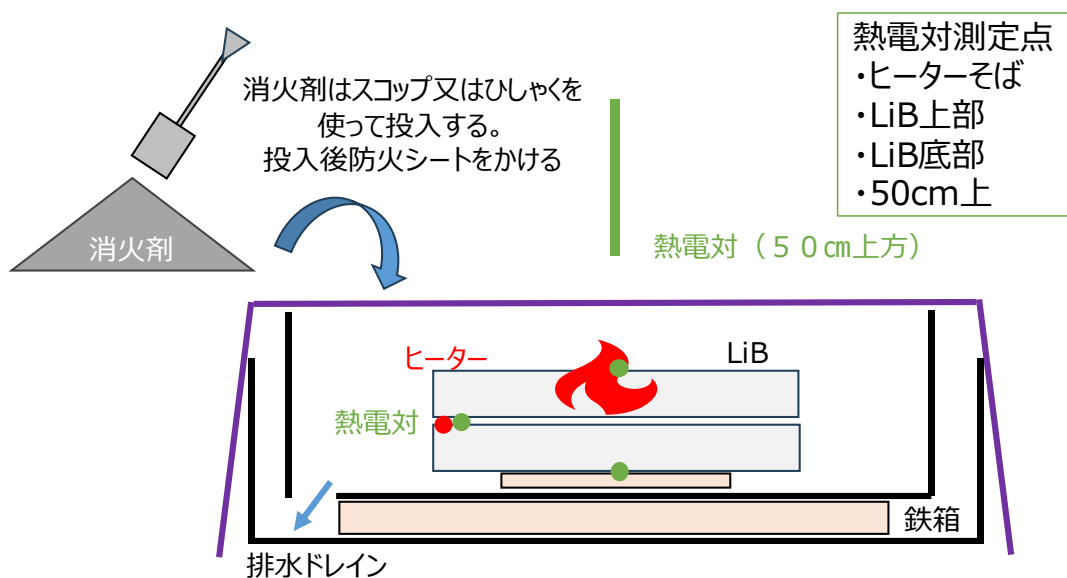


図 2-109. 組み合わせ試験の実施方法

出所：マテック

表 2-49.組み合わせ試験の様子

<b>試験①</b> 吉野社製 スパッタシート プレミアムブラチ ナ4号 YS-PP-4	被せた直後	1分経過	5分経過	10分経過	被せたシートを開ける (10分後)
					
	消火剤投入終了直後	1分経過	5分経過	10分経過	被せたシートを開ける (10分後)
					
<b>試験②</b> スパッタシート+ 強化液 (中性) 消火器	消火剤投入終了直後	1分経過	5分経過	10分経過	被せたシートを開ける (10分後)
					
	消火剤投入終了直後	1分経過	5分経過	7分経過	被せたシートを開ける (7分後)
					
<b>試験③</b> スパッタシート+ エコフレンドリー	消火剤投入終了直後	1分経過	5分経過	7分経過	被せたシートを開ける (7分後)
					
	消火剤投入終了直後	1分経過	5分経過	7分経過	被せたシートを開ける (7分後)
					
<b>試験④</b> スパッタシート+ トイレ凝固剤	消火剤投入終了直後	1分経過	5分経過	7分経過	被せたシートを開ける (7分後)
					
	消火剤投入終了直後	1分経過	5分経過	7分経過	被せたシートを開ける (7分後)
					

出所：マテック

組み合わせ試験の様子を表 2-49 に、試験①スパッタシートのみ温度変化を図 2-110 に、試験②スパッタシート+強化液（中性）消火器を図 2-111 に、試験③スパッタシート+エコフレンドリーを図 2-112 に、試験④スパッタシート+トイレ凝固剤を図 2-113 に示す。

試験①スパッタシートのみ試験では、シート中央部からの煙や炎の漏れはなかった。

8セルの炎に対しても、延焼を防ぐことは可能だと考えられる。また、内部で燃焼している様子はみられなかった。

試験②のスパッタシート+強化液（中性）消火器の試験では、スパッタシート単独よりも電池上部の温度は下がっており、消火器の効果が出ていると考えられる。鎮火までの時間短縮はできると考えられる。

