

平成30年度省CO<sub>2</sub>型リサイクル等設備技術実証事業

(車載用等の使用済リチウムイオン電池の  
低炭素型リサイクルシステム実証事業)

報告書

平成31年2月28日



太平洋セメント株式会社



## 目次

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. 実証事業の実施</b> .....                     | <b>1</b>  |
| 1.1 実証事業の概要 .....                           | 1         |
| 1.1.1 目的、背景、課題等.....                        | 1         |
| 1.1.2 実施体制.....                             | 3         |
| 1.1.3 実証事業のシステム.....                        | 4         |
| 1.1.4 実証事業の実施フロー .....                      | 5         |
| 1.2 実証事業の結果 .....                           | 8         |
| 1.2.1 使用済 LIB の分別・手解体実験.....                | 8         |
| 1.2.2 使用済 LIB の焙焼実験.....                    | 10        |
| 1.2.3 焙焼物からの資源回収実験.....                     | 18        |
| 1.3 処理・リサイクルスキームの全体設計.....                  | 23        |
| <b>2. 環境負荷低減効果の検証</b> .....                 | <b>24</b> |
| 2.1 資源循環効果の検討.....                          | 24        |
| 2.2 CO2 排出量削減効果の検討.....                     | 25        |
| 2.3 使用済み LIB パック回収にかかる CO2 排出量の検討.....      | 35        |
| 2.4 排ガスによる環境負荷の削減効果の検討.....                 | 37        |
| <b>3. 経済性評価による事業実現可能性の検証</b> .....          | <b>38</b> |
| 3.1 本事業スキームによる使用済 LIB パックの経済性評価.....        | 38        |
| 3.2 本事業スキームの見直し改善による使用済 LIB パックの経済性向上の可能性検証 | 40        |
| 3.3 運搬コスト削減のためのモデル検討 .....                  | 41        |
| <b>4. 本処理技術の事業展開性</b> .....                 | <b>42</b> |
| 4.1 受入対象廃棄物の市場規模予測.....                     | 42        |
| 4.2 自社既存施設への横展開.....                        | 44        |
| 4.3 本事業の優位性 .....                           | 45        |
| <b>5. 今後の課題と事業計画</b> .....                  | <b>47</b> |
| 5.1 今後の課題 .....                             | 47        |
| 5.2 今後の事業計画 .....                           | 47        |
| <b>6. 総括</b> .....                          | <b>48</b> |

## 図目次

|        |                                  |    |
|--------|----------------------------------|----|
| 図 1-1  | 本実証事業の目的、背景、課題等                  | 2  |
| 図 1-2  | 実施体制図                            | 3  |
| 図 1-3  | 本事業のシステム                         | 4  |
| 図 1-4  | 本実証事業の実施概要                       | 5  |
| 図 1-5  | 本実証事業における使用済 LIB パックの分解・手解体      | 6  |
| 図 1-6  | 本実証事業における焙焼炉（敦賀セメント）             | 6  |
| 図 1-7  | 本実証事業における焙焼炉（広島ガステクノ・サービス）       | 7  |
| 図 1-8  | 本実証事業における破碎・選別設備                 | 7  |
| 図 1-9  | 焙焼温度と焙焼時間別の回収資源の分配率              | 11 |
| 図 1-10 | 水準別の単位モジュール量あたりの灯油使用量            | 12 |
| 図 1-11 | 放電の有無別のバスケット内部温度                 | 14 |
| 図 1-12 | LIB モジュールの種類別の回収資源の分配率           | 16 |
| 図 1-13 | LIB モジュールの種類別の回収金属の材料バランス        | 18 |
| 図 1-14 | 処理・リサイクルスキームの全体設計                | 23 |
| 図 1-15 | 隣接するセメント焼成炉を活用した低炭素型システムの設計・運用手法 | 23 |
| 図 2-1  | ベースラインプロセス（定置炉処理）                | 25 |
| 図 2-2  | 本実証事業のリサイクルプロセス                  | 25 |
| 図 2-3  | LIB パック別の 1t あたりの CO2 排出量の比較     | 26 |
| 図 2-4  | LIB パック別の年間処理量あたりの CO2 排出量の比較    | 26 |
| 図 2-5  | 使用済 LIB パック回収にかかる CO2 排出量検討モデル   | 35 |
| 図 2-6  | 使用済 LIB パック回収にかかる CO2 排出量        | 35 |
| 図 2-7  | 本事業におけるフッ素の材料バランス                | 37 |
| 図 3-1  | 本事業の経済性評価検討における運搬パターン            | 40 |
| 図 3-2  | 本事業における運搬コストの削減モデル               | 41 |
| 図 4-1  | 車載用 LIB の廃棄予測                    | 42 |
| 図 4-2  | 定置用 LIB の市場規模予測                  | 43 |
| 図 4-3  | 太平洋セメントのセメント事業国内拠点               | 44 |
| 図 5-1  | 今後のスケジュール                        | 47 |

## 表目次

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 表 1-1  | 使用サンプルの内訳（単位：個）                                | 8  |
| 表 1-2  | LIB パックにおけるマテリアルバランスと残電圧等                      | 9  |
| 表 1-3  | LIB モジュールの焙焼処理における検証項目                         | 10 |
| 表 1-4  | 水準別の LIB モジュール 1t あたりのリチウム量（分配率）               | 11 |
| 表 1-5  | 水準別の灯油使用量                                      | 12 |
| 表 1-6  | 投入量あたりの灯油使用量                                   | 13 |
| 表 1-7  | 放電の有無別の LIB モジュール焙焼実験写真                        | 14 |
| 表 1-8  | 放電の有無別の灯油使用量                                   | 15 |
| 表 1-9  | 使用済 LIB モジュールの水没実験写真                           | 15 |
| 表 1-10 | LIB モジュールの種類別及び連続運転での灯油使用量                     | 16 |
| 表 1-11 | LIB モジュールの種類別及び連続運転でのリチウムの分配率                  | 17 |
| 表 1-12 | 焙焼温度と焙焼時間別の焙焼物と破碎選別後の回収物写真                     | 19 |
| 表 1-13 | LIB モジュールの種類別の焙焼物と破碎選別後の回収物写真                  | 21 |
| 表 2-1  | 本事業における資源循環効果の評価結果                             | 24 |
| 表 2-2  | H29 年度事業における資源循環効果の評価結果（参考）                    | 24 |
| 表 2-3  | 本事業と定置炉処理を比較した CO2 排出量削減効果 (LIB パック 1t あたり)    | 27 |
| 表 2-4  | 本事業と定置炉処理を比較した CO2 排出量削減効果 (年間処理量あたり)          | 27 |
| 表 2-5  | 定置炉処理の活動量と CO2 排出量原単位（車載用 2(国内)LIB パック 1t あたり） | 28 |
| 表 2-6  | 定置炉処理の活動量と CO2 排出量原単位（車載用 4(国内)LIB パック 1t あたり） | 29 |
| 表 2-7  | 定置炉処理の活動量と CO2 排出量原単位（混合(多種多様)LIB パック 1t あたり）  | 30 |
| 表 2-8  | 本事業の活動量と CO2 排出量原単位（車載用 2(国内)LIB パック 1t あたり）   | 31 |
| 表 2-9  | 本事業の活動量と CO2 排出量原単位（車載用 4(国内)LIB パック 1t あたり）   | 32 |
| 表 2-10 | 本事業の活動量と CO2 排出量原単位（混合(多種多様)LIB パック 1t あたり）    | 33 |
| 表 2-11 | CO2 排出量削減効果試算にて使用した排出係数の出典一覧                   | 34 |
| 表 2-12 | 使用済 LIB パック回収にかかる CO2 排出量の算定根拠                 | 36 |
| 表 3-1  | 使用済 LIB モジュールの種類別の資源価値とコストによる経済性総合評価           | 38 |
| 表 3-2  | 使用済 LIB パックの処理スキームにおけるコスト計の内訳                  | 39 |
| 表 3-3  | 本年度と昨年度の使用済 LIB パックの構成比と収支総合評価比較               | 39 |
| 表 3-4  | 処理規模と運搬回数の改善による使用済 LIB パック処理の経済性総合評価比較         | 40 |
| 表 3-5  | 運搬条件別のエリアイメージと使用済 LIB パックの運搬コスト比較              | 41 |
| 表 4-1  | 処理システムごとのメリット、デメリット                            | 45 |

## 略 称 の 一 覧

本報告書では、以下の通り略称の統一を図る。

### 略 称

| 本報告書での表記 | 正式名称                             | 意味等         |
|----------|----------------------------------|-------------|
| LIB      | Lithium-ion Rechargeable Battery | リチウムイオン二次電池 |
| hr       | hour                             | 時間          |

## (要約)

### 1. 背景と課題

本事業は使用済リチウムイオン二次電池（以下、「LIB」）の低炭素型リサイクルシステムを実証することを目的としている。

これまでに進められてきたリサイクル処理の技術開発は小型 LIB を主な対象としており、大型 LIB パック・モジュールへの対応は遅れていた。しかしながら、次世代自動車の普及により、現在は大型 LIB パック・モジュールのリサイクル技術の開発が求められている。

大型 LIB パックは解体し、外装のベースメタルなどを取り外した後、LIB モジュールの形態で処理される。LIB モジュールは直接破砕すると発火し、プラント事故に繋がるリスクがあるため、加熱処理が必須である。しかし、加熱処理には大量のエネルギーを要するほか、LIB モジュールに含有されるリチウムやコバルト、ニッケル等のレアメタルの回収に課題を抱えている。現時点で LIB モジュールに対応可能な処理方法として電炉や定置炉での加熱処理があるが、電炉では鉄のみリサイクルされ、他のベースメタルやレアメタルが回収されず、定置炉ではベースメタルやレアメタルは回収されるものの、高温で酸化状態となるために品位に課題があった。

使用済大型 LIB パックの解決すべきリサイクル課題は、大きく分けて次の 3 点である。

- ① 低炭素 … 加熱処理工程にかかる消費エネルギー量の削減を可能にするシステムの開発
- ② 資源循環 … 金属資源（リチウム等レアメタル、ベースメタル）を素材別に高効率回収する処理技術の開発
- ③ その他環境影響改善 … LIB モジュールの加熱処理にて発生するフッ化水素ガスを低コストで無害化処理するシステムの開発

### 2. 事業の目的と実施内容

使用済の大型 LIB パックを低炭素型処理スキームでリサイクル処理することを目指すため、本実証事業では、昨年度に引き続き、焙焼炉を用いて大型 LIB パック・モジュールから高品位の金属資源を回収するための実証実験を行う。処理対象は、多種多様な車載用や定置用等の大型 LIB パック・モジュールである。

本事業の目的は次のとおりである。

- ① 低炭素 … 焙焼炉をセメント焼成炉に隣接し、セメント焼成工程の排熱を活用して LIB 焙焼工程の消費エネルギー量を削減するシステムの設計
- ② 資源循環 … 金属資源（リチウム等のレアメタル、ベースメタル）を酸化させず、かつ各金属資源を高濃度で回収する焙焼条件の検証
- ③ その他環境影響改善 … LIB モジュールの加熱処理で発生するフッ化水素ガスを、隣接するセメント焼成炉を用いて、低コストで無害化処理するシステムの設計

昨年度は実証実験に用いた LIB パックの種類が少なかったため、本年度は用いる種類を増やし、実運用に近い条件での焙焼状況を検証する。また、昨年度の課題解決として、リチウム化合物をより高効率回収できる焙焼条件を検討するため、焙焼温度や時間を昨年度よ

り細かく設定して検証するほか、投入量や残存電力の有無による灯油使用量の検証、実用化に向けた連続運転での大量処理を行い、改善課題を把握、整理する。

焙焼温度を調整することで、金属の溶融や酸化を防ぎながら、可燃分と接着剤のみを焼き、金属資源を回収しやすくする。焙焼した LIB モジュールを破碎・選別することで、ベースメタルだけでなく、リチウム等のレアメタルも回収可能な濃度に濃縮し、金属リサイクルを図る。

さらに、省エネルギーとしてセメント焼成工程の排熱を有効利用するほか、これまでの廃棄物処理ノウハウを活かすことで、他の技術よりも低コストにて大型 LIB パック・モジュールの全量リサイクルを実現する処理システムの構築を目指す。

### 3. 実証事業の結果

本実証事業の実施内容と主な結果を以下に示す。実証実験に用いた使用済大型 LIB パック・モジュールは、国内または国外自動車メーカーの車載用 LIB パック、及び国内電池メーカーの定置用 LIB モジュールである。

#### ① 使用済 LIB の分別・手解体

焙焼処理量の削減とベースメタルとプラスチック資源の回収を目的として、使用済 LIB パックの集荷、分別・手解体を行い、回収した資源量の計測を行った。なお、手解体はパック状態で排出された車載用 LIB のみ行い、モジュール状態で排出された定置用 LIB では行わなかった。手解体の結果、今年度に使用した LIB パックは、昨年度の物に比べてパックに対するモジュールの重量比が大きく、また LIB パックそれぞれで鉄や非鉄、プラスチックの構成比が異なっていた。

#### ② 使用済 LIB の焙焼

焙焼温度帯と加熱時間の比較検証を行った結果、500°C・4時間の組み合わせが、ベースメタル及びレアメタルの回収率が最も高くなっていったほか、1mm未満の回収物へのリチウム分配率も最も良くなっており、さらに単位あたりの灯油使用量も最も少なく抑えられていた。

投入量別に灯油使用量を比較した結果、投入量が多い方が投入量あたりの灯油使用量が少ないことが確認された。

残存電力による焙焼への影響について、LIB モジュールの放電の有無別に灯油使用量を比較した結果、放電なしの方が単位あたりの灯油使用量が少なく抑えられていた。これは残存電力が燃料として寄与したことが考えられる。

多種多様な LIB モジュールを混合し、連続運転にて大量に焙焼した場合には、ベースメタルは目標どおり高効率で回収されたが、レアメタル回収率は昨年度と同程度の約 5 割であった。多品種の LIB モジュールをそれぞれ単体で焙焼した場合と比較したところ、回収率がばらついていたことから、LIB モジュールによってレアメタルの回収率は異なるとの知見が得られた。また、排ガスも含めたリチウムの挙動を確認したところ、いずれの投入水準でも排ガスにはリチウムが分配されないことが確認された。

#### ③ 焙焼した LIB の破碎・選別

焙焼物からベースメタルとリチウム等を含有する極材粉（1mm未満）を高効率回収する

ため、剪断式破碎の後、篩選別を行った。回収された 1mm 未満の極材粉と 1mm 以上の回収物について金属分析を行い、LIB モジュールに含まれる金属資源のマテリアルバランスを確認したところ、投入水準によっては極材粉に 8 割以上のリチウムを回収することができた。

#### ④ 処理スキームの全体設計

実証実験結果に基づき、使用済 LIB パックのリサイクル処理の全体設計を行い、リサイクルフローのマテリアルバランスを算出した。

使用済 LIB パックの処理フローとして、パック状態の LIB は手解体を行い、ベースメタルおよびプラスチックを回収し、モジュール状態にした後、焙焼を行う。焙焼物は剪断式にて破碎後、篩い分けし、選別回収した 1mm 未満の極材粉はリチウム等のレアメタルリサイクル、1mm 以上の回収物は銅リサイクルとした。

処理スキームの規模は、焙焼処理量 3,000t/年 (10t/日) を軸とすると、処理する使用済 LIB パックは約 4,600t/年、回収される資源は、極材粉 744t/年、ベースメタルが合計 3,140t/年の見込みと算出された。

省エネルギー効果については、昨年度の設計のとおり、セメント焼成工程の排熱を利用することで、焙焼炉の年間灯油使用量が約 30%削減される見込みであり、焙焼炉から発生する可燃性排ガスをセメント焼成工程に有効利用することで、セメント製造に必要な石炭の約 0.1%の代替が見込まれている。

## 4. 環境改善効果

本事業スキームによる二酸化炭素削減効果の算定にあたり、比較対象技術は定置炉での焼却処理と設定した。定置炉焼却の前後の処理工程に関するエネルギー消費に関連するデータの入手が困難であったため、より保守的な算定として本事業と同一と仮定し、フッ化水素処理工程は、算定範囲から除外した。リサイクル効果は、実際に評価される資源量のみ算定対象とした。

試算の結果、多種多様な LIB パックを混合で処理した場合の二酸化炭素削減効果は 434kg-CO<sub>2</sub>/LIB パックであった。今年度の実証結果より、昨年度よりも灯油使用量を少なく抑えられる見込みとなり、より削減効果が大きくなった。年間焙焼量 3,000t/年の処理規模の場合では 1,986t-CO<sub>2</sub>/年の二酸化炭素削減効果と算出された。

実際に評価される資源量のみ資源循環効果は、3 割から 4 割程度と算出された。昨年度より減少したが、これは LIB パックを構成する鉄や非鉄の量が異なったためと考えられる。LIB パックの資源回収率は構成する素材の含有量に左右することが明らかになったが、金属評価されない回収物はセメント再資源化リサイクルを行うことから、いずれの LIB パックも埋立処理量は 0 であり、したがって本リサイクルシステムにおけるリサイクル率は 100%である。

排ガス (フッ化水素含有) の低コスト無害化処理について、LIB パックに含まれるハロゲン元素 (フッ素) の挙動を検証した結果、いずれの LIB パックも 1mm 未満の極材粉に 8 割以上が分配された。残りは焙焼排ガスに分配されたが、この排ガスはセメント焼成炉に送られ、無害化処理される。セメント製造設備の最終排ガスを計測した結果、フッ素の無害化処理が確認された。

## 5. 経済性評価

本事業における LIB パック処理の経済性について、回収資源の有価物評価と運搬や処理設備に要する費用、人件費、消耗品費等を算出し、総合評価を行った。回収資源のうち、レアメタルの有価物評価は、回収物の濃度に基づき行った。1mm 以上の回収物はいずれも銅評価とした。

試算の結果、いずれの LIB パックも資源評価よりもコストが大きくなり、総合評価で▲15 万円/t 前後と算出された。昨年度よりもコスト増となった原因は、LIB パックの素材構成比が異なったためと考えられる。特に LIB パックに占めるベースメタル量が減り、LIB モジュール量が多くなると、LIB モジュールの運搬コストや焙焼処理コストが増加するため、全体的にコスト増となった。LIB パックは物によって素材構成比が異なり、コストも大きく異なるとの知見を得られたことから、実運用でのコスト設定に反映させたい。

コスト削減のため、運搬の効率化や大量処理によるコスト圧縮を検討したところ、焙焼と破碎・選別を一箇所で行う体制とし、処理量を 3 倍の 30t/日の規模としたところ、総合評価▲10 万円/t 前後に抑えられる見込みとなった。運搬コストはコスト全体の 1/3 以上を占めることから、今後、処理施設の集約や大規模化のほか、解体拠点の選定についても検討する必要がある。

## 6. 今後の課題と事業化スケジュール

LIB パックは多種多様な構造、素材構成である。本事業にて多種多様な LIB パックを解体、焙焼して検証した結果、素材の構成比が LIB パックによって異なるために資源回収率や処理にかかるコストも物によって大きく異なることが明らかになった。これらの知見を活用し、資源回収率が高くなるよう焙焼条件を調整するなど、実運用に活用する。

さらに、実用化にあたり、より作業を効率化、省力化させるために、集荷、手解体、焙焼、破碎、選別の各工程にて使用する荷姿やハンドリング設備、バスケットの構造を改善していく必要がある。

今後のスケジュールとして、2019 年度より大量処理体制の構築を進め、投入排出の省力化、実証設備の許認可取得等を行い、2021 年度から事業化を予定している。

## Summary

### Executive Summary

#### 1. Backgrounds and challenges

This project aims to demonstrate a low-carbon recycling system for used lithium-ion rechargeable batteries (hereinafter abbreviated as “LIB”).

While the development of recycling techniques has been focused on compact lithium-ion batteries, those for large-sized LIB pack modules have yet to be fully developed. With next-generation vehicles entering the market, however, there is a growing need to develop recycling techniques for large-sized LIB pack modules.

Large-sized LIB packs are stripped down to modules, with their exterior (base metals, etc.) removed, for recycling purposes. LIB modules should always be heated before they are crushed because direct crushing produces flames, which could lead to accidents in plants. Such heat treatment, however, requires a massive amount of energy while recovery of rare metals (lithium, cobalt, nickel, etc.) in LIB modules remains difficult. LIB modules can be heated either in an electric furnace or in a stationary furnace; the former recovers only iron with other base metals and rare metals wasted, whereas the latter recovers them but oxidation at high temperatures causes quality problems.

Challenges in recycling used large-sized LIB packs can be summarized as follows:

- 1) Low carbon: Development of systems that require less energy for heat treatment.
- 2) Resource recycling: Development of techniques to individually recover metal resources (base metals and rare metals such as lithium) in an efficient manner.
- 3) Other environmental impact reductions: Development of systems that efficiently detoxify hydrogen fluoride gas generated by heating LIB modules.