試験③のスパッタシート+エコフレンドリー試験では、シートを被せたのちに、電池上部と電池底部で 100℃を維持している時間帯があった。

試験④のスパッタシート+トイレ凝固剤試験では、データの欠損があったため正確に判断できないが、電池底部が 100℃を維持している時間があつた。

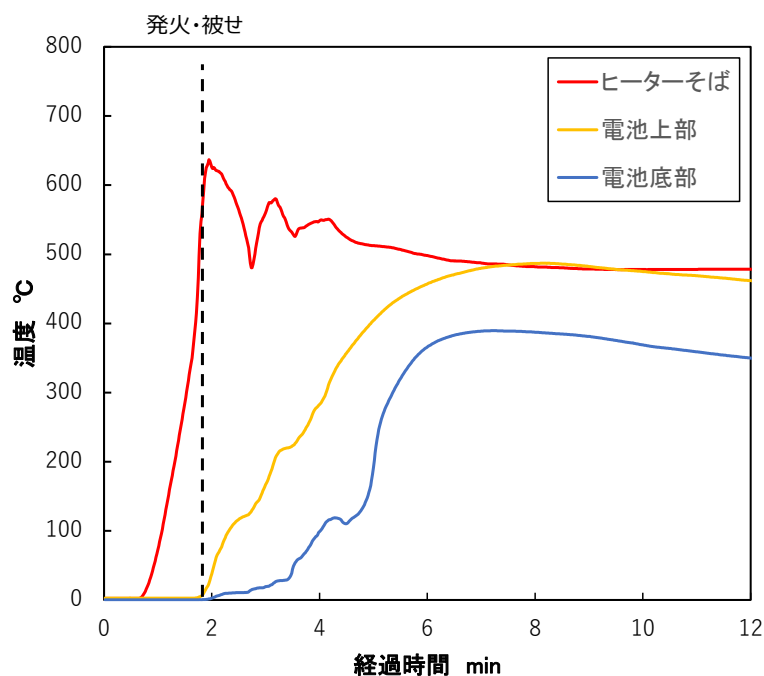


図 2-110.試験①スパッタシートのみ温度変化

出所：マテック

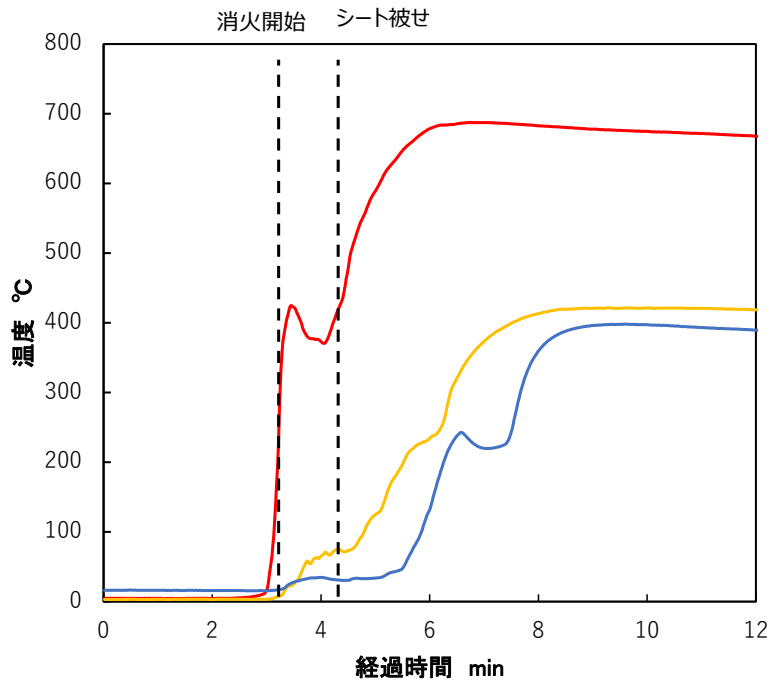


図 2-111.試験②スパッタシート+強化液（中性）消火器の温度変化  
出所：マテック

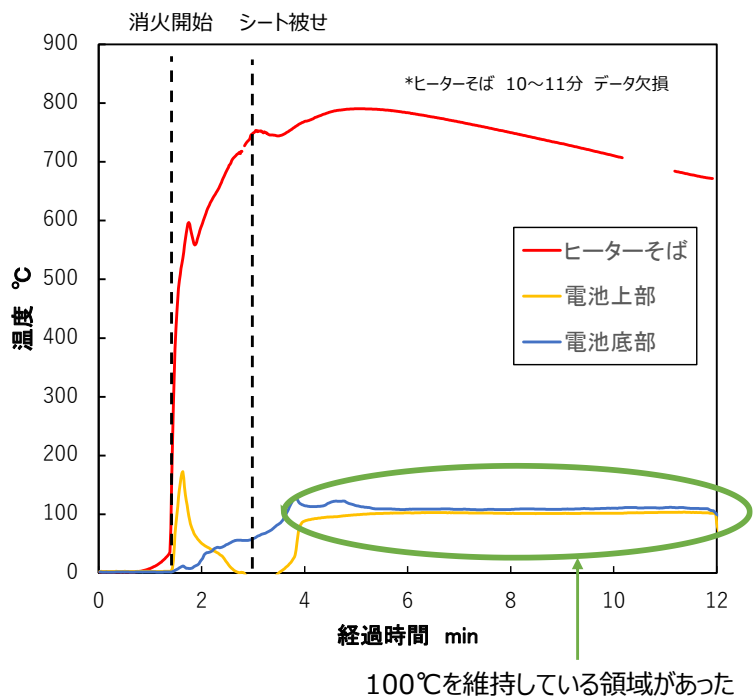