#### 2. Project objectives and outlines

Following last year’s demonstrations, this project demonstrates recovery of high-quality metal resources from large-sized LIB pack modules, using a roasting furnace, thereby developing a low-carbon recycling system for used large-sized LIB packs. The targets are large-sized LIB pack modules for various automobile and stationary use.

The project objectives are:

- 1) Low carbon: Development of systems that reduce energy consumption from roasting processes, with a roasting furnace installed beside a cement kiln to make use of the waste heat from the latter.
- 2) Resource recycling: Testing of roasting conditions for recovering each metal resource (base metals and rare metals such as lithium) at high concentrations without oxidizing it.
- 3) Other environmental impact reductions: Designing of systems that efficiently detoxify hydrogen fluoride gas generated by heating LIB modules, using a neighboring cement kiln.

As last year’s demonstrations involved limited types of LIB packs, the project deals with a

variety of types this year, with roasting conditions tested under near-commercial conditions. Roasting temperatures and time, moreover, are adjusted more finely to test roasting conditions so that lithium compounds can be recovered more efficiently – i.e., solutions to last year's problems – while examining the consumption of kerosene according to the amount of input and with/without the residual electricity, and implementing large-scale continuous treatment for commercialization purposes, all designed to identify and list what needs to be improved.

Roasting temperatures are adjusted to exclusively burn combustibles and adhesives while preventing oxidation of metals without melting, thereby facilitating recovery of metal resources. At the same time, roasted LIB modules are crushed and segregated to increase the concentrations of base metals and rare metals such as lithium, which enables their recovery and, by extension, metal recycling.

In addition, the waste heat from a cement kiln is used to reduce energy consumption, with existing waste treatment techniques mobilized to develop treatment systems that fully recycle large-sized LIB pack modules at lower costs.

### **3. Demonstration results**

The following provides how the demonstrations were conducted and turned out. The used large-sized LIB pack modules that were demonstrated are LIB packs for automobile use (domestic and foreign made) and LIB modules for stationary use (made by domestic battery manufacturers).

#### **1) Segregation and manual dismantling of used LIBs**

Used LIB packs were collected, segregated and manually dismantled, followed by measurement of the amount of recovered resources, to reduce the amount of roasting, and recover base metals and plastic resources. Only LIB modules for automobile use discarded as packs were manually dismantled, which was not the case with LIBs for stationary use discarded as modules. The results of manual dismantling show that the modules are much heavier than the packs, compared with last year's results, while the composition ratio of iron, non-ferrous metals and plastics differs from pack to pack.

#### **2) Roasting of used LIBs**

The roasting temperature range was compared with the roasting time; base metals and rare metals were recovered most effectively when roasted at 500°C for four hours; the lithium distribution ratio in recovered materials smaller than 1 mm was highest and its consumption of kerosene per unit was lowest.

Comparison of kerosene consumption by the amount of input shows that the consumption per input decreases as the input increases.

With respect to the impact of residual electricity on roasting, comparison of kerosene consumption with/without discharge from LIB modules shows that the consumption per unit

decreases when there is no discharge, which suggests that residual electricity functions as fuel.

Large amounts of various LIB modules were mixed and roasted continuously; base metals were recovered efficiently as originally planned while the recovery rate of rare metals remained at about 50% as in the case of last year's demonstrations. Individual roasting of each LIB module, meanwhile, resulted in fluctuations in the recovery rate, which indicates that the recovery rate of rare metals differs from module to module. In addition, the test results of lithium behavior in exhaust gas, etc., show that lithium does not exist in exhaust gas at any input level.

### **3) Crushing and segregation of roasted LIBs**

Roasted LIBs were shredded, crushed and screened to efficiently recover electrode particles (smaller than 1 mm, containing base metals, lithium, etc.). Recovered electrode particles (smaller than 1 mm) and other recovered materials (1 mm or larger) were then analyzed to determine the material balance of metal resources contained in LIB modules; lithium consists of more than 80% of electrode particles at certain input levels.

### **4) Treatment scheme design**

On the basis of the demonstration results, the recycling of used LIB packs was designed and the material balance of a recycle flow was calculated.

As a treatment flow of used LIB packs, LIBs in the form of packs were manually dismantled into modules, with base metals and plastics recovered, followed by roasting. Roasted materials were then shredded, crushed and screened to recover electrode particles (smaller than 1 mm, containing lithium and other rare metals) and other materials (1 mm or larger, containing copper). Given that 3,000 tons of LIBs are roasted per year (10 tons/day), the amount of used LIB packs to be treated is estimated at about 4,600 tons/year, which results in a recovery of 744 tons/year of electrode particles and 3,140 tons/year of base metals.

As for the energy-saving effect, the consumption of kerosene for roasting can be reduced by about 30% per year by using waste energy from a cement kiln, as designed last year, while about 0.1% of coal used for cement production can be substituted by feeding the combustible exhaust gas from a roasting furnace to a cement kiln.

## **4. Environmental improvement effect**

Comparison was made with incineration in a stationary furnace to calculate the CO<sub>2</sub> reduction effect of the project. As data on the energy consumption of treatment before and after the incineration was hardly available, a conservative estimate was made, where the consumption is considered the same as that of this project, with the hydrogen fluoride treatment process excluded from the calculation. As for the recycling effect, only the amount of resources to be evaluated was included in the calculation.

The CO<sub>2</sub> reduction effect of an integrated treatment of various LIB packs was calculated to

be 434kg-CO<sub>2</sub>/LIB pack. The results of this year's demonstrations indicate that the kerosene consumption can be reduced from last year's levels, which leads to a greater CO<sub>2</sub> reduction effect; 1,986 tons/year of CO<sub>2</sub> can be reduced given that 3,000 tons/year of LIBs are roasted.

The recycling effect of resources to be evaluated is calculated somewhere between 30% and 40%, which is lower than last year's levels. This is probably due to differences in the amount of iron and non-ferrous metals contained in LIB packs. While the resource recovery rate of LIB packs has proved to be dependent on their component makeup, materials that are not recovered as metals are recycled as cement materials. This means that all LIB packs result in zero landfill, which brings the project's recycling rate to 100%.

The behavior of halogens (fluorine) contained in LIB packs was examined with respect to low-cost detoxification of the exhaust gas containing hydrogen fluoride, the results of which indicate that more than 80% of them exists in electrode particles smaller than 1 mm, with the rest distributed in the roasting exhaust gas, which is fed to a cement kiln for detoxification. Incidentally, the detoxification of fluorine was verified through analysis of the exhaust gas from a cement kiln.

## **5. Cost-effectiveness evaluation**

The overall cost-effectiveness of the project's LIB pack treatment was evaluated based on the calculation of valuables in recovered resources and the costs of transportation, treatment, labor, consumables, etc. Of recovered resources, rare metals were evaluated for their value based on their concentrations while those equal to or larger than 1 mm were evaluated as copper.

As it turns out, the overall cost outweighs the value of recovered resources, with the loss calculated at around ¥150,000/ton. This increase in the cost, compared with last year's results, is probably due to differences in the component makeup of LIB packs. In particular, a decrease in the amount of base metals in LIB packs and an increase in the amount of LIB modules boosts the costs of LIB module transportation, roasting, etc., which results in a higher overall cost. The makeup of components differs from pack to pack and so does the cost, which will be reflected in the calculation of commercial operation costs.

Cost reduction measures such as streamlined transportation and a high-volume treatment were therefore reviewed; centralized crushing and segregation, and a treatment of 30 tons/day (three times the current level) would reduce the loss to around ¥100,000/ton. As the transportation cost accounts for more than one-third of the overall cost, treatment facilities should be centralized and expanded, and dismantling centers should be located properly.

## **6. Challenges to be addressed and the commercialization timeline**

The structure and component makeup of LIB packs differ significantly from pack to pack. The results of dismantling and roasting various LIB packs, meanwhile, show that the resource recovery rate and treatment cost fluctuate significantly due to differences in the component makeup of LIB packs. These findings will be taken into account in implementing commercial operations while roasting conditions will be adjusted to increase the recovery rate.

In addition, improvements should be made in packing styles for procurement, manual dismantling, roasting, crushing and segregation, and in the structures of handling facilities and baskets to streamline commercial operations and reduce their energy consumption.

The development of a high-volume treatment system will start in FY 2019 and commercial operations are scheduled to commence in FY 2021, with the input and output processes streamlined and the license obtained for demonstration facilities, etc.



## 事業実施体制

| <b>■実施主体</b> |                               |        |
|--------------|-------------------------------|--------|
| 太平洋セメント株式会社  | 環境事業部 副部長<br>営業企画グループ リーダー    | 生田 考   |
|              | 環境事業部 担当部長<br>営業企画グループ        | 花田 隆   |
|              | 環境事業部<br>営業企画グループ 参事          | 福田 誠司  |
|              | 環境事業部<br>営業企画グループ 課長補佐        | 森 賢一   |
|              | 環境事業部<br>営業企画グループ 主務          | 鈴木 涼   |
|              | 環境事業部<br>営業企画グループ 主務          | 上杉 諒平  |
|              | 中央研究所 第3研究部<br>分離技術チーム リーダー   | 石田 泰之  |
|              | 中央研究所 第3研究部<br>分離技術チーム 主任研究員  | 市村 高央  |
|              | 中央研究所 第3研究部<br>分離技術チーム 主任研究員  | 本間 健一  |
|              | 中央研究所 第3研究部<br>分離技術チーム 研究員    | 竹本 智典  |
|              | 中央研究所 第3研究部<br>分離技術チーム 研究員    | 中村 充志  |
|              | 中央研究所 第3研究部<br>分離技術チーム 研究員    | 小松 浩平  |
|              | 中央研究所 第3研究部<br>分離技術チーム 研究員    | 瀧澤 洸   |
| <b>■再委託先</b> |                               |        |
| 松田産業株式会社     | 環境ソリューション事業部<br>ソリューション営業部 次長 | 境 健一郎  |
|              | 環境ソリューション事業部<br>企画推進課 担当課長    | 矢野 雄高  |
|              | 生産統括本部<br>技術開発課 課長代理          | 浦田 泰裕  |
|              | 生産統括本部<br>技術開発課 技術員           | 大河内 章宏 |
| 株式会社クレコ・ラボ   | 代表取締役                         | 興津 世祿  |
|              | マネージャー                        | 若林 史子  |



# 1. 実証事業の実施

## 1.1 実証事業の概要

### 1.1.1 目的、背景、課題等

本事業は使用済リチウムイオン二次電池（以下、「LIB」）の低炭素型リサイクルシステムを実証することを目的としている。これまでに進められてきたリサイクル処理の技術開発は小型 LIB を主な対象としており、大型 LIB パック・モジュールへの対応は遅れていた。しかしながら、次世代自動車の普及により、現在は大型 LIB パック・モジュールのリサイクル技術の開発が求められている。

LIB モジュールは直接破碎すると発火し、プラント事故に繋がるリスクがあるため、加熱処理が必須である。しかし、加熱処理には大量のエネルギーを要するほか、LIB モジュールに含有されるリチウムやコバルト、ニッケル等のレアメタルの回収に課題を抱えている。現時点で LIB モジュールに対応可能な処理方法として電炉や定置炉での加熱処理があるが、電炉では鉄のみリサイクルされ、他のベースメタルやレアメタルが回収されず、定置炉ではベースメタルやレアメタルは回収されるものの、高温で酸化状態となるために品位に課題があった。

使用済の大型 LIB パック・モジュールを低炭素型処理スキームでリサイクル処理することを目指すため、本実証事業では、焙焼炉を用いて、大型 LIB パック・モジュールから高品質の金属資源を回収するための実証実験を行う。処理対象は、多種多様な車載用や定置用等の大型 LIB パック・モジュールである。最終目標は、これまで未回収であったリチウムの回収とリサイクルである。目的や背景、課題を下図に示す。

|                   |   |
|-------------------|---|
| <p>目的</p>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>リチウムイオン電池（LIB）を<b>低炭素型の処理スキーム</b>でリサイクル</li> <li>最終目標は、これまで<b>未回収であったリチウム化合物の回収・リサイクル</b></li> </ul> <p>&lt;低炭素&gt;<br/>セメント焼成工程の排熱を活用し、焙焼工程の消費エネルギーを削減するシステムの設計</p> <p>&lt;資源循環&gt;<br/>金属資源（リチウム化合物等レアメタル、ベースメタル）をそれぞれ回収する処理工程の選定</p> <p>&lt;その他環境影響改善&gt;<br/>LIBの加熱処理で発生するフッ化水素ガスをセメント焼成炉で<b>低コスト無害化処理</b>するシステムの設計</p>    |
| <p>対象廃棄物</p>      | <p>車載用および定置用LIB</p>   |
| <p>背景</p>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>次世代自動車の普及により、<b>多様な大型LIBのリサイクル技術の開発</b>が求められている</li> <li>LIBの普及によるリチウム需要の増加により、<b>リチウムのリサイクル需要</b>が生じている</li> <li>LIBは加熱せずに直接破碎すると発火シブリント事故に繋がる。加熱処理が必須だが、加熱処理には多くのエネルギー消費を必要とする</li> <li>電炉での無害化処理では鉄回収しか出来ず、定置炉では金属が酸化するなど、金属リサイクル（ベースメタル、レアメタル）に課題がある</li> <li>加熱により難処理のフッ化水素ガスが発生するなど、排ガスの環境負荷が大きい</li> </ul>              |
| <p>H29年度の成果</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>焙焼実験に用いたLIBは、車載用（国内・国外）、定置用合わせて3種類</b></li> <li>450℃と600℃の二つの温度帯を比較検証し、450℃が望ましいとの結果を得た</li> <li>加熱時間について、450℃で3時間と6時間を比較したところ、6時間が望ましいとの結果を得た</li> <li><b>LIBの構造は多種多様であり、枠の材質（鉄、樹脂）により効果的な焙焼条件等が異なった</b></li> <li>加熱処理工程における<b>CO2発生量は約7割削減</b>の見込み（比較対象：定置炉）</li> </ul>   |
| <p>H30年度の実施事項</p> | <p>①<b>多種多様なLIBを焙焼し、効果的な手法を検証</b><br/>LIBのタイプや総重量、残存総電力量等、多種多様なLIBを焙焼し、より幅広に対応可能な焙焼条件を比較検証する</p> <p>②<b>リチウム化合物を高効率回収する焙焼条件（温度、時間）の検証</b><br/>リチウム化合物をより高効率回収できる焙焼条件を検討するため、<b>温度帯、時間帯等を細かく設定し、比較検証を行う</b></p> <p>③<b>実用化に向けて連続運転を行うための運転要件等の検証</b><br/><b>1日当たりの処理量を昨年度実績の4倍にし、大量処理での連続運転を行うための運用手法</b>を検討する<br/><b>事業化のための運転要件（大量処理、安定操業等）</b>を検証し、改善課題を把握、整理する</p> |

図 1-1 本実証事業の目的、背景、課題等

### 1.1.2 実施体制

本事業の実施体制図を図 1-2 に示す。本事業の実施にあたり、太平洋セメント、クレコ・ラボ、松田産業の 3 社で月初等にて定例会議を行い、毎月の進捗確認と翌月の実施事項、目標等について確認、共有、課題検討等を行った。

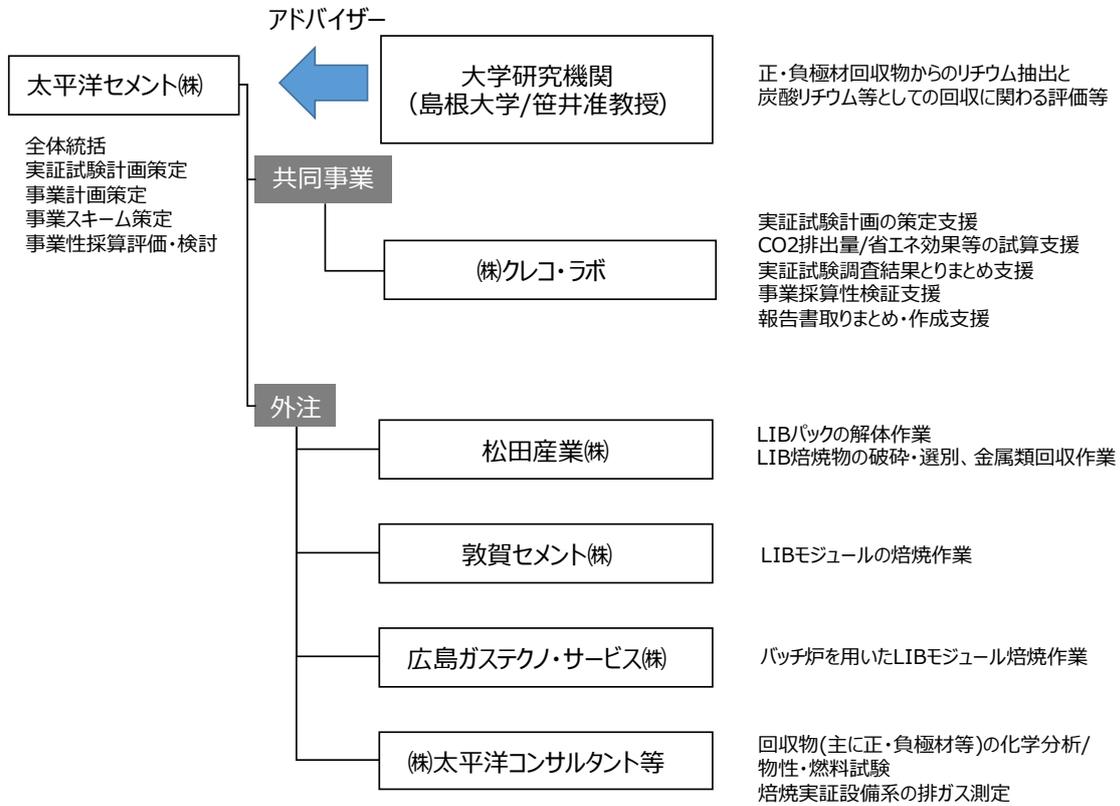


図 1-2 実施体制図

### 1.1.3 実証事業のシステム

本実証事業では、焙焼温度を調整することで、金属の溶融や酸化を防ぎながら、可燃分と接着剤のみを焼き、金属資源を回収しやすくする。焙焼した LIB モジュールを破碎・選別することで、ベースメタルを回収するだけでなく、リチウム等のレアメタルも素材回収が可能な濃度に濃縮し、金属リサイクルを図る。

さらに、省エネルギーとして焙焼炉をセメント焼成炉に隣接し、セメント焼成工程の排熱を焙焼炉に利用することで、焙焼にかかる消費エネルギー量を削減する。この他、焙焼によって発生した可燃性ガスを含む排ガスをセメント焼成工程に戻し燃料代替として利用するほか、排ガスに含まれる難処理のフッ化水素をセメント焼成炉によって低コスト処理する等、セメント製造プロセスを活用し、これまでの廃棄物処理ノウハウを活かすことで、他の技術よりも低コストにて LIB パック・モジュールの全量リサイクルを実現する処理システムの構築を目指す。

焙焼工程のコンセプトとして、使用済 LIB モジュールを金属製の容器（バスケット）に入れて焙焼炉へ投入することで二重構造となっている点が特徴である。これによって低酸素条件となり、LIB の燃焼による急激な温度上昇および金属の溶融・酸化を防ぐとともに、投入物に応じた焙焼条件の設定が可能である。さらに、セメント焼成炉に隣接させ、使用済 LIB モジュールの焙焼によって発生するフッ化水素ガスをセメント焼成炉に戻すことにより、低コストでフッ素の無害化処理ができるほか、焙焼排ガスの熱量を有効利用することによりセメント焼成工程の省エネルギーに繋がる。

破碎・選別工程のコンセプトは、リチウム等のレアメタル濃度の高い極材粉の回収であり、金属回収率を高めることによる経済性の追求、残渣のセメント資源化による 100%リサイクルの実現が特徴である。

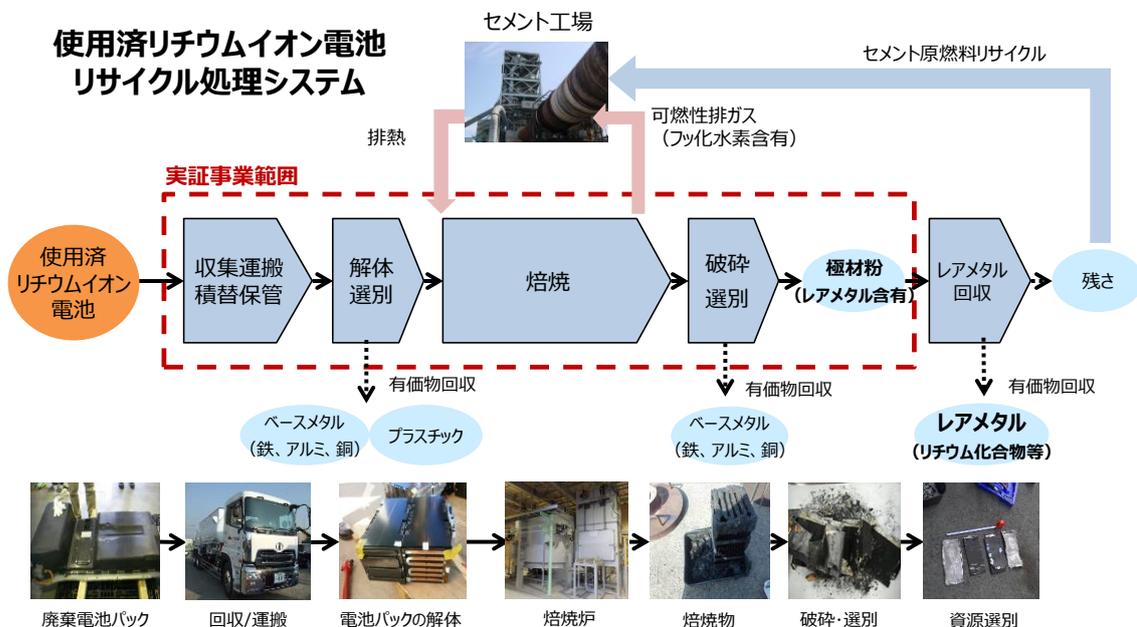


図 1-3 本事業のシステム

### 1.1.4 実証事業の実施フロー

本実証実験の各工程の実施事項と検討内容、目的と成果を下図に示す。

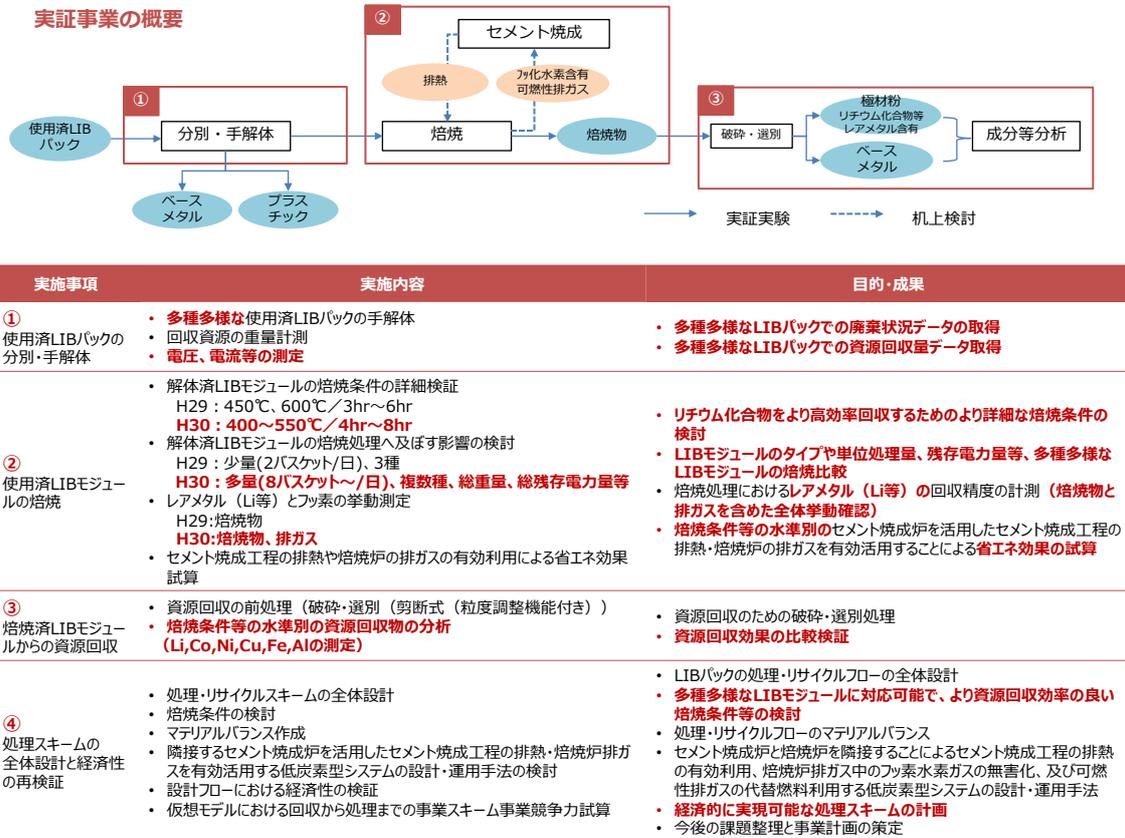


図 1-4 本実証事業の実施概要

## (1) 使用済 LIB の分別・手解体実験

焙焼工程の前処理として、必要に応じて LIB パックの手解体を行った。使用する LIB パックは車載用である。定置用は解体が不要なため、行っていない。解体前後の重量等を測定し、マテリアルバランスを作成した。



図 1-5 本実証事業における使用済 LIB パックの分解・手解体

## (2) 使用済 LIB の焙焼実験

解体した LIB モジュールを焙焼炉（試験炉）に投入し、金属回収に適した加熱温度帯および時間の選定を行う。生成した焙焼物（極材粉等）は、次工程の破碎・選別に用いる。この他、焙焼炉から発生した可燃性ガス含有排ガスをセメント焼成工程で有効利用するにあたっての燃料代替効果の試算を行う。

本実験にて使用する焙焼炉は、敦賀セメント㈱に設置した経済産業省からの補助事業(※1)にてリチウムイオン電池リサイクルを目的として導入した回転床式連続焙焼炉（試験炉）と、広島ガステクノ・サービス㈱の小型の固定式焼却炉（試験炉）である。主に敦賀セメントの焙焼炉を用いて行い、残存電力による影響確認については、敦賀セメント、広島ガステクノ・サービス両方の炉を用いた。

※1 平成 26 年度 産業技術実用化開発事業費補助金(資源循環実証事業)

平成 26 年度 産業技術実用化開発事業費補助金(リサイクル優先レアメタル回収実証事業)

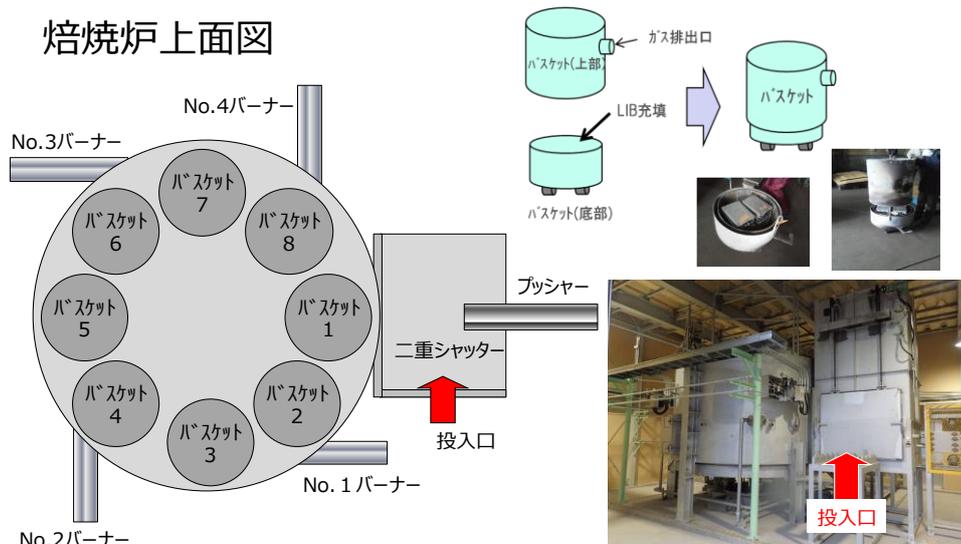


図 1-6 本実証事業における焙焼炉（敦賀セメント）

（備考：炉内サイズはΦ3,400mm、高さ 1,500mm）

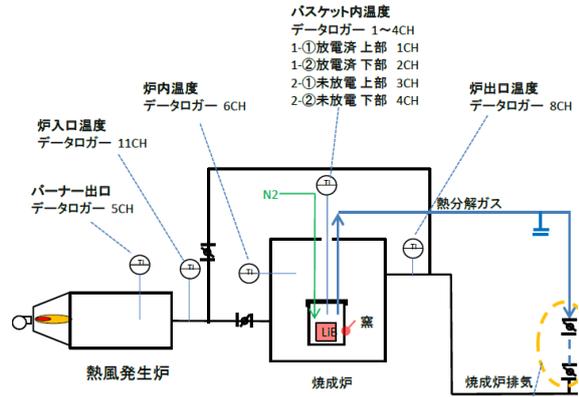


図 1-7 本実証事業における焙焼炉（広島ガステクノ・サービス）  
 （備考：炉内サイズは横幅 560mm×奥行 1000mm×高さ 900mm）

### (3) 焙焼物の破碎・選別実験

焙焼炉にて生成した焙焼物（極材粉等）からリチウム等を高効率回収するための極材粉回収手法として、せん断式破碎とふるい選別を行う。なお、本実証範囲ではリチウム等を含む極材粉の回収、成分分析までを行う。



図 1-8 本実証事業における破碎・選別設備

## 1.2 実証事業の結果

### 1.2.1 使用済 LIB の分別・手解体実験

本実証事業では、多種多様な LIB パックを対象に、焙焼工程の前処理として手解体を行った。昨年度は 3 種類であったが、今年度は 10 種類の LIB パック（定置用はモジュール）の解体を行っている。なお、手解体はパック状態で排出された車載用（国内・国外）LIB のみ行った。

手解体の結果、車載用 LIB パック 1 台あたり、国内・国外平均で約 4 割（重量ベース）の金属やプラスチックの素材が回収された。

表 1-1 使用サンプルの内訳（単位：個）

|     |    | 正極材 |                 |     |             |     | セル形状 |       |    |
|-----|----|-----|-----------------|-----|-------------|-----|------|-------|----|
|     |    | NCM | NCM<br>(Mn リッチ) | LMO | NCM+<br>LTO | LFP | 角    | ラミネート | 円筒 |
| 車載用 | 国外 | 16  | 10              | 0   | 0           | 0   | 26   | 0     | 0  |
|     | 国内 | 71  | 322             | 24  | 100         | 17  | 502  | 24    | 8  |
| 定置用 | 国外 | 0   | 0               | 0   | 0           | 0   | 0    | 0     | 0  |
|     | 国内 | 0   | 0               | 0   | 79          | 0   | 79   | 0     | 0  |

|     |    | セル筐体材質 |       |   | 単位重量(重量/モジュール台数) |                    |         |
|-----|----|--------|-------|---|------------------|--------------------|---------|
|     |    | アルミニウム | ステンレス | 鉄 | 10kg 未満          | 10kg 以上<br>20kg 未満 | 20kg 以上 |
| 車載用 | 国外 | 26     | 0     | 0 | 0                | 16                 | 10      |
|     | 国内 | 204    | 322   | 8 | 162              | 364                | 8       |
| 定置用 | 国外 | 0      | 0     | 0 | 0                | 0                  | 0       |
|     | 国内 | 79     | 0     | 0 | 64               | 15                 | 0       |

(備考：車載用は LIB パック、定置用は LIB モジュールの状態である。)

表 1-2 LIB パックにおけるマテリアルバランスと残電圧等

| 基本情報   |      |      | モジュール構造      |       |        |                            | パック<br>(個数) |
|--------|------|------|--------------|-------|--------|----------------------------|-------------|
| LIB 種類 | メーカー | タイプ  | 正極材          | セル形状  | セル筐体材質 | モジュールサイズ <sup>*</sup> (mm) |             |
| 車載用    | 国外   | PHEV | NCM          | 角     | アルミニウム | 400*180*110                | 6           |
|        |      | EV   | NCM (Mn リッチ) | 角     | アルミニウム | 410*300*150                | 3           |
|        | 国内   | PHEV | NCM          | 角     | アルミニウム | 320*135*110                | 4           |
|        |      | PHEV | LFP          | 角     | アルミニウム | 380*180*140                | 9           |
|        |      | EV   | LMO          | ラミネート | アルミニウム | 320*220*65                 | 1           |
|        |      | EV   | NCM (Mn リッチ) | 角     | ステンレス  | 440*190*120                | 25          |
|        |      | HV   | NCM          | 角     | アルミニウム | 570*160*130                | 15          |
|        |      | HV   | NCM          | 円筒    | 鉄      | 625*310*110                | 10          |
|        |      | (HV) | NCM+LTO      | 角     | アルミニウム | 200*180*80                 | -           |
| 定置用    | 国内   | -    | NCM+LTO      | 角     | アルミニウム | 178*207*154                | -           |
|        |      | -    | NCM+LTO      | 角     | アルミニウム | 187*358*120                | -           |

| 基本情報   |      |      | 残存電力測定 |                       |
|--------|------|------|--------|-----------------------|
| LIB 種類 | メーカー | タイプ  | 電圧 (V) | 電流 (mA) <sup>1)</sup> |
| 車載用    | 国外   | PHEV | 58.5   | 81.3                  |
|        |      | EV   | 46.7   | 64.8                  |
|        | 国内   | PHEV | 56.5   | 78.4                  |
|        |      | PHEV | 34.8   | 48.3                  |
|        |      | EV   | 7.3    | 10.1                  |
|        |      | EV   | 32.5   | 45.1                  |
|        |      | HV   | 98.1   | 136.2                 |
|        |      | HV   | 166.5  | 231.3                 |
|        |      | (HV) | 0      | 0                     |
| 定置用    | 国内   | -    | 0      | 0                     |
|        |      | -    | 0      | 0                     |

1) 720Ωの電気抵抗を接続し、電流測定を実施。

| 基本情報   |      |      | パック解体マテリアル |       |       |      |        | 用途                     |
|--------|------|------|------------|-------|-------|------|--------|------------------------|
| LIB 種類 | メーカー | タイプ  | モジュール      | 鉄     | 非鉄    | プラ   | 合計     |                        |
| 車載用    | 国外   | PHEV | 72.3%      | 4.8%  | 22.3% | 0.2% | 99.7%  | 10 月焙焼試験<br>(放電、未放電)   |
|        |      | EV   | 81.4%      | 2.8%  | 15.8% | -    | 100.0% | 10 月焙焼試験               |
|        | 国内   | PHEV | 44.7%      | 35.4% | 12.1% | 7.8% | 100.0% | 10 月焙焼試験               |
|        |      | PHEV | 74.6%      | 4.8%  | 19.0% | 1.7% | 100.0% | 10 月焙焼試験               |
|        |      | EV   | 65.9%      | 31.1% | 2.9%  | 0.1% | 100.0% | 10 月焙焼試験               |
|        |      | EV   | 73.5%      | 2.6%  | 19.1% | 4.8% | 100.0% | 7~10 月焙焼試験<br>(放電、未放電) |
|        |      | HV   | 67.6%      | 24.3% | 8.1%  | -    | 100.0% | 10 月焙焼試験               |
|        |      | HV   | 41.9%      | 48.4% | 8.0%  | 1.3% | 99.6%  | 10 月焙焼試験               |
|        |      | (HV) | 100.0%     | -     | 0.0%  | -    | 100.0% | 10 月焙焼試験               |
| 定置用    | 国内   | -    | 53.1%      | 36.6% | 10.1% | 0.2% | 100.0% | 10 月焙焼試験               |
|        |      | -    | 53.1%      | 36.6% | 10.1% | 0.2% | 100.0% | 10 月焙焼試験               |

## 1.2.2 使用済 LIB の焙焼実験

解体した LIB モジュールをタイプ、単位処理量、残存総電力量等に分けて焙焼処理実験を行い、LIB モジュールの違いが焙焼処理へ及ぼす影響の確認を行った。本事業の検証項目を下記に示す。

表 1-3 LIB モジュールの焙焼処理における検証項目

|      |                            | 実施水準   | 評価手法  | 取りまとめ章  |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
|------|----------------------------|--|---|---|-----|-----|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|---|-------------|
| (1)  | 焙焼条件の探索                    | 焙焼温度と焙焼時間の組合せによる水準別の焙焼実験<br>(各水準 4~8 バスケット)<br><br><実施水準><br><table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>4時間</th> <th>6時間</th> <th>8時間</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>400℃</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>450℃</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>500℃</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>550℃</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> </tr> </tbody> </table> ○：実施 |   | 4時間   | 6時間 | 8時間 | 400℃ | × | ○ | ○ | 450℃ | × | ○ | ○ | 500℃ | ○ | ○ | × | 550℃ | ○ | ○ | × | <ul style="list-style-type: none"> <li>・成分分析</li> <li>・灯油使用量の確認</li> <li>・排ガス成分分析</li> <li>・焙焼時の炉内、排ガス等の温度測定</li> </ul> | (1) 焙焼条件の探索 |
|      | 4時間                        | 6時間  | 8時間   |   |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
| 400℃ | ×                          | ○  | ○   |   |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
| 450℃ | ×                          | ○  | ○   |   |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
| 500℃ | ○                          | ○  | ×   |   |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
| 550℃ | ○                          | ○  | ×   |   |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
| (2)  | LIB モジュールの種類（形状、活物質等）の影響確認 | 形状、用途、活物質が異なる LIB モジュール 3 種類以上による焙焼実験(各水準 4~8 バスケット)<br><案><br><ul style="list-style-type: none"> <li>・正極材 (NCM、その他等) 計 2 種類以上</li> <li>・セル形状 (円筒、角等) 計 2 種類以上</li> <li>・単位重量 計 2 種類以上</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・成分分析</li> <li>・灯油使用量の確認</li> <li>・焙焼時の炉内、排ガス等の温度測定</li> </ul>                   | (4) LIB モジュールの種類の影響確認と多品種の LIB モジュールを用いた連続焙焼炉運転 |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
| (3)  | 投入量あたりの燃料使用量への影響確認         | 1 バッジ投入量：2 水準以上  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・灯油使用量の確認</li> <li>・焙焼時の炉内、排ガス等の温度測定</li> </ul>                                  | (2) 投入量あたりの燃料使用量への影響確認                          |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
| (4)  | 残存電力の影響確認                  | 低電力 LIB モジュール、高電力 LIB モジュールの 2 種類<br>計 2 水準以上<br>(各水準 1~2 バスケット)   | バスケット内部温度測定   | (3) 残存電力の影響確認                                   |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |
| (5)  | 多品種の LIB モジュールを用いた連続焙焼炉運転  | 多品種 LIB モジュールを用いた連続焙焼炉運転 (8 バスケット以上)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・成分分析</li> <li>・灯油使用量の確認</li> <li>・排ガス成分分析</li> <li>・焙焼時の炉内、排ガス等の温度測定</li> </ul> | (4) LIB モジュールの種類の影響確認と多品種の LIB モジュールを用いた連続焙焼炉運転 |     |     |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |   |             |

## (1) 焙焼条件の探索

ベースメタルとレアメタルの高濃度回収のために、電極材のアルミと銅を溶融させず、接着剤のみを焼き切り、かつレアメタルの回収率の良い焙焼温度帯と加熱時間について、より精緻な比較検証を行った。

昨年度は 450°C-6hr の組み合わせが好適と考えられたが、より検証温度帯を細かく設定し、詳細比較を行った結果、500°C-4hr の条件で 1mm 未満にレアメタルの回収率が、1mm 以上にベースメタルの回収率が最も高くなっていた。

また、破碎選別後の回収物と排ガスのリチウムの分配率でも、500°C-4hr が最も 1mm 未満に多く回収されていた。処理量あたりの灯油使用量についても 500°C-4hr が最も少なかった。これらの結果より、500°C-4hr が好適な焙焼条件であると判断した。

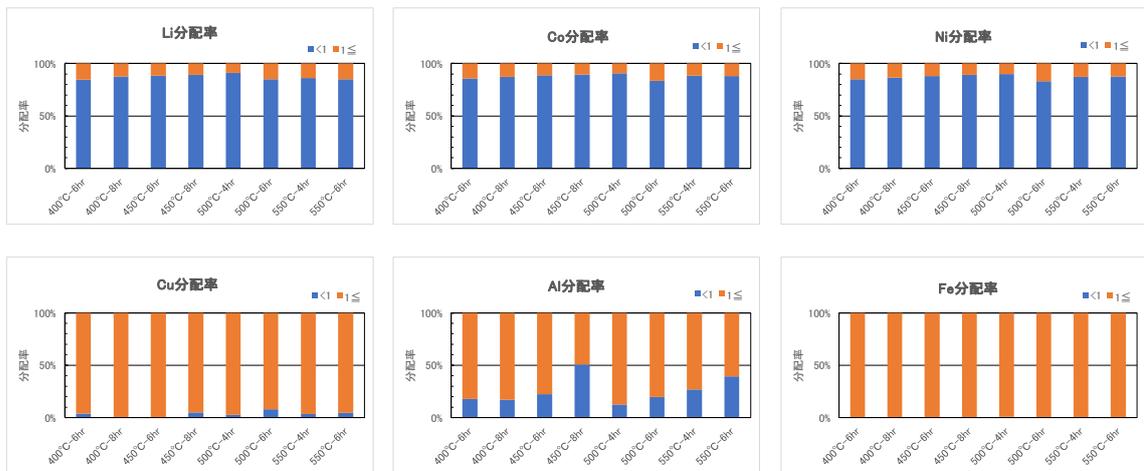


図 1-9 焙焼温度と焙焼時間別の回収資源の分配率

表 1-4 水準別の LIB モジュール 1t あたりのリチウム量 (分配率)

| 水準        | 1mm 未満 (%) | 1mm 以上 (%) | 排ガス (%) |
|-----------|------------|------------|---------|
| 400°C-6hr | 85         | 15         | 0       |
| 400°C-8hr | 88         | 12         | 0       |
| 450°C-6hr | 88         | 12         | 0       |
| 450°C-8hr | 89         | 11         | 0       |
| 500°C-4hr | 91         | 9          | 0       |
| 500°C-6hr | 85         | 15         | 0       |
| 550°C-4hr | 86         | 14         | 0       |
| 550°C-6hr | 85         | 15         | 0       |