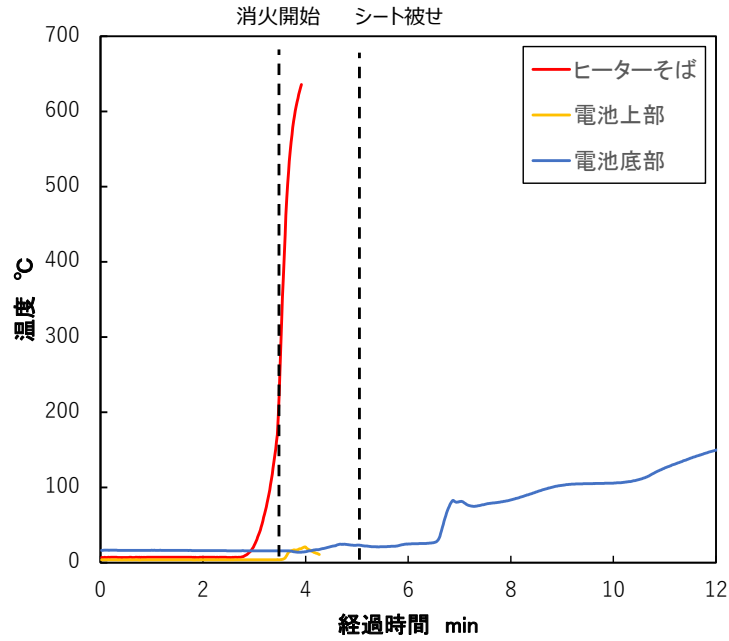


図 2-112.試験③スパッタシート+エコフレンドリーの温度変化  
出所：マテック



\*ヒーターそば …… 4分～ データ欠損  
 電池上部 …… 4分～ データ欠損

図 2-113.試験④スパッタシート+トイレ凝固剤の温度変化

出所：マテック

組み合わせ試験別電池上部温度比較を図 2-114 に示す。エコフレンドリーが 100°Cを維持している領域がみられた。

組み合わせ試験別環境温度比較を図 2-115 に示す。エコフレンドリーは、シートを開けている投入中に高温を記録したが、シートを被せてからは低温になった。空間温度はどの組み合わせも温度を低く維持できた。