表 1-5 水準別の灯油使用量

| 水準        | 焙焼条件      |         | 灯油使用量                |                              | 温度測定      |            |
|-----------|-----------|---------|----------------------|------------------------------|-----------|------------|
|           | 設定温度 (°C) | 時間 (hr) | 単位時間あたりの灯油使用量 (L/hr) | 単位モジュール量あたりの灯油使用量 (L/kg-LIB) | 炉内温度 (°C) | 排ガス温度 (°C) |
| 400°C-6hr | 400       | 6       | 23                   | 0.55                         | 409       | 401        |
| 400°C-8hr | 400       | 8       | 23                   | 0.74                         | 410       | 394        |
| 450°C-6hr | 450       | 6       | 27                   | 0.65                         | 459       | 438        |
| 450°C-8hr | 450       | 8       | 27                   | 0.86                         | 461       | 442        |
| 500°C-4hr | 500       | 4       | 31                   | 0.50                         | 508       | 494        |
| 500°C-6hr | 500       | 6       | 31                   | 0.74                         | 505       | 481        |
| 550°C-4hr | 550       | 4       | 34                   | 0.54                         | 552       | 533        |
| 550°C-6hr | 550       | 6       | 34                   | 0.82                         | 553       | 538        |

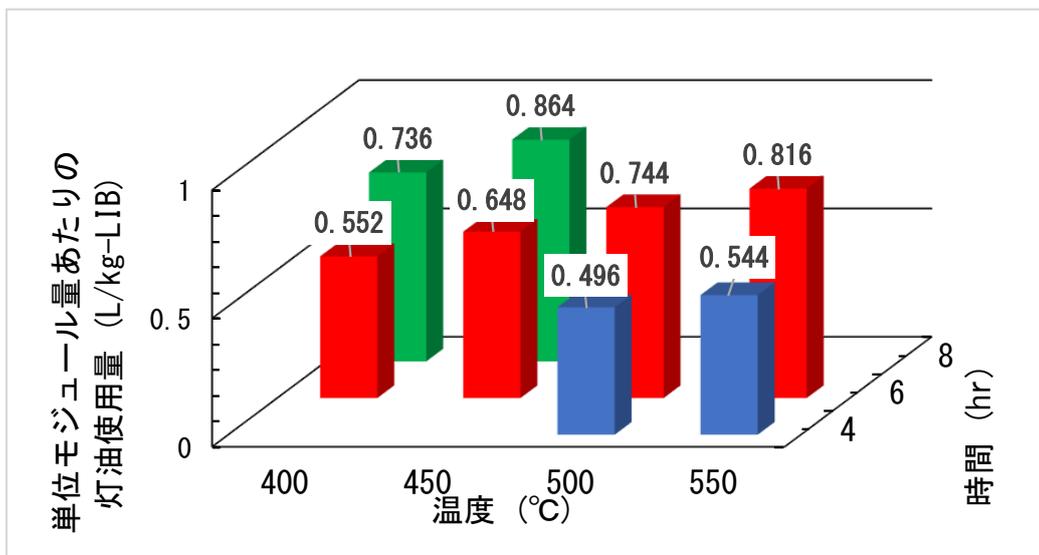


図 1-10 水準別の単位モジュール量あたりの灯油使用量

(2) 投入量あたりの燃料使用量への影響確認

灯油使用量について、投入量別に比較を行った結果、投入量を増やすことで灯油使用量が減少していることを確認した。

表 1-6 投入量あたりの灯油使用量

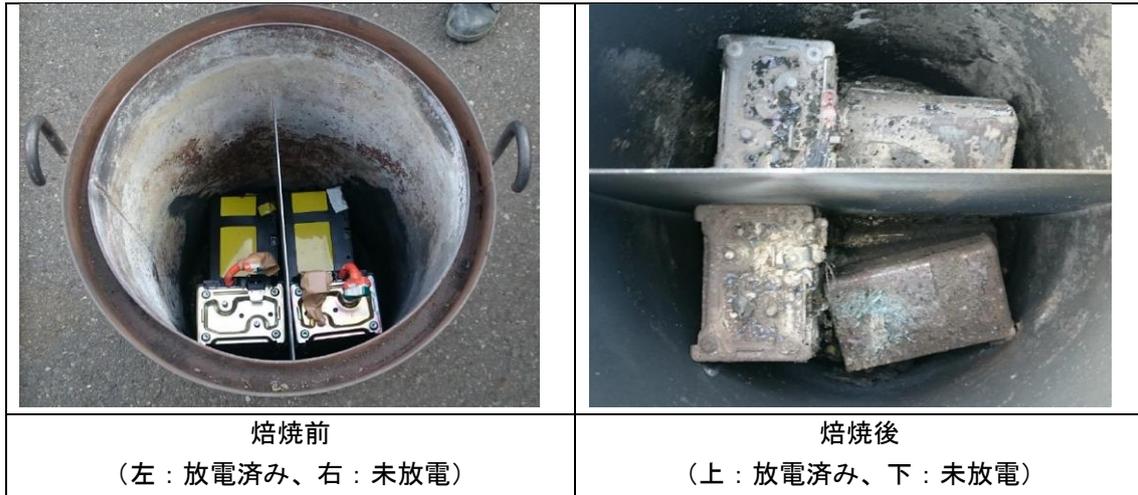
| 水準<br>(投入量)<br>(kg) | 焙焼条件      | 灯油使用量                       |                                     | 温度測定         |               |
|---------------------|-----------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------|---------------|
|                     |           | 単位時間あたりの<br>灯油使用量<br>(L/hr) | 単位モジュール量<br>あたりの灯油使用量<br>(L/kg-LIB) | 炉内温度<br>(°C) | 排ガス温度<br>(°C) |
| 100                 | 500°C-4hr | 34                          | 0.54                                | 503          | 485           |
| 250                 | 500°C-4hr | 31                          | 0.50                                | 508          | 494           |

### (3) 残存電力の影響確認

LIB モジュール内の残存電力が焙焼に及ぼす影響について確認するため、放電の有無別に焙焼試験を行ったところ、LIB モジュールの放電の有無によって焙焼中のバスケット内部温度、灯油使用量が異なっていたことから、残存電力の違い（放電の有無）が焙焼処理に影響を与えていたことが確認された。

また、灯油使用量を比較した結果、放電なしのほうが灯油使用量を抑えられていた。これは残存電力が燃料として寄与したためであると推察される。

表 1-7 放電の有無別の LIB モジュール焙焼実験写真



(備考：広島ガステクノ・サービスにて撮影)

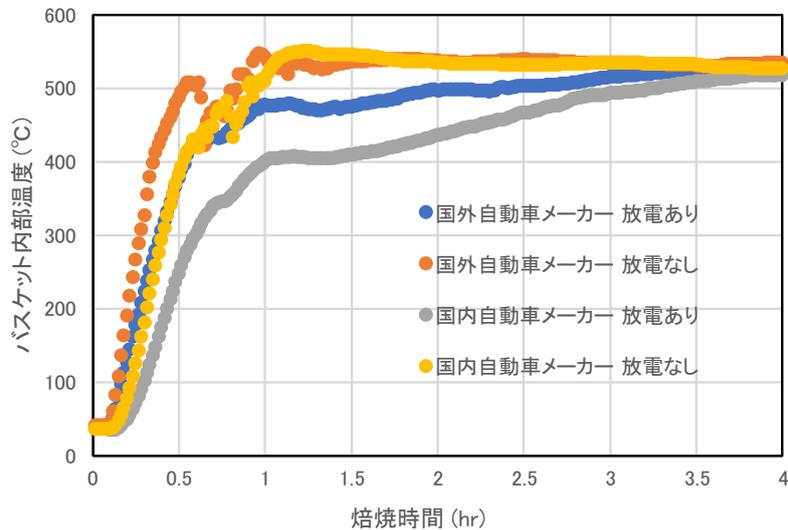


図 1-11 放電の有無別のバスケット内部温度

(備考) 焙焼温度は 500°C である。

表 1-8 放電の有無別の灯油使用量

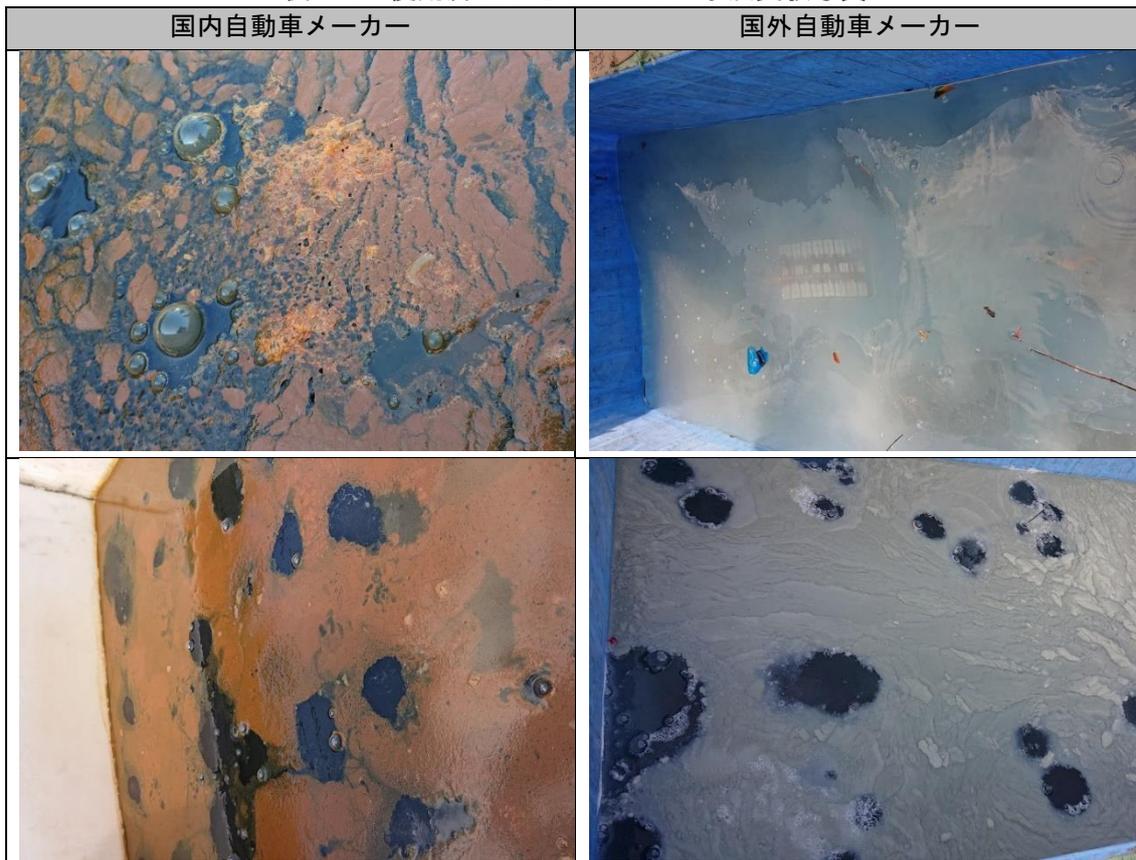
| 水準   | 投入量<br>(kg) | 焙焼条件      | 定常運転時                       |                                     |
|------|-------------|-----------|-----------------------------|-------------------------------------|
|      |             |           | 単位時間あたりの<br>灯油使用量<br>(L/hr) | 単位モジュール量あたりの<br>灯油使用量<br>(L/kg-LIB) |
| 放電なし | 250         | 500°C-4hr | 31                          | 0.50                                |
| 放電あり | 250         | 500°C-4hr | 35                          | 0.56                                |

(参考) LIB モジュールの水没試験結果

放電の有無別の実証実験を行うにあたり、LIB モジュールを放電させるため、国内、国外自動車メーカーの LIB モジュールの水没処理を行った。水没処理を行ったところ、水没直後から気泡が発生し、水面を白濁または黄濁が覆う状態になった。

廃水の成分分析を行ったところ、排水基準の超過が 6 項目 (BOD、COD、F、Cu、Zn、Cr) に見られた。このことから、LIB モジュールを水没処理するためには、廃水処理設備の整った施設で行う必要があると考えられる。

表 1-9 使用済 LIB モジュールの水没実験写真



#### (4) LIB モジュールの種類の影響確認と多品種の LIB モジュールを用いた連続焙焼炉運転

LIB モジュールの種類による焙焼処理への影響の確認、及び多品種の LIB モジュールを用いた連続焙焼炉運転での焙焼結果を確認するため、様々な種類の LIB モジュールを用いて実証実験を行った。この結果、ベースメタルは LIB モジュールの種類を問わず狙い通り 1mm 以上にて多く回収することができたが、レアメタル回収は昨年度と同様の 5 割程度に留まった。LIB モジュールの種類によって回収状況が異なることから、回収率の良いものと悪いものを混ぜない等の運用ノウハウが得られた。

灯油使用量について、単一の種類と多種多様な種類を混合した状態で焙焼した場合を比較したところ、混合状態で焙焼したほうが単位あたりの灯油使用量が低く抑えられていた。

この他、多品種の LIB モジュールを用いた連続焙焼炉運転にて、リチウムの挙動を確認した結果、排ガスには飛んでいないことが確認された。

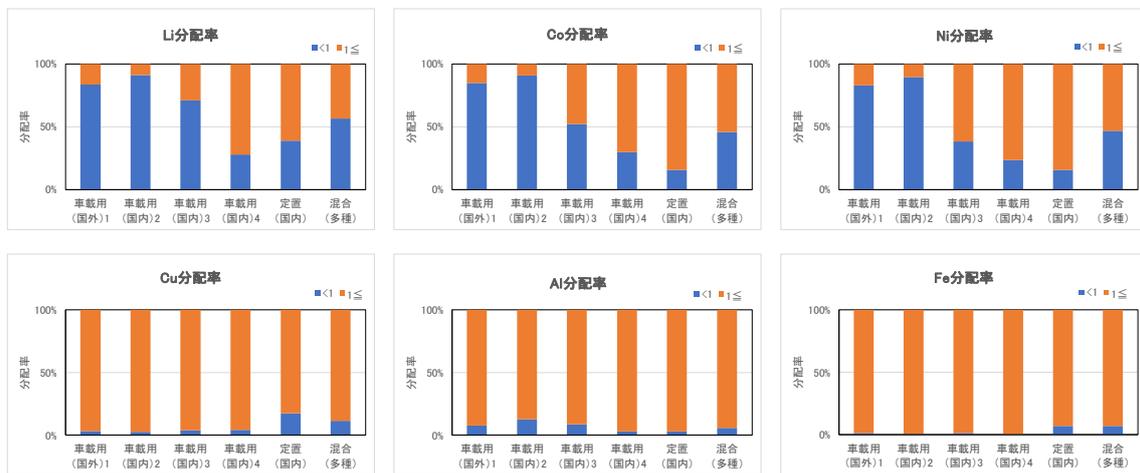


図 1-12 LIB モジュールの種類別の回収資源の分配率

(備考：焙焼条件は 500°C・4hr)

表 1-10 LIB モジュールの種類別及び連続運転での灯油使用量

| 水準        | 使用メーカ | 正極材          | セル形状  | セル筐体材質 | モジュールサイズ (mm) | 運転条件 (バッチ or 連続、焙焼時間) |
|-----------|-------|--------------|-------|--------|---------------|-----------------------|
| 車載用 1     | 国外    | NCM (Mn リッチ) | 角     | アルミニウム | 410*300*150   | バッチ、4hr               |
| 車載用 2     | 国内    | NCM (Mn リッチ) | 角     | ステンレス  | 440*190*120   | バッチ、4hr               |
| 車載用 3     | 国内    | LMO          | ラミネート | アルミニウム | 320*220*65    | バッチ、4hr               |
| 車載用 4     | 国内    | NCM          | 角     | アルミニウム | 570*160*130   | バッチ、4hr               |
| 定置        | 国内    | NCM+LTO      | 角     | アルミニウム | 178*207*154   | バッチ、4hr               |
| 混合 (多種多様) | 混合    | -            | -     | -      | -             | 連続、4hr                |

| 水準           | 使用メーカー | 単位時間あたりの<br>灯油使用量<br>(L/hr) | 単位モジュール量<br>あたりの灯油使用量<br>(L/kg-LIB) | 炉内温度<br>(°C) | 排ガス温度<br>(°C) |
|--------------|--------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------|---------------|
| 車載用 1        | 国外     | 26                          | 0.41                                | 511          | 489           |
| 車載用 2        | 国内     | 31                          | 0.50                                | 505          | 494           |
| 車載用 3        | 国内     | 32                          | 0.63                                | 507          | 486           |
| 車載用 4        | 国内     | 25                          | 0.38                                | 521          | 500           |
| 定置           | 国内     | 28                          | 0.45                                | 518          | 496           |
| 混合<br>(多種多様) | 混合     | 11                          | 0.09                                | 541          | 503           |

表 1-11 LIB モジュールの種類別及び連続運転でのリチウムの分配率

| 水準       | 使用<br>メーカー | LIB モジュール 1t あたりのリチウム量 (分配率) |            |         |
|----------|------------|------------------------------|------------|---------|
|          |            | 1mm 未満 (%)                   | 1mm 以上 (%) | 排ガス (%) |
| 車載用 1    | 国外         | 84                           | 16         | 0       |
| 車載用 2    | 国内         | 91                           | 9          | 0       |
| 車載用 3    | 国内         | 71                           | 29         | 0       |
| 車載用 4    | 国内         | 28                           | 72         | 0       |
| 定置       | 国内         | 39                           | 61         | 0       |
| 混合(多種多様) | 混合         | 56                           | 43         | 0       |

### 1.2.3 焙焼物からの資源回収実験

焙焼物からベースメタルとリチウム等を含有する極材粉 (<1mm) を高効率回収するための好適な破碎・選別手法として、昨年度実証事業にて選定した剪断式破碎と篩い分け選別を行った。LIB モジュールの種類別の回収金属のマテリアルバランスを下記に示す。昨年度のリチウム回収率は平均で 5 割程度であったが、今年度は投入水準によっては 1mm 未満に 8 割以上のリチウム回収に成功していた。投入する LIB モジュールの構成を工夫することで、高効率なレアメタル回収が得られると考えられる。

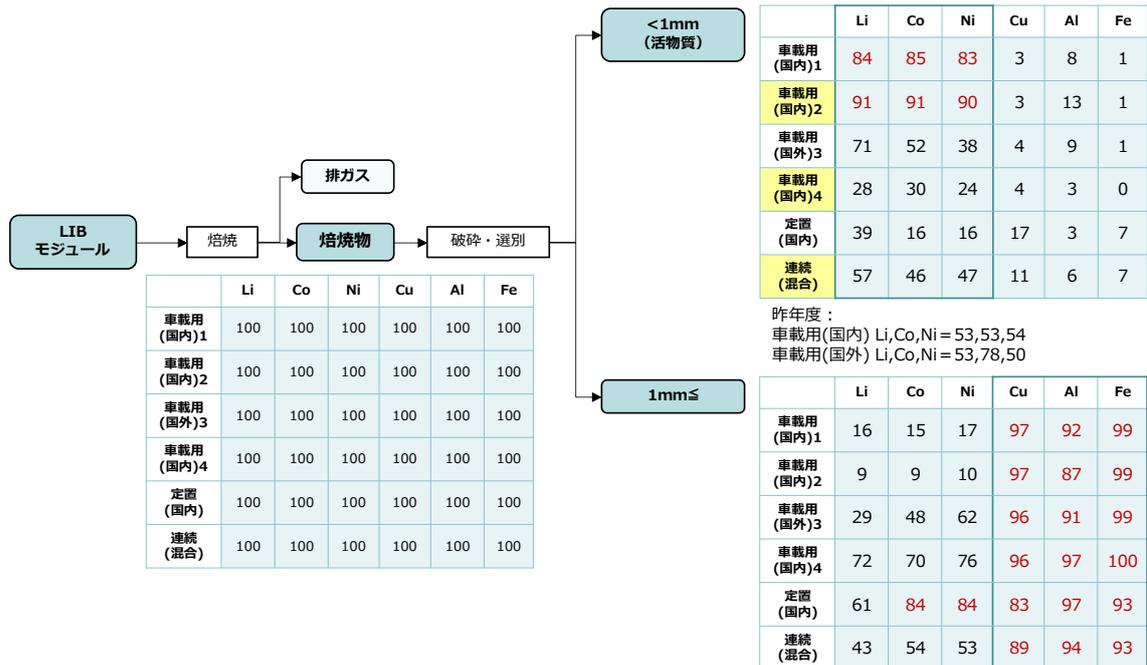


図 1-13 LIB モジュールの種類別の回収金属のマテリアルバランス

表 1-12 焙焼温度と焙焼時間別の焙焼物と破碎選別後の回収物写真

| 条件           | <1mm  | 1mm≦   |
|--------------|---|--|
| 400°C<br>6hr |    |    |
| 400°C<br>8hr |   |   |
| 450°C<br>6hr |  |  |
| 450°C<br>8hr |  |  |

| 条件           | <1mm  | 1mm $\leq$   |
|--------------|---|--|
| 500°C<br>4hr |    |    |
| 500°C<br>6hr |   |   |
| 550°C<br>4hr |  |  |
| 550°C<br>6hr |  |  |

表 1-13 LIB モジュールの種類別の焙焼物と破碎選別後の回収物写真

| 種類       | <1mm  | 1mm≦   |
|----------|---|--|
| 車載用<br>1 |    |    |
| 車載用<br>2 |   |   |
| 車載用<br>3 |  |  |
| 車載用<br>4 |  |  |

| 種類           | <1mm   | 1mm≦  |
|--------------|--|---|
| 定置用          |   |   |
| 混合<br>(多種多様) |  |  |

(備考：焙焼条件は 500°C・4hr)

### 1.3 処理・リサイクルスキームの全体設計

実証実験結果に基づき、使用済 LIB パックのリサイクルフロー全体設計を行い、リサイクルフローのマテリアルバランスを算出した。使用済 LIB パックの処理フローとして、パック状態の LIB は手解体を行い、ベースメタルとプラスチックを回収し、モジュール状態にした後、焙焼を行う。焙焼物は剪断式にて破碎後、篩い分けし、選別回収した 1mm 未満の極材粉はリチウム等のレアメタルリサイクル、1mm 以上のものは銅リサイクルとした。

処理スキームの規模は、焙焼処理量 3,000t/年 (10t/日) を軸に今年度の実験データを元に試算したところ、処理する使用済 LIB パックは約 4,600t/年、回収される資源は、極材粉 744t/年、ベースメタルが合計約 3,140t/年の見込みと算出された。

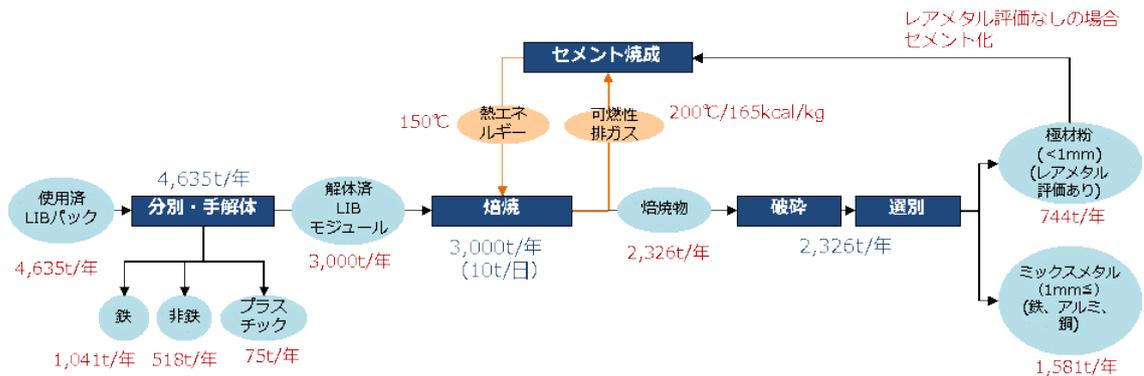


図 1-14 処理・リサイクルスキームの全体設計

(備考：LIB パックのマテリアルバランスは、混合（多種多様）での数値を記載している。

焙焼炉からセメント焼成炉への可燃性ガスの性状 200°C/165kcal/kg とセメント焼成炉から焙焼炉への熱エネルギー 150°C は、昨年度の検討結果を用いている。)

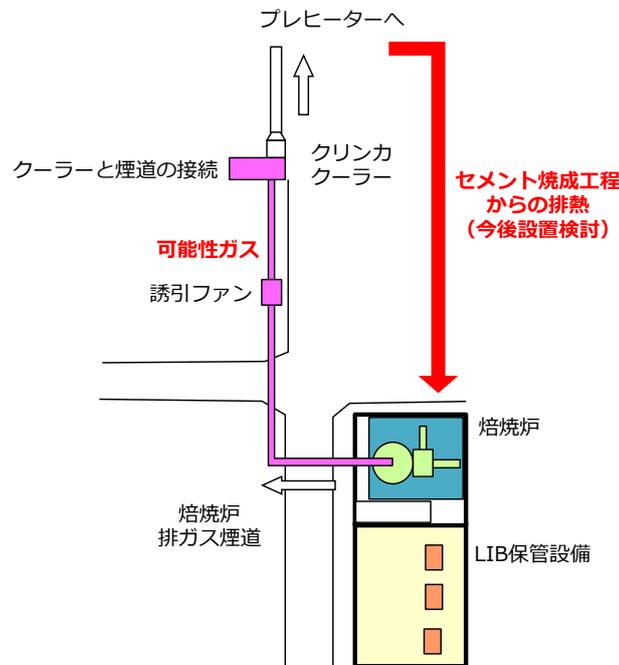


図 1-15 隣接するセメント焼成炉を活用した低炭素型システムの設計・運用手法

## 2. 環境負荷低減効果の検証

### 2.1 資源循環効果の検討

含有濃度から実際に資源回収されるリサイクル効果を下記に示す。資源回収率は車載用2が約30%、車載用4が約48%、混合が約38%であった。この差は、レアメタルの回収率ではなく、LIBパックの素材構成比によって生じたものと考えられる。

昨年度は車載用(平均)で約61%であった。資源回収率減少の理由は、LIBパックを構成する鉄や非鉄の量が異なったためと考えられる。したがって、LIBパックの資源回収率は、LIBパックを構成する素材の含有量に左右されると考えられる。

なお、レアメタル回収の見込みのない極材粉の場合はセメントリサイクルすることから、本事業ではいずれのLIBパックであっても埋立量は0であり、昨年度同様、リサイクル率は100%となる。

表 2-1 本事業における資源循環効果の評価結果

| 単位：t/t     |             | 処理量  | 鉄    | 非鉄<br>(アルミ) | プラス<br>チック | Li       | Co       | Ni       | Cu   | 資源回収率 | リサイクル率 |
|------------|-------------|------|------|-------------|------------|----------|----------|----------|------|-------|--------|
| 車載用<br>LIB | 車載用2(国内)-EV | 1.00 | 0.03 | 0.19        | 0.05       | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.07 | 33.2% | 100.0% |
|            | 車載用4(国内)-HV | 1.00 | 0.24 | 0.08        | 0.00       | 9.77E-04 | 3.09E-03 | 6.67E-04 | 0.15 | 48.0% | 100.0% |
| 混合(多種多様)   |             | 1.00 | 0.22 | 0.11        | 0.02       | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.03 | 37.9% | 100.0% |

| 単位：t/年     |             | LIBパック<br>処理量 | 鉄     | 非鉄<br>(アルミ) | プラス<br>チック | Li | Co | Ni | Cu  | 資源回収量 |
|------------|-------------|---------------|-------|-------------|------------|----|----|----|-----|-------|
| 車載用<br>LIB | 車載用2(国内)-EV | 4,083         | 107   | 781         | 195        | 0  | 0  | 0  | 272 | 1,355 |
|            | 車載用4(国内)-HV | 4,435         | 1,077 | 359         | 0          | 4  | 14 | 3  | 672 | 2,129 |
| 混合(多種多様)   |             | 4,573         | 1,019 | 481         | 81         | 0  | 0  | 0  | 151 | 1,732 |

(備考：非鉄はアルミニウム評価とした)

表 2-2 H29 年度事業における資源循環効果の評価結果(参考)

| 単位：t/t |    | 処理量  | 鉄    | 非鉄<br>(アルミ) | プラス<br>チック | Li       | Co       | Cu       | 資源回収率 | リサイクル率 |
|--------|----|------|------|-------------|------------|----------|----------|----------|-------|--------|
| 車載用LIB | 国内 | 1.00 | 0.32 | 0.21        | 0.05       | 7.68E-04 | 1.94E-03 | 0.11     | 68.8% | 100.0% |
|        | 国外 | 1.00 | 0.02 | 0.35        | 0.04       | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.11     | 52.5% | 100.0% |
|        | 平均 | 1.00 | 0.17 | 0.28        | 0.05       | 7.19E-04 | 3.37E-03 | 0.11     | 61.0% | 100.0% |
| 定置用LIB |    | 1.00 | -    | -           | -          | 2.39E-03 | 4.90E-03 | 6.80E-04 | 1.3%  | 100.0% |

| 単位：t/年 |    | 処理量   | 鉄     | 非鉄<br>(アルミ) | プラス<br>チック | Li | Co | Cu  | 資源回収量 |
|--------|----|-------|-------|-------------|------------|----|----|-----|-------|
| 車載用LIB | 国内 | 7,000 | 2,222 | 1,444       | 333        | 5  | 14 | 799 | 4,818 |
|        | 国外 | 5,111 | 111   | 1,778       | 222        | 0  | 0  | 574 | 2,685 |
|        | 平均 | 5,908 | 1,002 | 1,637       | 269        | 4  | 20 | 669 | 3,602 |
| 定置用LIB |    | 3,000 | -     | -           | -          | 7  | 15 | 2   | 40    |

## 2.2 CO2 排出量削減効果の検討

本事業スキームによる二酸化炭素削減効果の算定にあたり、比較対象技術は定置炉での焼却処理と設定した。定置炉による焼却前後の処理工程でのエネルギー消費に関するデータ入手が困難であったため、より保守的な算定として本事業と同一と仮定し、フッ化水素処理工程は、算定範囲から除外した。リサイクル効果は、実際に評価される資源量のみ算定対象とした。

試算の結果、LIB パック 1t あたりの CO2 排出量削減効果は、車載用 2 の場合では 171kg-CO<sub>2</sub>/t、車載用 2 では 242kg-CO<sub>2</sub>/t、混合（多種多様）では 434kg-CO<sub>2</sub>/t と算出された。

昨年度は車載用 LIB パック(平均)で約 300kg-CO<sub>2</sub>/t であったことから、混合(多種多様)と比較しても、灯油使用量の削減による CO2 排出量の削減結果が得られた。

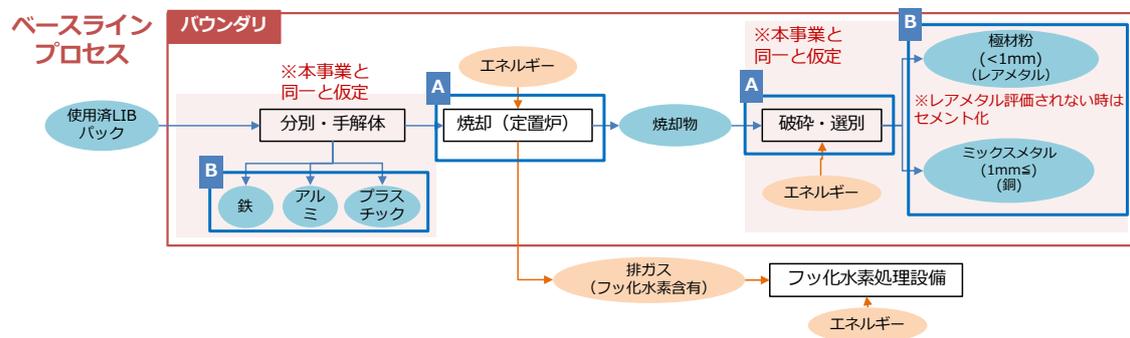


図 2-1 ベースラインプロセス（定置炉処理）

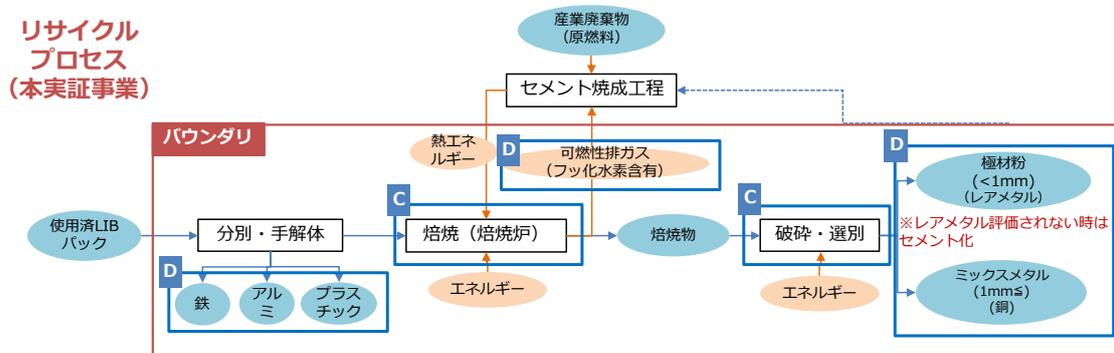


図 2-2 本実証事業のリサイクルプロセス

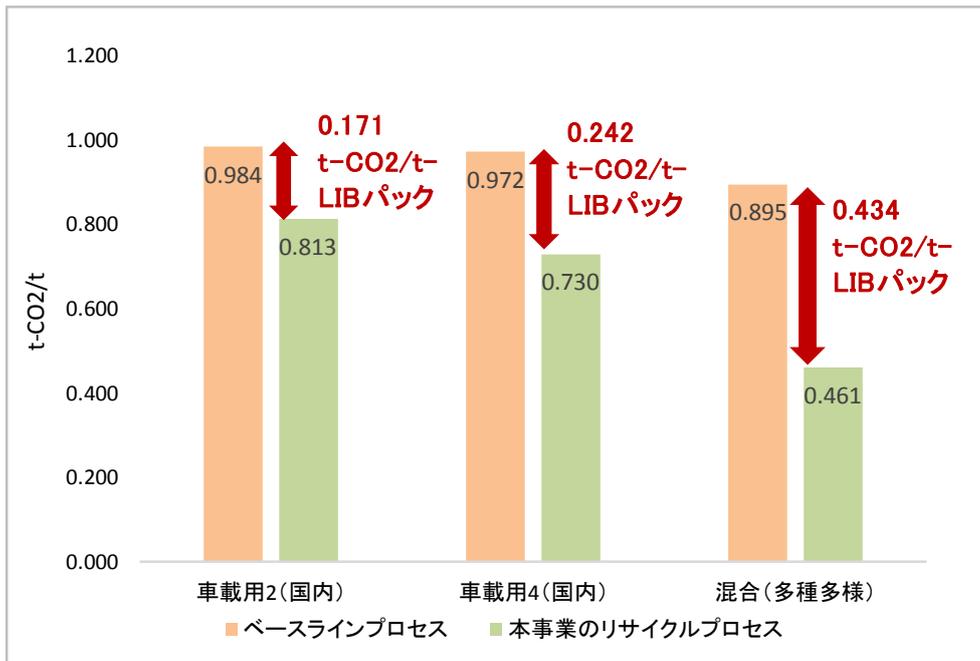


図 2-3 LIB パック別の 1t あたりの CO2 排出量の比較

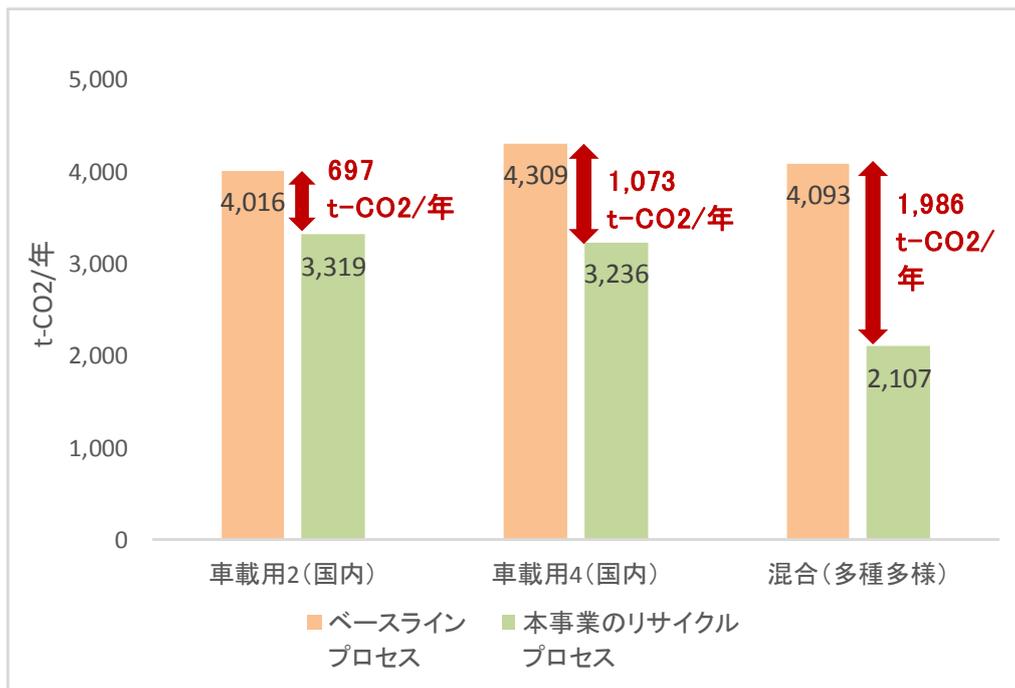


図 2-4 LIB パック別の年間処理量あたりの CO2 排出量の比較

表 2-3 本事業と定置炉処理を比較した CO2 排出量削減効果 (LIB パック 1t あたり)

| プロセス              | カテゴリ | 項目      | 内容                    | 車載用2(国内)       |       | 車載用4(国内)       |       | 混合(多種多様)       |       |
|-------------------|------|---------|-----------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|                   |      |         |                       | 排出量            |       | 排出量            |       | 排出量            |       |
|                   |      |         |                       | t-CO2/t-LIBパック |       | t-CO2/t-LIBパック |       | t-CO2/t-LIBパック |       |
| ベースライン<br>プロセス    | A    | 処理プロセス  | 焼却(定置炉)               | 0.953          | 0.985 | 0.945          | 0.973 | 0.868          | 0.896 |
|                   |      |         | 破碎・選別                 | 0.032          |       | 0.028          |       | 0.028          |       |
|                   | B    | リサイクル効果 | 鉄・アルミ・プラスチック          | 0.001          | 0.001 | 0.001          | 0.001 | 0.001          | 0.001 |
|                   |      |         | レアメタル・銅               | 0.000          |       | 0.001          |       | 0.000          |       |
| 本事業のリサイクル<br>プロセス | C    | 処理プロセス  | 焙焼(焙焼炉)               | 0.822          | 0.854 | 0.740          | 0.768 | 0.469          | 0.497 |
|                   |      |         | 破碎・選別                 | 0.032          |       | 0.028          |       | 0.028          |       |
|                   | D    | リサイクル効果 | 鉄・アルミ・プラスチック          | 0.001          | 0.041 | 0.001          | 0.038 | 0.001          | 0.037 |
|                   |      |         | 可燃性排ガス                | 0.040          |       | 0.037          |       | 0.036          |       |
|                   |      |         | レアメタル・銅               | 0.000          |       | 0.001          |       | 0.000          |       |
|                   |      |         | CO2削減効果 (A-B) - (C-D) |                |       | 0.171          |       | 0.242          |       |

表 2-4 本事業と定置炉処理を比較した CO2 排出量削減効果 (年間処理量あたり)

| プロセス              | カテゴリ | 項目      | 内容                    | 車載用2(国内)  |       | 車載用4(国内)  |       | 混合(多種多様)  |       |
|-------------------|------|---------|-----------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                   |      |         |                       | 排出量       |       | 排出量       |       | 排出量       |       |
|                   |      |         |                       | 4,083 t/年 |       | 4,435 t/年 |       | 4,573 t/年 |       |
|                   |      |         |                       | t-CO2/年   |       | t-CO2/年   |       | t-CO2/年   |       |
| ベースライン<br>プロセス    | A    | 処理プロセス  | 焼却(定置炉)               | 3,891     | 4,020 | 4,192     | 4,315 | 3,969     | 4,096 |
|                   |      |         | 破碎・選別                 | 129       |       | 123       |       | 128       |       |
|                   | B    | リサイクル効果 | 鉄・アルミ・プラスチック          | 3         | 4     | 2         | 6     | 3         | 3     |
|                   |      |         | レアメタル・銅               | 1         |       | 3         |       | 0         |       |
| 本事業のリサイクル<br>プロセス | C    | 処理プロセス  | 焙焼(焙焼炉)               | 3,357     | 3,487 | 3,282     | 3,405 | 2,147     | 2,274 |
|                   |      |         | 破碎・選別                 | 129       |       | 123       |       | 128       |       |
|                   | D    | リサイクル効果 | 鉄・アルミ・プラスチック          | 3         | 167   | 2         | 169   | 3         | 167   |
|                   |      |         | 可燃性排ガス                | 164       |       | 164       |       | 164       |       |
|                   |      |         | レアメタル・銅               | 1         |       | 3         |       | 1         |       |
|                   |      |         | CO2削減効果 (A-B) - (C-D) |           |       | 697       |       | 1,073     |       |