### 電池上部

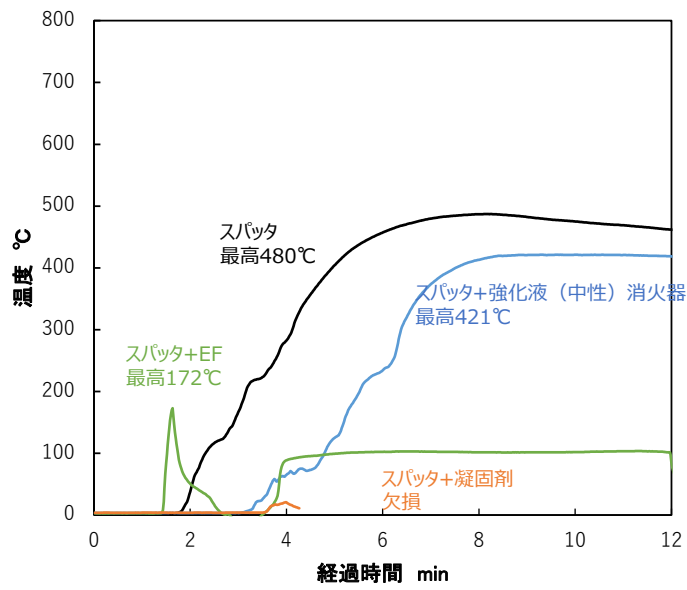


図 2-114.組み合わせ試験別電池上部温度比較

出所：マテック

### 環境温度 (50cm上)

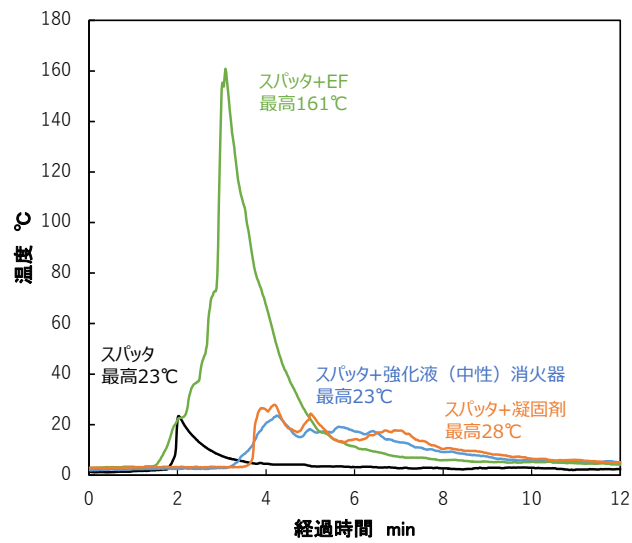



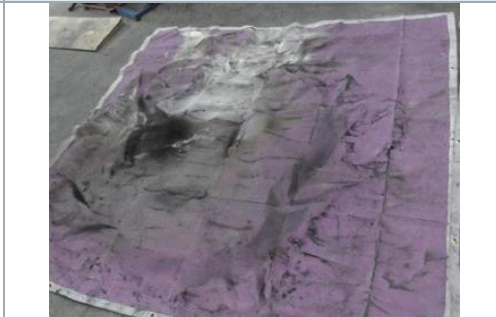


図 2-115.組み合わせ試験別環境温度比較

出所：マテック

組み合わせ試験後のシートの様子を表 2-50 に示す。どの試験のスパッタシートも黒く焦げた跡があるが、穴が開くほどの損傷はみられなかった。

表 2-50.組み合わせ試験後のシートの様子

<b>試験①</b> 吉野社製 スパッタシート プレミアムプラチナ4号 YS-PP-4	<b>試験②</b> スパッタシート+強化液（中性）消火器
	
<b>試験③</b> スパッタシート+エコフレンドリー	<b>試験④</b> スパッタシート+トイレ凝固剤
	

出所：マテック

#### (4) 評価

2025 年度の試験結果から、2026 年度の消火試験において検討すべき品目の絞り込みを行った。消火剤・消火器・防火シートの評価結果を表 2-51 に示す。消火剤ではトイレ凝固剤、エコフレンドリー共に冷却効果が認められた。エコフレンドリーのほうがある程度塊で扱えるため、扱いやすさという点でより優れていると判断した。

消火器については、一定の冷却効果はあったものの、消火剤ほどの冷却効果はなく、モジュールレベルで 2 本でも鎮火できなかつたため、除外した。

防火シートについては、スパッタシートが価格も安価で遮熱、耐熱、窒息性が良好であったことから選定した。LiB 専用の栗田工業社製シート、Bridgehill AS 製シートはスパッタシートよりも高価ではあるものの、性能は優れていることから、スパッタシートでは対応できなかった場合の代替案として検討を継続することとした。

ヒュアテム社製の防火シートについては、防火性能に課題があると判断し、検討を終了することとした。

表 2-51. 消火剤・消火器・防火シートの評価結果

		温度上昇抑制	扱いやすさ	総合評価	備考
消火剤	トイレ凝固剤	○	×	×	水気により温度は下がったが、火が出ているところにかけるのは難しい
	エコフレンドリー	◎	△	△	温度は下がって、一定の効果は見られたが、火が出ているところにかけるのは難しいが、トイレ凝固剤よりは扱いやすい。
消火器	強化液（中性）消火器	×	○	×	冷却効果は一定あったが、モジュールにおいて 2 本でも消えなかつた。
		遮熱性	耐熱性	窒息性	備考
防火シート	スパッタシート	○	◎	◎	価格が最も安くて、窒息性もある。
	栗田工業社製シート	○	◎	◎	窒息性は良好だが、価格が高い。
	Bridgehill AS 製シート	—	◎	◎	窒息性は良好だが、価格が高い。入手に時間がかかる。
	ヒュアテム社製シート	—	◎	×	火が漏れ出ており、窒息性に問題。

※比較して優れていると判断したものを網掛け表示

## (5) パック・車両延焼防止試験の方向性

パック・車両延焼防止試験の目的と目標（再整理）を表 2-52 に示す。これまでの消火試験結果を踏まえ、改めて消火試験の目的と目標、マニュアルに反映するためのシチュエーション別の消火方法の方向性を整理した。

試験の目的は異常電池および事故車（xEV）が発火した際に、鎮火可能な方法、または消防到着までの延焼を防ぐ方法を提示することであり、それら方法は解体事業者が配備可能な実効性の高い方法とする。目標は消防到着までの延焼防止である。それら延焼防止策として、消火器または消火剤および防火シートの組み合わせによる方法を検討する。

表 2-52. パック・車両延焼防止試験の目的と目標（再整理）

項目	概要		
本試験の目的	異常電池及び事故車（xEV）が発火した際に、鎮火可能な方法、または消防到着までの延焼を防ぐ方法を提示する。 なおそれら方法は解体事業者が配備可能な実効性の高い方法とする。		
本試験の目標	消火器で火の勢いを弱めて、冷却し、防火シート/砂等により窒息させて、延焼防止（消防到着までの時間を確保する）を目指す。 ※防火シートをかけていれば火が漏れないことはできる可能性があるが、空気が入った瞬間に再燃する可能性がある。何時間で鎮火と判断しにくく、また鎮火判断は消防が実施するため。		
検討品	消火器	温度挙動 炎が消えるまでの時間	火の勢いを弱め、冷却効果を持たせる
	消火剤	温度挙動 炎が消えるまでの時間	火の勢いを弱め、冷却効果を持たせる、一部窒息効果期待
	防火シート	耐火性・耐久性 遮熱性 温度挙動 窒息性	火災が発生した際に使用し、火を他に延焼させない、LiBを窒息させる

出所：マテック

事業開始当初は、異常電池の消火・鎮火のみを目的としており、厳密にシチュエーション別での対応方法を検討できていなかった。



2024年度、2025年度の燃焼挙動確認や消火試験などから、LiBは一度自燃が開始してしまうと、冷却効果単独では火の勢いを一定時間抑えるまたは鎮火を目指すことが難しいことが分かってきた。異常電池は損傷を受けていないLiBと異なり、いつ発火が発生してもおかしくない状況にある。そのため、明らかに異常電池と分かる場合には、少なくとも周囲2mには物を置かない、または発火しても延焼を防げる防止策が必要と考える（燃焼挙動確認において、燃焼物が2m程度は飛散していたため）。解体事業者のなかには敷地スペースにゆとりのある事業者は多くないため、基本として延焼を防止する形で保管する方法を検討した。また異常電池発火時について、初期対応可能で人員の安全を確保したうえで消火が可能な場合と、既に炎が大きくなっており、人が近づけない場合の2パターンを整理した。車両保管時、車両火災時についても同様に検討を行った。異常電池および事故車の保管時、発火時の状況からの対応方法を表2-53に示す。

異常電池保管時について、延焼防止策として、鉄箱等に異常電池を保管し、鉄箱のうえに防火シートを被せる方法を検討している。また発火の危険性が高いが、すぐに塩水放電を実施できない場合は、吸水性ポリマーをドラム缶等に用意しておき、発火時にすぐに消火対応できるようにするという方法が考えられる。

異常電池発火時で電池に近づける場合は延焼しないようにする、または緩やかに延焼反応を抑える取り組みを行う。これが今回検討している組み合わせによる消火試験となる。どの組み合わせが最も効果的な方法かを含め、今後のパック試験で検討する必要がある。