表 2-5 定置炉処理の活動量と CO2 排出量原単位（車載用 2(国内)LIB パック 1t あたり）

| ベースラインプロセス |    |          |                                     |        |              |                        |          |          |                 |
|------------|----|----------|-------------------------------------|--------|--------------|------------------------|----------|----------|-----------------|
| カテゴリ       | NO | プロセス     | 活動量                                 |        |              | 排出原単位                  |          |          | 排出量<br>(tCO2/t) |
|            |    |          | 項目名                                 | 数値     | 単位           | 原単位名                   | 数値       | 単位       |                 |
| A          | 1  | 焼却（定置炉）  | LIBパック1tあたりの再生重油B消費量                | 0.184  | kL/t-LIBパック  | 再生重油Bの使用におけるCO2排出係数    | 3.000000 | tCO2/kL  | 0.551087        |
|            | 2  |          | 初期に投入するLIBパック1tあたりの当該工程での廃プラスチック処理量 | 0.158  | t/t-LIBパック   | 廃プラスチック類の燃焼におけるCO2排出係数 | 2.550000 | tCO2/t   | 0.401881        |
|            | 3  | 破碎機（剪断式） | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 44.443 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.022755        |
|            | 4  | 集塵機      | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 16.161 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.008274        |
|            | 5  | 選別（篩い分け） | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 1.212  | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.000621        |
|            | 合計 |          |                                     |        |              |                        |          |          | <b>0.985</b>    |

| ベースラインプロセスのリサイクル効果 |    |                          |                        |       |            |                          |          |        |                 |
|--------------------|----|--------------------------|------------------------|-------|------------|--------------------------|----------|--------|-----------------|
| カテゴリ               | NO | プロセス                     | 活動量                    |       |            | 排出原単位                    |          |        | 排出量<br>(tCO2/t) |
|                    |    |                          | 項目名                    | 数値    | 単位         | 原単位名                     | 数値       | 単位     |                 |
| B                  | 1  | 鉄回収<br>（粗鋼代替）            | LIBパック1tあたりの鉄回収量       | 0.026 | t/t-LIBパック | 粗鋼製造1tあたりのCO2排出量         | 0.001190 | tCO2/t | 0.000031        |
|                    | 2  | アルミ回収<br>（アルミニウム再生地金代替）  | LIBパック1tから回収されるアルミ量    | 0.191 | t/t-LIBパック | アルミニウム再生地金製造1tあたりのCO2排出量 | 0.003130 | tCO2/t | 0.000599        |
|                    | 3  | プラスチック回収<br>（PPのバンド加工代替） | LIBパック1tから回収されるプラスチック量 | 0.048 | t/t-LIBパック | PPのバンド加工製造1tあたりのCO2排出量   | 0.000446 | tCO2/t | 0.000021        |
|                    | 4  | リチウム回収<br>（電気リチウム代替）     | LIBパック1tから回収されるリチウム量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気リチウム製造1tあたりのCO2排出量     | 0.082300 | tCO2/t | 0.000000        |
|                    | 5  | コバルト回収<br>（電気コバルト代替）     | LIBパック1tから回収されるコバルト量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気コバルト製造1tあたりのCO2排出量     | 0.018800 | tCO2/t | 0.000000        |
|                    | 6  | ニッケル回収<br>（電気ニッケル代替）     | LIBパック1tから回収されるニッケル量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気ニッケル製造1tあたりのCO2排出量     | 0.007980 | tCO2/t | 0.000000        |
|                    | 7  | 銅回収<br>（電気銅代替）           | LIBパック1tから回収される銅量      | 0.068 | t/t-LIBパック | 電気銅製造1tあたりのCO2排出量        | 0.003670 | tCO2/t | 0.000251        |
|                    | 合計 |                          |                        |       |            |                          |          |        | <b>0.001</b>    |

表 2-6 定置炉処理の活動量と CO2 排出量原単位（車載用 4(国内)LIB パック 1t あたり）

| ベースラインプロセス |    |          |                                     |        |              |                        |          |          |                  |
|------------|----|----------|-------------------------------------|--------|--------------|------------------------|----------|----------|------------------|
| カテゴリ       | NO | プロセス     | 活動量                                 |        |              | 排出原単位                  |          |          | 排出量<br>(t CO2/t) |
|            |    |          | 項目名                                 | 数値     | 単位           | 原単位名                   | 数値       | 単位       |                  |
| A          | 1  | 焼却（定置炉）  | LIBパック1tあたりの再生重油B消費量                | 0.169  | kL/t-LIBパック  | 再生重油Bの使用におけるCO2排出係数    | 3.000000 | tCO2/kL  | 0.507282         |
|            | 2  |          | 初期に投入するLIBパック1tあたりの当該工程での廃プラスチック処理量 | 0.172  | t/t-LIBパック   | 廃プラスチック類の燃焼におけるCO2排出係数 | 2.550000 | tCO2/t   | 0.437878         |
|            | 3  | 破碎機（剪断式） | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 38.859 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.019896         |
|            | 4  | 集塵機      | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 14.130 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.007235         |
|            | 5  | 選別（篩い分け） | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 1.060  | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.000543         |
|            | 合計 |          |                                     |        |              |                        |          |          | <b>0.973</b>     |

| ベースラインプロセスのリサイクル効果 |    |                          |                        |       |            |                          |          |        |                  |
|--------------------|----|--------------------------|------------------------|-------|------------|--------------------------|----------|--------|------------------|
| カテゴリ               | NO | プロセス                     | 活動量                    |       |            | 排出原単位                    |          |        | 排出量<br>(t CO2/t) |
|                    |    |                          | 項目名                    | 数値    | 単位         | 原単位名                     | 数値       | 単位     |                  |
| B                  | 1  | 鉄回収<br>（粗鋼代替）            | LIBパック1tあたりの鉄回収量       | 0.243 | t/t-LIBパック | 粗鋼製造1tあたりのCO2排出量         | 0.001190 | tCO2/t | 0.000289         |
|                    | 2  | アルミ回収<br>（アルミニウム再生地金代替）  | LIBパック1tから回収されるアルミ量    | 0.081 | t/t-LIBパック | アルミニウム再生地金製造1tあたりのCO2排出量 | 0.003130 | tCO2/t | 0.000253         |
|                    | 3  | プラスチック回収<br>（PPのバンド加工代替） | LIBパック1tから回収されるプラスチック量 | 0.000 | t/t-LIBパック | PPのバンド加工製造1tあたりのCO2排出量   | 0.000446 | tCO2/t | 0.000000         |
|                    | 4  | リチウム回収<br>（電気リチウム代替）     | LIBパック1tから回収されるリチウム量   | 0.001 | t/t-LIBパック | 電気リチウム製造1tあたりのCO2排出量     | 0.082300 | tCO2/t | 0.000070         |
|                    | 5  | コバルト回収<br>（電気コバルト代替）     | LIBパック1tから回収されるコバルト量   | 0.003 | t/t-LIBパック | 電気コバルト製造1tあたりのCO2排出量     | 0.018800 | tCO2/t | 0.000051         |
|                    | 6  | ニッケル回収<br>（電気ニッケル代替）     | LIBパック1tから回収されるニッケル量   | 0.001 | t/t-LIBパック | 電気ニッケル製造1tあたりのCO2排出量     | 0.007980 | tCO2/t | 0.000005         |
|                    | 7  | 銅回収<br>（電気銅代替）           | LIBパック1tから回収される銅量      | 0.158 | t/t-LIBパック | 電気銅製造1tあたりのCO2排出量        | 0.003670 | tCO2/t | 0.000580         |
|                    | 合計 |                          |                        |       |            |                          |          |        | <b>0.001</b>     |

表 2-7 定置炉処理の活動量と CO2 排出量原単位（混合（多種多様）LIB パック 1t あたり）

| ベースラインプロセス |    |          |                                     |        |              |                        |          |          |                  |
|------------|----|----------|-------------------------------------|--------|--------------|------------------------|----------|----------|------------------|
| カテゴリ       | NO | プロセス     | 活動量                                 |        |              | 排出原単位                  |          |          | 排出量<br>(t CO2/t) |
|            |    |          | 項目名                                 | 数値     | 単位           | 原単位名                   | 数値       | 単位       |                  |
| A          | 1  | 焼却（定置炉）  | LIBパック1tあたりの再生重油消費量                 | 0.164  | kL/t-LIBパック  | 再生重油Bの使用におけるCO2排出係数    | 3.000000 | tCO2/kL  | 0.491999         |
|            | 2  |          | 初期に投入するLIBパック1tあたりの当該工程での廃プラスチック処理量 | 0.147  | t/t-LIBパック   | 廃プラスチック類の燃焼におけるCO2排出係数 | 2.550000 | tCO2/t   | 0.375785         |
|            | 3  | 破碎機（剪断式） | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 39.165 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.020052         |
|            | 4  | 集塵機      | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 14.242 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.007292         |
|            | 5  | 選別（篩い分け） | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 1.068  | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.000547         |
|            | 合計 |          |                                     |        |              |                        |          |          | <b>0.896</b>     |

| ベースラインプロセスのリサイクル効果 |    |                          |                        |       |            |                          |          |        |                  |
|--------------------|----|--------------------------|------------------------|-------|------------|--------------------------|----------|--------|------------------|
| カテゴリ               | NO | プロセス                     | 活動量                    |       |            | 排出原単位                    |          |        | 排出量<br>(t CO2/t) |
|                    |    |                          | 項目名                    | 数値    | 単位         | 原単位名                     | 数値       | 単位     |                  |
| B                  | 1  | 鉄回収<br>（粗鋼代替）            | LIBパック1tあたりの鉄回収量       | 0.223 | t/t-LIBパック | 粗鋼製造1tあたりのCO2排出量         | 0.001190 | tCO2/t | 0.000265         |
|                    | 2  | アルミ回収<br>（アルミニウム再生地金代替）  | LIBパック1tから回収されるアルミ量    | 0.105 | t/t-LIBパック | アルミニウム再生地金製造1tあたりのCO2排出量 | 0.003130 | tCO2/t | 0.000330         |
|                    | 3  | プラスチック回収<br>（PPのバンド加工代替） | LIBパック1tから回収されるプラスチック量 | 0.018 | t/t-LIBパック | PPのバンド加工製造1tあたりのCO2排出量   | 0.000446 | tCO2/t | 0.000008         |
|                    | 4  | リチウム回収<br>（電気リチウム代替）     | LIBパック1tから回収されるリチウム量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気リチウム製造1tあたりのCO2排出量     | 0.082300 | tCO2/t | 0.000000         |
|                    | 5  | コバルト回収<br>（電気コバルト代替）     | LIBパック1tから回収されるコバルト量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気コバルト製造1tあたりのCO2排出量     | 0.018800 | tCO2/t | 0.000000         |
|                    | 6  | ニッケル回収<br>（電気ニッケル代替）     | LIBパック1tから回収されるニッケル量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気ニッケル製造1tあたりのCO2排出量     | 0.007980 | tCO2/t | 0.000000         |
|                    | 7  | 銅回収<br>（電気銅代替）           | 電気銅製造1tあたりのCO2排出量      | 0.004 | tCO2/t     | 電気銅製造1tあたりのCO2排出量        | 0.003670 | tCO2/t | 0.000013         |
|                    | 合計 |                          |                        |       |            |                          |          |        | <b>0.001</b>     |

表 2-8 本事業の活動量と CO2 排出量原単位（車載用 2(国内)LIB パック 1t あたり）

| 実証事業のリサイクルプロセス |    |          |   |        |              |                        |          |          |                 |
|----------------|----|----------|---|--------|--------------|------------------------|----------|----------|-----------------|
| カテゴリ           | NO | プロセス     | 活動量                                     |        |              | 排出原単位                  |          |          | 排出量<br>(tCO2/t) |
|                |    |          | 項目名                                     | 数値     | 単位           | 原単位名                   | 数値       | 単位       |                 |
| C              | 1  | 焙焼炉      | LIBパック1tあたりの灯油消費量                       | 0.153  | kL/t-LIBパック  | 灯油の使用におけるCO2排出係数       | 2.490000 | tCO2/kL  | 0.380730        |
|                | 2  |          | 初期に投入するLIBパック1tあたりの<br>当該工程での廃プラスチック処理量 | 0.158  | t/t-LIBパック   | 廃プラスチック類の燃焼におけるCO2排出係数 | 2.550000 | tCO2/t   | 0.401881        |
|                | 3  | 送風ファン    | LIBパック1tあたりの電気消費量                       | 77.593 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.039728        |
|                | 4  | 破碎機（剪断式） | LIBパック1tあたりの電気消費量                       | 44.443 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.022755        |
|                | 5  | 集塵機      | LIBパック1tあたりの電気消費量                       | 16.161 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.008274        |
|                | 6  | 選別（篩い分け） | LIBパック1tあたりの電気消費量                       | 1.212  | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh | 0.000621        |
|                | 合計 |          |   |        |              |                        |          |          | <b>0.854</b>    |

| 実証事業のリサイクルプロセスのリサイクル効果 |    |                          |                            |       |            |                          |          |        |                 |
|------------------------|----|--------------------------|----------------------------|-------|------------|--------------------------|----------|--------|-----------------|
| カテゴリ                   | NO | プロセス                     | 活動量                        |       |            | 排出原単位                    |          |        | 排出量<br>(tCO2/t) |
|                        |    |                          | 項目名                        | 数値    | 単位         | 原単位名                     | 数値       | 単位     |                 |
| D                      | 1  | 鉄回収<br>（粗鋼代替）            | LIBパック1tあたりの鉄回収量           | 0.026 | t/t-LIBパック | 粗鋼製造1tあたりのCO2排出量         | 0.001190 | tCO2/t | 0.000031        |
|                        | 2  | アルミ回収<br>（アルミニウム再生地金代替）  | LIBパック1tから回収されるアルミ量        | 0.191 | t/t-LIBパック | アルミニウム再生地金製造1tあたりのCO2排出量 | 0.003130 | tCO2/t | 0.000599        |
|                        | 3  | プラスチック回収<br>（PPのバンド加工代替） | LIBパック1tから回収される<br>プラスチック量 | 0.048 | t/t-LIBパック | PPのバンド加工製造1tあたりのCO2排出量   | 0.000446 | tCO2/t | 0.000021        |
|                        | 4  | リチウム回収<br>（電気リチウム代替）     | LIBパック1tから回収されるリチウム量       | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気リチウム製造1tあたりのCO2排出量     | 0.082300 | tCO2/t | 0.000000        |
|                        | 5  | コバルト回収<br>（電気コバルト代替）     | LIBパック1tから回収されるコバルト量       | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気コバルト製造1tあたりのCO2排出量     | 0.018800 | tCO2/t | 0.000000        |
|                        | 6  | ニッケル回収<br>（電気ニッケル代替）     | LIBパック1tから回収されるニッケル量       | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気ニッケル製造1tあたりのCO2排出量     | 0.007980 | tCO2/t | 0.000000        |
|                        | 7  | 銅回収<br>（電気銅代替）           | LIBパック1tから回収される銅量          | 0.068 | t/t-LIBパック | 電気銅製造1tあたりのCO2排出量        | 0.003670 | tCO2/t | 0.000251        |
|                        | 8  | 排ガス                      | LIBパック1tあたりの代替率            | 0.017 | t/t        | 石炭（一般炭）におけるCO2排出係数       | 2.330000 | tCO2/t | 0.040096        |
|                        | 合計 |                          |                            |       |            |                          |          |        | <b>0.041</b>    |

表 2-9 本事業の活動量と CO2 排出量原単位（車載用 4(国内)LIB パック 1t あたり）

| 実証事業のリサイクルプロセス |    |          |                                     |        |              |                        |          |              |                  |
|----------------|----|----------|-------------------------------------|--------|--------------|------------------------|----------|--------------|------------------|
| カテゴリ           | NO | プロセス     | 活動量                                 |        |              | 排出原単位                  |          |              | 排出量<br>(t CO2/t) |
|                |    |          | 項目名                                 | 数値     | 単位           | 原単位名                   | 数値       | 単位           |                  |
| C              | 1  | 焙焼炉      | LIBパック1tあたりの灯油消費量                   | 0.107  | kL/t-LIBパック  | 灯油の使用におけるCO2排出係数       | 2.490000 | tCO2/kL      | 0.265591         |
|                | 2  |          | 初期に投入するLIBパック1tあたりの当該工程での廃プラスチック処理量 | 0.172  | t/t-LIBパック   | 廃プラスチック類の燃焼におけるCO2排出係数 | 2.550000 | tCO2/t       | 0.437878         |
|                | 3  | 送風ファン    | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 71.425 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh     | 0.036570         |
|                | 4  | 破碎機（剪断式） | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 38.859 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh     | 0.019896         |
|                | 5  | 集塵機      | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 14.130 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh     | 0.007235         |
|                | 6  | 選別（篩い分け） | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 1.060  | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh     | 0.000543         |
|                | 合計 |          |                                     |        |              |                        |          | <b>0.768</b> |                  |

| 実証事業のリサイクルプロセスのリサイクル効果 |    |                          |                        |       |            |                          |          |              |                  |
|------------------------|----|--------------------------|------------------------|-------|------------|--------------------------|----------|--------------|------------------|
| カテゴリ                   | NO | プロセス                     | 活動量                    |       |            | 排出原単位                    |          |              | 排出量<br>(t CO2/t) |
|                        |    |                          | 項目名                    | 数値    | 単位         | 原単位名                     | 数値       | 単位           |                  |
| D                      | 1  | 鉄回収<br>（粗鋼代替）            | LIBパック1tあたりの鉄回収量       | 0.243 | t/t-LIBパック | 粗鋼製造1tあたりのCO2排出量         | 0.001190 | tCO2/t       | 0.000289         |
|                        | 2  | アルミ回収<br>（アルミニウム再生地金代替）  | LIBパック1tから回収されるアルミ量    | 0.081 | t/t-LIBパック | アルミニウム再生地金製造1tあたりのCO2排出量 | 0.003130 | tCO2/t       | 0.000253         |
|                        | 3  | プラスチック回収<br>（PPのバンド加工代替） | LIBパック1tから回収されるプラスチック量 | 0.000 | t/t-LIBパック | PPのバンド加工製造1tあたりのCO2排出量   | 0.000446 | tCO2/t       | 0.000000         |
|                        | 4  | リチウム回収<br>（電気リチウム代替）     | LIBパック1tから回収されるリチウム量   | 0.001 | t/t-LIBパック | 電気リチウム製造1tあたりのCO2排出量     | 0.082300 | tCO2/t       | 0.000070         |
|                        | 5  | コバルト回収<br>（電気コバルト代替）     | LIBパック1tから回収されるコバルト量   | 0.003 | t/t-LIBパック | 電気コバルト製造1tあたりのCO2排出量     | 0.018800 | tCO2/t       | 0.000051         |
|                        | 6  | ニッケル回収<br>（電気ニッケル代替）     | LIBパック1tから回収されるニッケル量   | 0.001 | t/t-LIBパック | 電気ニッケル製造1tあたりのCO2排出量     | 0.007980 | tCO2/t       | 0.000005         |
|                        | 7  | 銅回収<br>（電気銅代替）           | LIBパック1tから回収される銅量      | 0.158 | t/t-LIBパック | 電気銅製造1tあたりのCO2排出量        | 0.003670 | tCO2/t       | 0.000580         |
|                        | 8  | 排ガス                      | LIBパック1tあたりの代替率        | 0.016 | t/t        | 石炭（一般炭）におけるCO2排出係数       | 2.330000 | tCO2/t       | 0.036909         |
|                        | 合計 |                          |                        |       |            |                          |          | <b>0.038</b> |                  |

表 2-10 本事業の活動量と CO2 排出量原単位 (混合(多種多様)LIB パック 1t あたり)

| 実証事業のリサイクルプロセス |    |           |                                     |        |              |                        |          |              |                  |
|----------------|----|-----------|-------------------------------------|--------|--------------|------------------------|----------|--------------|------------------|
| カテゴリ           | NO | プロセス      | 活動量                                 |        |              | 排出原単位                  |          |              | 排出量<br>(t CO2/t) |
|                |    |           | 項目名                                 | 数値     | 単位           | 原単位名                   | 数値       | 単位           |                  |
| C              | 1  | 焙焼炉       | LIBパック1tあたりの灯油消費量                   | 0.023  | kL/t-LIBパック  | 灯油の使用におけるCO2排出係数       | 2.490000 | tCO2/kL      | 0.058160         |
|                | 2  |           | 初期に投入するLIBパック1tあたりの当該工程での廃プラスチック処理量 | 0.147  | t/t-LIBパック   | 廃プラスチック類の燃焼におけるCO2排出係数 | 2.550000 | tCO2/t       | 0.375785         |
|                | 3  | 送風ファン     | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 69.273 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh     | 0.035468         |
|                | 4  | 破砕機 (剪断式) | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 39.165 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh     | 0.020052         |
|                | 5  | 集塵機       | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 14.242 | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh     | 0.007292         |
|                | 6  | 選別 (篩い分け) | LIBパック1tあたりの電気消費量                   | 1.068  | kWh/t-LIBパック | 電気の使用におけるCO2排出係数       | 0.000512 | tCO2/kwh     | 0.000547         |
|                | 合計 |           |                                     |        |              |                        |          | <b>0.497</b> |                  |

| 実証事業のリサイクルプロセスのリサイクル効果 |    |                          |                        |       |            |                          |          |              |                  |
|------------------------|----|--------------------------|------------------------|-------|------------|--------------------------|----------|--------------|------------------|
| カテゴリ                   | NO | プロセス                     | 活動量                    |       |            | 排出原単位                    |          |              | 排出量<br>(t CO2/t) |
|                        |    |                          | 項目名                    | 数値    | 単位         | 原単位名                     | 数値       | 単位           |                  |
| D                      | 1  | 鉄回収<br>(粗鋼代替)            | LIBパック1tあたりの鉄回収量       | 0.223 | t/t-LIBパック | 粗鋼製造1tあたりのCO2排出量         | 0.001190 | tCO2/t       | 0.000265         |
|                        | 2  | アルミ回収<br>(アルミニウム再生地金代替)  | LIBパック1tから回収されるアルミ量    | 0.105 | t/t-LIBパック | アルミニウム再生地金製造1tあたりのCO2排出量 | 0.003130 | tCO2/t       | 0.000330         |
|                        | 3  | プラスチック回収<br>(PPのバンド加工代替) | LIBパック1tから回収されるプラスチック量 | 0.018 | t/t-LIBパック | PPのバンド加工製造1tあたりのCO2排出量   | 0.000446 | tCO2/t       | 0.000008         |
|                        | 4  | リチウム回収<br>(電気リチウム代替)     | LIBパック1tから回収されるリチウム量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気リチウム製造1tあたりのCO2排出量     | 0.082300 | tCO2/t       | 0.000000         |
|                        | 5  | コバルト回収<br>(電気コバルト代替)     | LIBパック1tから回収されるコバルト量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気コバルト製造1tあたりのCO2排出量     | 0.018800 | tCO2/t       | 0.000000         |
|                        | 6  | ニッケル回収<br>(電気ニッケル代替)     | LIBパック1tから回収されるニッケル量   | 0.000 | t/t-LIBパック | 電気ニッケル製造1tあたりのCO2排出量     | 0.007980 | tCO2/t       | 0.000000         |
|                        | 7  | 銅回収<br>(電気銅代替)           | LIBパック1tから回収される銅量      | 0.037 | t/t-LIBパック | 電気銅製造1tあたりのCO2排出量        | 0.003670 | tCO2/t       | 0.000136         |
|                        | 8  | 排ガス                      | LIBパック1tあたりの代替率        | 0.015 | t/t        | 石炭 (一般炭) におけるCO2排出係数     | 2.330000 | tCO2/t       | 0.035797         |
|                        | 合計 |                          |                        |       |            |                          |          | <b>0.037</b> |                  |

表 2-11 CO2 排出量削減効果試算にて使用した排出係数の出典一覧

| データ項目                    | プロセス                 |   |
|--------------------------|----------------------|---|
| 粗鋼製造1tあたりのCO2排出量         | 鉄回収（粗鋼代替）            | CFPプログラム「CO2換算量共通原単位データベース」                                   |
| アルミニウム再生地金製造1tあたりのCO2排出量 | アルミ回収（アルミニウム再生地金代替）  |   |
| 電気銅製造1tあたりのCO2排出量        | 銅回収（電気銅代替）           |   |
| 電気リチウム製造1tあたりのCO2排出量     | リチウム回収（電気リチウム代替）     |   |
| 電気コバルト製造1tあたりのCO2排出量     | コバルト回収（電気コバルト代替）     |   |
| 電気ニッケル製造1tあたりのCO2排出量     | ニッケル回収（電気ニッケル代替）     |   |
| PPのバンド加工製造1tあたりのCO2排出量   | プラスチック回収（PPのバンド加工代替） |   |
| 再生重油Bの使用におけるCO2排出係数      | 焼却（定置炉）              | 環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」                                |
| 灯油の使用におけるCO2排出係数         | 焙焼炉                  |   |
| 電気の使用におけるCO2排出係数         | 送風ファン                | 「電気事業者別排出係数一覧（H29年度実績 代替値）」 -H29年度実績-<br>H30.12.27環境省・経済産業省公表 |
|                          | 破碎機（剪断式）             |   |
|                          | 集塵機                  |   |
|                          | 選別（篩い分け）             |   |
| 廃プラスチック類の燃焼におけるCO2排出係数   | 焼却（定置炉）              | 環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」                                |
|                          | 焙焼炉                  |   |
| 石炭（一般炭）カロリー              | 排ガス                  | 石炭灰ハンドブックH28年度  |

### 2.3 使用済み LIB パック回収にかかる CO2 排出量の検討

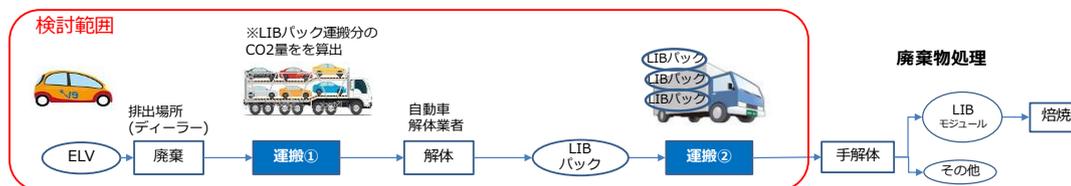
使用済み LIB パックの回収にかかる CO2 量についても、モデルケースを設定し、算出を行った。算定範囲は、自動車ディーラーにて廃棄してから自動車解体業者に持ち込み、そこで LIB パックを取り出して手解体ヤードに持ち込むまでとした。

運搬時の積載状況については、理想積載と非効率積載の 2 パターンを設定した。現状の実態に近いのは非効率積載のほうである。

運搬する車両については、ディーラーから自動車解体業者に持ち込む運搬①では 9t トレーラーとし、自動車解体業者から手解体ヤードに持ち込む運搬②については、2tトラックと 4tトラックを使った場合の 2 パターンと設定した。

改良トンキロ法にて算定した結果、LIB パック 1t あたりの CO2 排出量は、理想積載では約 50kg と少なく抑えられたが、現状の非効率積載では、128kg、167kg となり、単一種類の LIB パック処理にかかる CO2 量と殆ど変わらないことが窺えた。

【LIBパック回収にかかるCO2 検討モデル案】



|       | 算定範囲 | 運搬物    | 運搬車両 | 積載状況                     | 積載量                      | 走行距離  |
|-------|------|--------|------|--------------------------|--------------------------|-------|
| 理想積載  | 運搬①  | ELV    |      | トレーラー1台にELV6台 (LIBパック6個) | 6台                       | 50km  |
|       | 運搬②  | LIBパック |      | 運搬車両 (4t、2t) に最大積載*1     | 4t: 最大 50個<br>2t: 最大 25個 | 100km |
| 非効率積載 | 運搬①  | ELV    |      | トレーラー1台にELV1台 (LIBパック1個) | 1台                       | 50km  |
|       | 運搬②  | LIBパック |      | 運搬車両 (4t、2t) に最小積載*2     | 4t: 1個<br>2t: 1個         | 100km |

\*1: パレットのサイズや安全な運搬形態を考慮した最大積載量を設定。LIBパックは中サイズを想定。

\*2: 自動車解体業者では屋根付きの保管場所がないため、1台から搬出することから、これを最小積載量と設定。

図 2-5 使用済 LIB パック回収にかかる CO2 排出量検討モデル

(備考: ELV1.5t/台、LIB パック 50kg/個と仮定した)

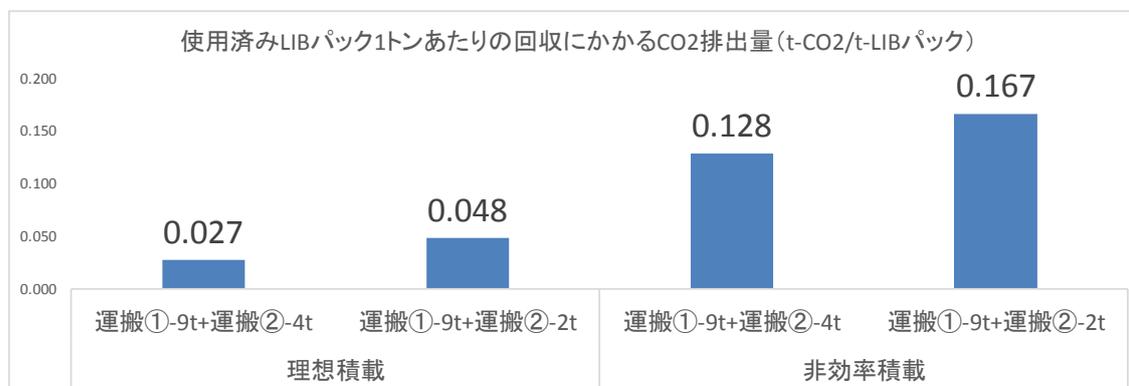


図 2-6 使用済 LIB パック回収にかかる CO2 排出量

表 2-12 使用済 LIB パック回収にかかる CO2 排出量の算定根拠

| ◆理想積載          |      |                   |        |                                |                 |         |                |     |
|----------------|------|-------------------|--------|--------------------------------|-----------------|---------|----------------|-----|
| カテゴリ           | プロセス | 活動量/<br>原単位       | 参考番号   | データ項目                          | 数値              | 単位      | 計算式、説明         | 出典  |
| 運搬①<br>9tトレーラー | 運搬①  |                   |        | トラック(トレーラー)のELV積載重量            | 9               | t/台     | 1.5t × 6台      | 推定値 |
|                |      |                   |        | トラック(トレーラー)のELV積載率             | 100%            | %/台     | 6台/台           | 推定値 |
|                |      |                   |        | トラック(トレーラー)の積載重量に占めるLIBパックの輸送量 | 0.3             | t/台     | 50kg/個 × 6台    | 推定値 |
|                |      |                   |        | 輸送距離                           | 50              | km/回    | 県内移動           | 推定値 |
|                |      | 活動量               | C001   | ELV1tあたりの輸送量                   | 450             | tkm     | 積載重量 × 輸送距離    |     |
|                |      | 原単位               |        | 軽油のCO2排出量原単位                   | 2.5800          | tCO2/kL | 排出量原単位         | 1)  |
| 原単位            | C002 | 1tkmあたりの燃料(軽油)使用量 | 0.039  | L/tkm                          | 中央値9t車両、積載率100% | 2)      |                |     |
| ◆非効率           |      |                   |        |                                |                 |         |                |     |
| カテゴリ           | プロセス | 活動量/<br>原単位       | 参考番号   | データ項目                          | 数値              | 単位      | 計算式、説明         | 出典  |
| 運搬②<br>4tトラック  | 運搬②  |                   |        | トラック(4t)のLIBバック積載重量            | 2.5             | t/台     | 前提条件           | 推定値 |
|                |      |                   |        | トラックの積載率                       | 63%             | %/台     | 4t             | 推定値 |
|                |      |                   |        | 輸送距離                           | 100             | km/回    | 県内移動           | 推定値 |
|                |      | 活動量               | C001   | ELV1tあたりの輸送量                   | 250             | tkm     | 積載重量 × 輸送距離    |     |
|                |      | 原単位               |        | 軽油のCO2排出量原単位                   | 2.5800          | tCO2/kL | 排出量原単位         | 1)  |
|                |      | 原単位               | C002   | 1tkmあたりの燃料(軽油)使用量              | 0.0867          | L/tkm   | 中央値5t車両、積載率60% | 2)  |
| 運搬②<br>2tトラック  | 運搬②  |                   |        | トラック(2t)のLIBバック積載重量            | 1.0             | t/台     | 前提条件           | 推定値 |
|                |      |                   |        | トラックの積載率                       | 50%             | %/台     | 2t             | 推定値 |
|                |      |                   |        | 輸送距離                           | 100             | km/回    | 県内移動           | 推定値 |
|                |      | 活動量               | C001   | ELV1tあたりの輸送量                   | 100             | tkm     | 積載重量 × 輸送距離    |     |
|                |      | 原単位               |        | 軽油のCO2排出量原単位                   | 2.5800          | tCO2/kL | 排出量原単位         | 1)  |
|                |      | 原単位               | C002   | 1tkmあたりの燃料(軽油)使用量              | 0.1680          | L/tkm   | 中央値3t車両、積載率40% | 2)  |
| 運搬①<br>9tトレーラー | 運搬①  |                   |        | トラック(トレーラー)のELV積載重量            | 1.5             | t/台     | 1.5t × 6台      | 推定値 |
|                |      |                   |        | トラック(トレーラー)のELV積載率             | 17%             | %/台     | 6台/台           | 推定値 |
|                |      |                   |        | トラック(トレーラー)の積載重量に占めるLIBパックの輸送量 | 0.05            | t/台     | 50kg/個 × 1台    | 推定値 |
|                |      |                   |        | 輸送距離                           | 50              | km/回    | 県内移動           | 推定値 |
|                |      | 活動量               | C001   | ELV1tあたりの輸送量                   | 75              | tkm     | 積載重量 × 輸送距離    |     |
|                |      | 原単位               |        | 軽油のCO2排出量原単位                   | 2.5800          | tCO2/kL | 排出量原単位         | 1)  |
| 原単位            | C002 | 1tkmあたりの燃料(軽油)使用量 | 0.2530 | L/tkm                          | 中央値9t車両、積載率10%  | 2)      |                |     |
| 運搬②<br>4tトラック  | 運搬②  |                   |        | トラック(4t)のLIBバック積載重量            | 0.05            | t/台     | 前提条件           | 推定値 |
|                |      |                   |        | トラックの積載率                       | 1%              | %/台     | 4t             | 推定値 |
|                |      |                   |        | 輸送距離                           | 100             | km/回    | 県内移動           | 推定値 |
|                |      | 活動量               | C001   | ELV1tあたりの輸送量                   | 5               | tkm     | 積載重量 × 輸送距離    |     |
|                |      | 原単位               |        | 軽油のCO2排出量原単位                   | 2.5800          | tCO2/kL | 排出量原単位         | 1)  |
|                |      | 原単位               | C002   | 1tkmあたりの燃料(軽油)使用量              | 0.3710          | L/tkm   | 中央値5t車両、積載率10% | 2)  |
| 運搬②<br>2tトラック  | 運搬②  |                   |        | トラック(2t)のLIBバック積載重量            | 0.1             | t/台     | 前提条件           | 推定値 |
|                |      |                   |        | トラックの積載率                       | 3%              | %/台     | 2t             | 推定値 |
|                |      |                   |        | 輸送距離                           | 100             | km/回    | 県内移動           | 推定値 |
|                |      | 活動量               | C001   | ELV1tあたりの輸送量                   | 5               | tkm     | 積載重量 × 輸送距離    |     |
|                |      | 原単位               |        | 軽油のCO2排出量原単位                   | 2.5800          | tCO2/kL | 排出量原単位         | 1)  |
|                |      | 原単位               | C002   | 1tkmあたりの燃料(軽油)使用量              | 0.5190          | L/tkm   | 中央値3t車両、積載率10% | 2)  |

(備考：排出係数等の出典は下記の通り。)

- 1)環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧（参考1）」
- 2) 経済産業省、国土交通省「ロジスティクス分野における CO2 排出量算定方法 共同ガイドライン Ver. 3.1(平成 28 年 7 月)」

## 2.4 排ガスによる環境負荷の削減効果の検討

排ガス（フッ化水素含有）の低コスト無害化处理について、LIB パックに含まれるハロゲン元素（フッ素）の挙動について検証した結果、殆どが 1mm 未満の極材粉に移動していた。一部は焙焼排ガスに移動していたが、この排ガスはセメント焼成炉に送られ、無害化处理される。セメント焼成設備の最終排ガスを計測した結果、フッ素の無害化处理が確認された。

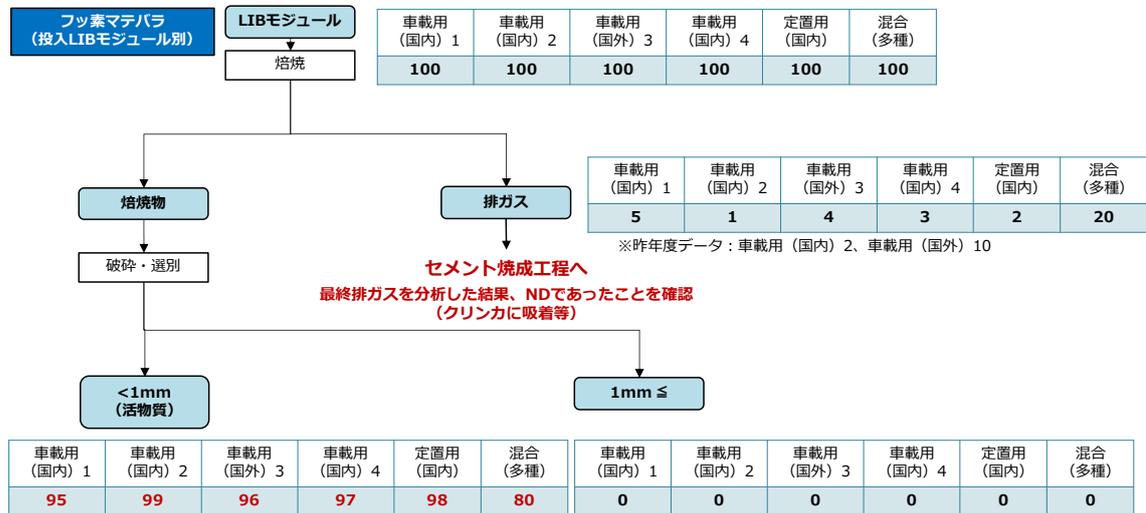


図 2-7 本事業におけるフッ素のマテリアルバランス

### 3. 経済性評価による事業実現可能性の検証

#### 3.1 本事業スキームによる使用済 LIB パックの経済性評価

LIB パック 1t あたりの資源評価とコスト評価による収支結果を示す。

LIB モジュール別のマテリアルバランスより、1mm 未満におけるリチウムの回収効率が良かったもの（車載用 2/国内）、悪かったもの（車載用 4/国内）、混合（多種多様）の 3 つのケースにて試算を行った。

試算の結果、車載用 4 の極材粉(<1mm)にて Co と Ni に有価評価が得られた。一方、車載用 2、混合の極材粉(<1mm)はいずれも有価評価されず、セメント原料化と判定された。

車載用 4 はレアメタルが資源評価されたことにより約 4 万円/t の資源価値ありと算出されたが、人件費等のコストが約 18 万円/t かかる見込みであり、収支では▲13 万円/t 程度となった。

昨年度の結果では総合評価▲10 万円前後の見込みであったが、本事業では▲15 万円前後と算出された。これは LIB パックの素材構成比が異なったため、コスト算定結果が変わったと考えられる。特に LIB パックに占めるベースメタル量が減り、LIB モジュール量が多くなると、LIB モジュールの運搬コストや焙焼処理コスト等が増えることから、全体的にコスト増となった。車載用 LIB パックでも物によってコストが大きく異なるとの知見を得られたことから、実運用でのコスト設定に反映させたい。

なお、本年度の実証結果により灯油使用量の削減が見込まれた。この削減効果を基に昨年度の LIB パック・モジュールについて経済性評価を前後比較したところ、2,000 円/t のコスト削減効果が得られると算出された。より良い経済性評価となるよう、今後も設備コスト、消耗品コストの削減策を検討したい。

表 3-1 使用済 LIB モジュールの種類別の資源価値とコストによる経済性総合評価

| (単位：円/t)  |              | 金属スクラップ |            | プラスチック | <1mm |    |    |           |        | 1mm≦   | 資源評価計  | コスト計     | 総合評価     |
|-----------|--------------|---------|------------|--------|------|----|----|-----------|--------|--------|--------|----------|----------|
|           |              | 鉄 (H2)  | 非鉄 (アルミガラ) |        | Li   | Co | Ni | レアメタル回収判定 | 実金額    | Cu     |        |          |          |
| 車載用 LIB   | 車載用2(国内) -EV | 570     | 22,000     | -4,780 | ×    | ×  | ×  | ×         | -5,600 | 9,990  | 22,160 | -185,500 | -163,000 |
|           | 車載用4(国内) -HV | 5,330   | 9,300      | 0      | ○    | ○  | ○  | ○         | 5,500  | 22,730 | 42,960 | -173,100 | -130,000 |
| 混合 (多種多様) |              | 4,900   | 12,107     | -1,779 | ×    | ×  | ×  | ×         | -5,600 | 4,930  | 14,540 | -170,200 | -155,000 |