異常電池発火時で電池に近づけない場合は、消火を試みずに、可能であれば周りに延焼しないように、異常電池周辺にあるものを動かし、人員の安全を確保する。

表 2-53. 異常電池および事故車の保管時、発火時の状況からの対応方法

状況		目標	対応方法	2026年度試験
電池	異常電池保管時	発火した場合に、延焼しないようにする。	鉄箱に異常電池を入れて、鉄箱の中に絶縁シートを置いて、その上に電池を置く。鉄箱の上に防火シートを覆う。発火の危険性が高い場合はエコフレンドリーに水を入れて、ドラム缶に用意しておく。	<b>【組み合わせによる延焼防止効果確認】</b> 
	異常電池発火時（近づける場合）	延焼しないようにするまたは緩やかに延焼反応を抑える。	上記保管状況から発火した場合、防火シートの上から、エコフレンドリーをかけ冷却を行う。	
	異常電池発火時（近づけない場合）	可能であれば周りに延焼しないように、異常電池周辺にあるものを動かし、人員の安全を確保する。	周りに燃え広がらないように、可能な範囲で物を動かし、遠くから水をかけ続ける	-
車両	事故車保管時	発火した場合に、延焼しないようにする。	防火シートをかぶせて、他の車両から数m離して保管する。	<b>【防火シートによる延焼防止効果確認】</b> 
	事故発火時	人の安全確保。	消防に速やかに通報し、避難する	-

出所：マテック

事故車両保管時について、発火した場合に、延焼防止のため、防火シートを被せて、他の車両から何 m か離して保管する方法が考えられる。ただし、防火シートは安価なスパッタシートでよいのか、または LiB 専用のシートが必要となるのかなどを含めて今後の車両試験で確認していく必要がある。

事故車発火時については、人の安全確保を第一に、消防に速やかに連絡し非難する。

異常電池および事故車の保管時、発火時の状況からの消火対応を検討し、そのうえで 2026 年度の消火試験方法を決定した。2026 年度の延焼防止試験予定を表 2-54 に示す。





まずは車両の燃焼挙動を確認し、燃焼時間や周囲への影響（危険度）等を把握する。同試験においては、燃焼反応を最大化するように LiB を満充電状態で実施する。なお、車両燃焼時の発生ガスについては、LiB だけでなく樹脂や塗料等の成分も含有することになると推測されるため計測は行わない。

事故車または異常電池発火時の対応（消火等）方法検討では、パックでは防火シート単独試験、また消火剤との組み合わせによる試験を行う。スパッタシート、栗田工業製シート、Bridgehill AS 製シートのいずれか 2 種を用いて試験を行う。同試験においても、燃焼反応を最大化するように LiB を満充電状態で実施する。

なお組み合わせ試験では防火シートは最も安価なスパッタシートのみを利用する予定である。スパッタシートで効果が期待できれば、LiB 専用の防火シートでも同等以上の結果が得られると推測する。同試験においても、燃焼反応を最大化するように LiB を満充電状態で実施する。

そのほか、車両での防火シートによる延焼防止試験では、防火シートのいずれか 2 種による延焼防止試験を実施する。延焼防止効果、防火シート使用時の被せ方のポイントなどを確認する。同試験においても燃焼反応を最大化するように LiB を満充電状態で実施する。

表 2-54.2026 年度の延焼防止試験予定

項目				確認事項
事故車、異常電池発火時の状況提示 (消火しなかった場合の車両の燃焼挙動の確認)	車両での燃焼試験		1台	 ・燃焼時間 ・車体温度 ・周辺温度 ・輻射熱 ・周辺の飛散物および距離
事故車又は異常電池発火時の対応 (消火等) 方法検討	パックでの延焼防止試験	①防火シート単独試験 (スパッタシート、栗田工業製シート、Bridgehill AS製シートのいずれか2種)	2パック	防火シート 絶縁シート 鉄箱  異常電池 ・燃焼時間 ・パック温度 ・防火シート外への火の漏れ ・周辺温度 ・輻射熱 ・周辺の飛散物および距離 ・鎮火時間
		②消火剤（エコフレンドリー）×防火シート（スパッタシート）	1パック	エコフレンドリー 防火シート 絶縁シート 鉄箱  異常電池
	車両での延焼防止試験	③防火シート2種による試験	2台	 防火シート ・燃焼時間 ・車体温度 ・周辺温度 ・輻射熱 ・周辺の飛散物および距離 ・鎮火時間

出所：矢野経済研究所

### 2.2.5. マニュアル作成

2026年度でマニュアル案の作成、自工会・JARPチェック、リーガルチェックなどを経て、マニュアル動画の作成も行っていく予定である。塩水放電のマニュアルを作成していく。

2.2.2(4)3 社の結果から把握したマニュアルに反映すべき内容を踏まえて、作成を進めていく。

消火関連の内容については、2026年度も試験が残っており、それらの結果を踏まえて、解体事業者にとって実行しやすい発火時の対応策を提示していく。

## 2.3. 今後の調査等実施における課題および解決方法

### 2.3.1. 今後の調査等実施における課題

現時点の課題は、以下2点である。

- 異常電池の安全な失活方法（塩水放電方法）の提示
  - LiB搭載の事故車および異常電池の安全な保管方法、発火時の対応方法の提示
- そのうえで、問題としては以下4点が挙げられる。

#### (1) 24kWh以上の高容量LiBの塩水放電による失活

24kWhまでのLiBについて、0.5%濃度での3日間での塩水放電が可能ということが確認できた。近年はより大容量のLiBが搭載された車種が登場している（例：トヨタ bZ4Xは57.7kWhと74.7kWh）。これらのLiBも0.5%濃度での3日間での塩水放電の失活処理が可能か不明である。

#### (2) 発火時の対応方法

これまでの実証から、LiB発火後に解体事業者が消火を行うことは、非常に困難であることが分かった。そのため、まずは延焼させないような保管方法を併せて提案することが重要であると考ええる。

モジュールレベルでは防火シートは延焼させないという点で非常に有効であると確認ができた。この防火シートに消火剤を組み合わせることで冷却効果が加わることが分かったが、防火シートのうえから消火剤を載せることでも冷却効果があるのかは不明である。

車両については、解体事業者による消火はほぼ不可能と考え、防火シートによる延焼防止を検討している。最も安価なスパッタシートが有効であることが望ましいが、どれほどの効果があるのかは未知数である。

#### (3) マニュアルとしての記載範囲

塩水放電については、24kWhまでは作業者の安全性を担保したうえで、安全に失活する方法を提示できる見込みである。

一方で異常電池および車両の保管・発火時の対応方法については、有効であると考えられる方法の提示は可能であるが、あくまで推奨レベルでマニュアル化は難しいと考える。

#### (4) マニュアルの適切な運用・管理

2024年度の自動車メーカーのアンケート結果、2024年度、2025年度の塩水放電試験、燃焼挙動確認試験などをもとに、解体事業者向けのマニュアル（案）を作成中である。事業終了後の本マニュアルの位置づけ、管理者等が明確になっていない。

本事業はJ-FARより委託を受け、マテックが代表事業者として、JAERA、矢野経済研究所が共同事業者として事業を行っている。そのため、本事業で作成したマニュアルはJ-FAR帰属となると認識しているが、J-FAR自体は異常電池を管理する立場にはない。そのため、本マニュアルの公表や、問い合わせ対応、また改訂版の作成など、本事業の結果を有効に活用していくためには、適切な管理者を設定する必要がある。

### 2.3.2. 課題の解決方法

#### (1) 24kWh以上の大容量LiBの塩水放電による失活

当初予定にはなかったが、2026年度においてさらに大容量のLiBでの塩水放電が可能か追加確認を実施することで、将来においても有効な塩水放電方法であるかを予め確認しておく必要がある。

#### (2) 発火時の対応方法

パックレベルで防火シート単独または消火剤と組み合わせたときの延焼防止効果、周囲への影響など確認する。

車両レベルでは防火シート単独での延焼防止効果、周囲への影響などを確認する。これらの結果をもとに、効果が高くかつ最も安価な異常電池保管時および発火時の推奨対応方法を提示する。

#### (3) マニュアルとしての記載範囲

塩水放電については安全に実施するためのマニュアルを作成する。異常電池の保管方法・発火時の対応については、安全上の問題から、マニュアル化することは難しく、推奨レベルで記載する。

#### (4) マニュアルの適切な運用・管理

マニュアルの位置づけ、管理者等について、内容の作成とともにJ-FAR、自工会、JARPを含め相談を行っていく。