(備考：

- ・ 手解体により回収された資源は、鉄は H2、非鉄はアルミガラとして相場評価し、プラスチックは現状を鑑みリサイクル処理とした。
- ・ <1mm は、Co と Ni の含有濃度にて製錬評価を行い、どちらか片方が有価評価された場合に Li も回収されるとした。(製錬ヒアリングより)
- ・ Li,Co,Ni の金属価値は、Co と Ni は LME の相場評価を用いた (製錬コスト考慮済み)。Li は上記の設定理由から金額評価対象外とした。(製錬ヒアリングより)
- ・ 含有濃度上有価評価されなかったが金属回収が可能な濃度だった場合は廉価有価とし、金属回収も不可な濃度の場合はセメント化処理 (要処理費) とした。
- ・ 1mm≦は銅評価 (鉄、アルミ混ざり) とし、評価量は 1mm≦回収量ではなく、1mm≦回収量に含有する銅量とした。
- ・ コストでは、人件費、運搬コスト (モジュール、パック、焙焼物)、設備コスト、消耗品コストを考慮した。
- ・ 上記表では、ベースメタルとプラスチックは下 1 桁、レアメタルとコスト計は下 2 桁、総合評価は下 3 桁の切り捨て処理を行っている。

表 3-2 使用済 LIB パックの処理スキームにおけるコスト計の内訳

| (単位：円)    |               | 人件費     | 運搬コスト   | 設備コスト   | 消耗品コスト |
|-----------|---------------|---------|---------|---------|--------|
| 車載用 LIB   | 車載用 2(国内) -EV | -62,700 | -82,300 | -32,000 | -8,400 |
|           | 車載用 4(国内) -HV | -57,700 | -78,000 | -29,400 | -7,900 |
| 混合 (多種多様) |               | -55,900 | -77,300 | -29,000 | -7,800 |

表 3-3 本年度と昨年度の使用済 LIB パックの構成比と収支総合評価比較

単位：t

| 車載用 LIB | 車載用 2(国内) -EV | 車載用 4(国内) -HV | パック | LIBモジュール | 金属スクラップ |      | プラスチック | 焙焼物  | <1mm | 1mm≦ | 資源評価計 | コスト計 | 1mm≦ |
|---------|---------------|---------------|-----|----------|---------|------|--------|------|------|------|-------|------|------|
|         |               |               |     |          | 鉄       | 非鉄*  |        |      |      |      |       |      |      |
|         |               |               | 1   | 0.73     | 0.03    | 0.19 | 0.05   | 0.58 | 0.23 | 0.35 |       |      |      |
|         |               |               | 1   | 0.68     | 0.24    | 0.08 | 0.00   | 0.50 | 0.06 | 0.44 |       |      |      |
|         | 混合 (多種多様)     |               | 1   | 0.66     | 0.22    | 0.11 | 0.02   | 0.51 | 0.16 | 0.35 |       |      |      |

(単位：円/t)

| 車載用 LIB | 車載用 2(国内) -EV | 車載用 4(国内) -HV | 混合 (多種多様) | 金属スクラップ |            | プラスチック | <1mm |    |    |           |     | 1mm≦   | 資源評価計  | コスト計   | 総合評価     |          |
|---------|---------------|---------------|-----------|---------|------------|--------|------|----|----|-----------|-----|--------|--------|--------|----------|----------|
|         |               |               |           | 鉄 (H2)  | 非鉄 (アルミガラ) |        | Li   | Co | Ni | レアメタル回収判定 | 実金額 |        |        |        |          | Cu       |
|         |               |               |           | 570     | 22,000     | -4,780 | ×    | ×  | ×  | ×         | ×   | -5,600 | 9,990  | 22,160 | -185,500 | -163,000 |
|         |               |               |           | 5,330   | 9,300      | 0      | ○    | ○  | ○  | ○         | ○   | 5,500  | 22,730 | 42,960 | -173,100 | -130,000 |
|         | 混合 (多種多様)     |               |           | 4,900   | 12,107     | -1,779 | ×    | ×  | ×  | ×         | ×   | -5,600 | 4,930  | 14,540 | -170,200 | -155,000 |

単位：t

| 車載用 LIB | 国内-HV | 国外-HV | 平均-HV | 定置用 | パック | LIBモジュール | 金属スクラップ |      | プラスチック | 焙焼物  | <1mm | 1mm≦合計 |
|---------|-------|-------|-------|-----|-----|----------|---------|------|--------|------|------|--------|
|         |       |       |       |     |     |          | 鉄       | 非鉄*  |        |      |      |        |
|         |       |       |       |     | 1   | 0.43     | 0.32    | 0.21 | 0.05   | 0.33 | 0.05 | 0.28   |
|         |       |       |       |     | 1   | 0.59     | 0.02    | 0.35 | 0.04   | 0.45 | 0.08 | 0.38   |
|         |       |       |       |     | 1   | 0.51     | 0.17    | 0.28 | 0.05   | 0.39 | 0.06 | 0.33   |
|         |       |       |       |     | -   | 1        | -       | -    | -      | 0.80 | 0.20 | 0.60   |

H29の前提条件にてコスト試算したケース

(単位：円/t)

| 車載用 LIB | 国内-HV | 国外-HV | 平均-HV | 定置用 LIB | 金属スクラップ |            | プラスチック | <1mm |    |    |           |        | 1mm≦計 (Cu) | 資源評価計  | コスト計     | 総合評価     |
|---------|-------|-------|-------|---------|---------|------------|--------|------|----|----|-----------|--------|------------|--------|----------|----------|
|         |       |       |       |         | 鉄 (H2)  | 非鉄 (アルミガラ) |        | Li   | Co | Ni | レアメタル回収判定 | 実金額    |            |        |          |          |
|         |       |       |       |         | 6,980   | 23,730     | -4,760 | ○    | ○  | ×  | ○         | 16,200 | 17,120     | 59,340 | -128,100 | -68,000  |
|         |       |       |       |         | 470     | 40,000     | -4,340 | ×    | ×  | ×  | ×         | -1,100 | 16,850     | 51,800 | -158,700 | -106,000 |
|         |       |       |       |         | 3,730   | 31,860     | -4,550 | ○    | ○  | ×  | ○         | 0      | 16,990     | 48,030 | -143,400 | -95,000  |
|         |       |       |       |         | -       | -          | -      | ○    | ○  | ○  | ○         | 0      | 100        | 100    | -186,500 | -186,000 |

H30の前提条件にてコスト試算したケース

(単位：円/t)

| 車載用 LIB | 国内-HV | 国外-HV | 平均-HV | 定置用 LIB | 金属スクラップ |            | プラスチック | <1mm |    |    |           |        | 1mm≦計 (Cu) | 資源評価計  | コスト計     | 総合評価     |
|---------|-------|-------|-------|---------|---------|------------|--------|------|----|----|-----------|--------|------------|--------|----------|----------|
|         |       |       |       |         | 鉄 (H2)  | 非鉄 (アルミガラ) |        | Li   | Co | Ni | レアメタル回収判定 | 実金額    |            |        |          |          |
|         |       |       |       |         | 6,980   | 23,730     | -4,760 | ○    | ○  | ×  | ○         | 16,200 | 17,120     | 59,340 | -126,800 | -67,000  |
|         |       |       |       |         | 470     | 40,000     | -4,340 | ×    | ×  | ×  | ×         | -1,100 | 16,850     | 51,800 | -156,900 | -105,000 |
|         |       |       |       |         | 3,730   | 31,860     | -4,550 | ○    | ○  | ×  | ○         | 0      | 16,990     | 48,030 | -141,900 | -93,000  |
|         |       |       |       |         | -       | -          | -      | ○    | ○  | ○  | ○         | 0      | 100        | 100    | -183,500 | -183,000 |

※H29の各資源評価はH30の単価に揃えて修正した。

### 3.2 本事業スキームの見直し改善による使用済 LIB パックの経済性向上の可能性検証

使用済 LIB パックの資源価値と処理コストの経済性総合評価について、スキームの見直し改善によるコスト削減を行い、経済性向上の可能性について検証を行った。

スキームの見直し改善の手法として、処理規模拡大による処理コストの削減と、処理機能を集約し、運搬回数を減らすことによる運搬コストの削減の 2 つの手法について、それぞれ試算を行った。

試算の結果、パターン②の場合、30t/日の処理規模で、▲10 万円前後のコストに低減見込みとなった。最終目標である完全一体化施設（パターン③）の場合では、20t/日規模から▲10 万円を下回る見込みとなった。より現実的にリサイクルを進められるコスト設定にするためには、技術開発の向上だけでなく、拠点集約の構想設計や、実用化後に順調な規模拡大が行えるよう集荷力も高めていく必要がある。

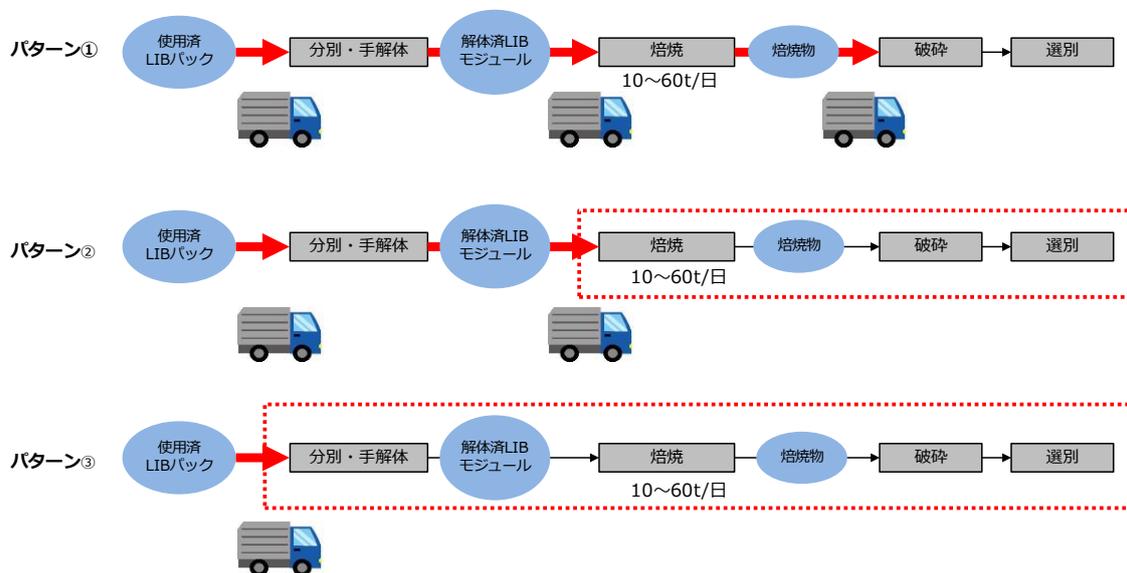


図 3-1 本事業の経済性評価検討における運搬パターン

表 3-4 処理規模と運搬回数の改善による使用済 LIB パック処理の経済性総合評価比較

(単位：円/t)

| 処理規模     |              | 10t/日    |          |          | 20t/日    |          |         | 30t/日    |          |         |
|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|
| 運搬パターン   |              | 1        | 2        | 3        | 1        | 2        | 3       | 1        | 2        | 3       |
| 車載用LIB   | 車載用2(国内) -EV | -163,000 | -146,000 | -118,000 | -138,000 | -121,000 | -94,000 | -129,000 | -112,000 | -84,000 |
|          | 車載用4(国内) -HV | -130,000 | -115,000 | -89,000  | -107,000 | -92,000  | -67,000 | -98,000  | -83,000  | -58,000 |
| 混合(多種多様) |              | -155,000 | -140,000 | -115,000 | -133,000 | -118,000 | -93,000 | -125,000 | -109,000 | -85,000 |

| 処理規模     |              | 40t/日    |          |         | 50t/日    |          |         | 60t/日    |          |         |
|----------|--------------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|
| 運搬パターン   |              | 1        | 2        | 3       | 1        | 2        | 3       | 1        | 2        | 3       |
| 車載用LIB   | 車載用2(国内) -EV | -127,000 | -110,000 | -82,000 | -123,000 | -106,000 | -78,000 | -123,000 | -105,000 | -78,000 |
|          | 車載用4(国内) -HV | -97,000  | -82,000  | -56,000 | -93,000  | -78,000  | -52,000 | -92,000  | -77,000  | -52,000 |
| 混合(多種多様) |              | -123,000 | -108,000 | -83,000 | -119,000 | -104,000 | -79,000 | -119,000 | -104,000 | -79,000 |

### 3.3 運搬コスト削減のためのモデル検討

使用済 LIB パックの運搬コストについて、前述のパターン②のモデルを使用し、更に詳細なモデルケースでの検証を行った。具体的なエリアイメージや積載量、走行距離を下記に示す。【5】～【8】が理想的な積載量のモデルに該当する。

試算の結果、最も運搬コストが抑えられたのは、【5】の、いずれの走行距離も少ない名古屋周辺で集荷・解体し、敦賀搬入するモデルであったが、理想的な積算量では、集荷エリアを首都圏とした場合、解体ヤードが【6】入間、【7】名古屋周辺いずれでも敦賀搬入でコスト差が殆どないことが明らかになった。

LIB パックの処理コストのうち、運搬コストが 1/3 以上を占めることを考慮し、拠点選定の検討を行う必要がある。

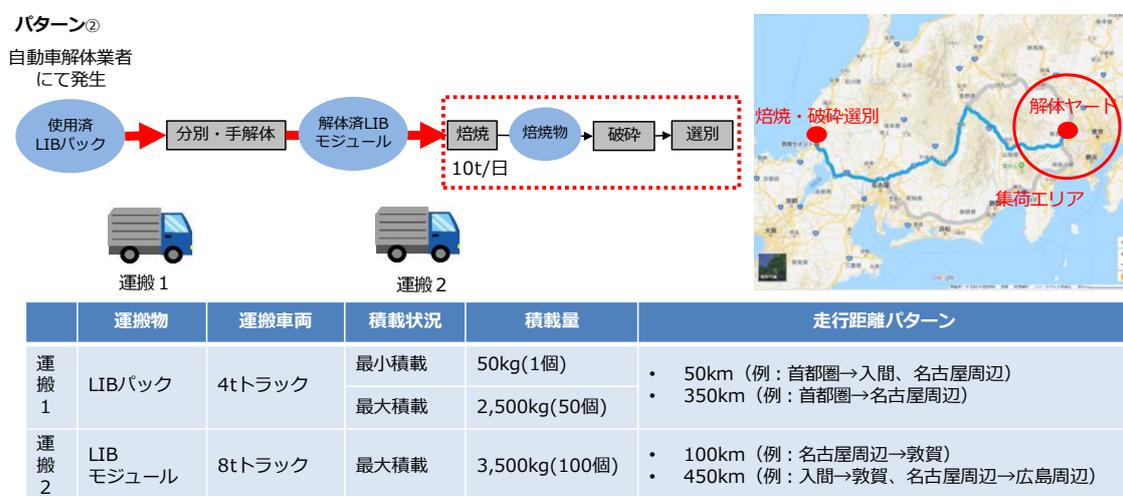


図 3-2 本事業における運搬コストの削減モデル

表 3-5 運搬条件別のエリアイメージと使用済 LIB パックの運搬コスト比較

| パターン | エリアイメージ例 |       |           | 運搬1     |          | 運搬2     |          | LIBパック1tあたりの運搬コスト (円/t-LIBパック) |
|------|----------|-------|-----------|---------|----------|---------|----------|--------------------------------|
|      | 集荷エリア    | 解体ヤード | 焙焼・破碎選別施設 | 積載量(kg) | 走行距離(km) | 積載量(kg) | 走行距離(km) |                                |
| [1]  | 名古屋周辺    | 名古屋周辺 | 敦賀        | 50      | 50       | 3,500   | 100      | 535,320                        |
| [2]  | 首都圏      | 入間    | 敦賀        | 50      | 50       | 3,500   | 450      | 552,980                        |
| [3]  | 首都圏      | 名古屋周辺 | 敦賀        | 50      | 350      | 3,500   | 100      | 1,435,320                      |
| [4]  | 首都圏      | 名古屋周辺 | 敦賀        | 50      | 350      | 3,500   | 450      | 1,452,980                      |
| [5]  | 名古屋周辺    | 名古屋周辺 | 敦賀        | 2,500   | 50       | 3,500   | 100      | 45,320                         |
| [6]  | 首都圏      | 入間    | 敦賀        | 2,500   | 50       | 3,500   | 450      | 62,980                         |
| [7]  | 首都圏      | 名古屋周辺 | 敦賀        | 2,500   | 350      | 3,500   | 100      | 63,320                         |
| [8]  | 首都圏      | 名古屋周辺 | 広島周辺      | 2,500   | 350      | 3,500   | 450      | 80,980                         |

(備考: 運搬車両は、運搬 1: 4t トラック、運搬 2: 8t トラックとした。運搬コストは、車両タイプ別、走行距離別に相場単価を設定した。)

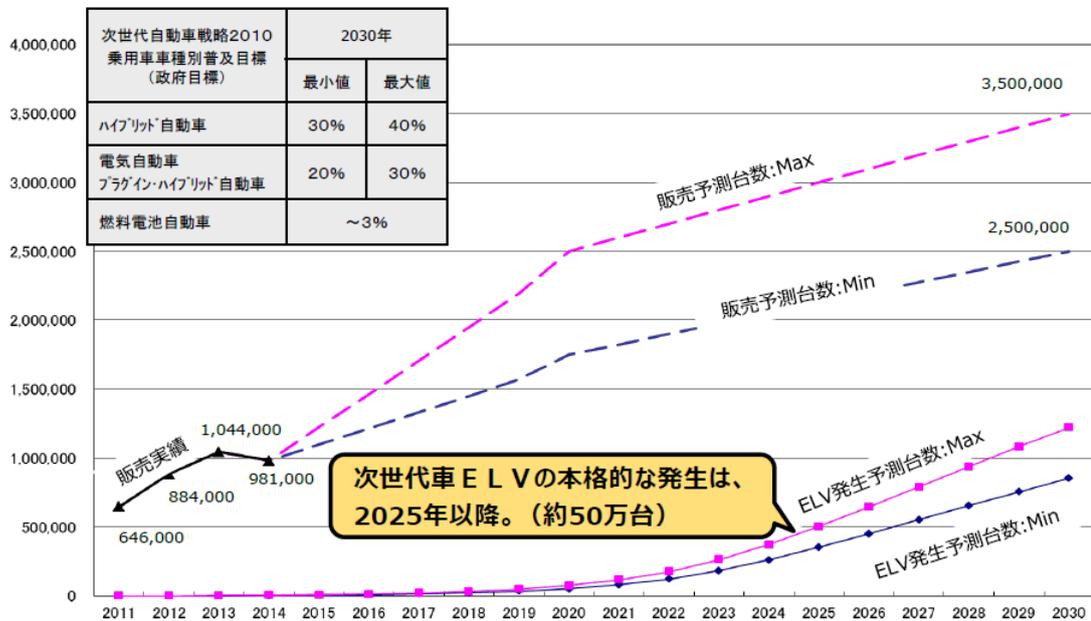
LIB パック換算は、本年度実証事業の混合(多種多様)の比率にて算出した。LIB パックの重量は 50kg/個とした。)

## 4. 本処理技術の事業展開性

### 4.1 受入対象廃棄物の市場規模予測

下表の通り平成 32 年以降、国内各地で車載用と定置用リチウムイオン電池の処理ニーズが増大すると想定されており、そのニーズを適切に満たすためには、日本各地にある既存インフラを有効活用し、かつ処理ニーズに応じて迅速かつ経済的に対応できるリサイクルシステムが求められる。当システムは、日本各地に所在するセメント工場を段階的に活用することにより、使用済 LIB パック・モジュール集荷コスト低減や処理委託数量に対し柔軟に対応できることから、将来の循環型社会への貢献が高いものと考えられる。

## 1.1 次世代車普及見通し・ELV発生台数予測



- 注) ①普及見通しは、「次世代自動車戦略2010」の「乗用車種別普及目標」の政府目標普及率の最大値、最小値を適用、年間販売台数は、毎年500万台とした。またELV発生予測台数は、販売経過年毎の廃車発生率から算出。  
 ②「ハイブリッド自動車」、「電気自動車、プラグイン・ハイブリッド自動車」を次世代自動車とした。  
 (次世代車には「クリーンディーゼル車」も含まれるが、通常の使用済み車と同様の処理が可能ことから予測台数には含めず)  
 ③普及台数は2014年実績値を起点として、2020年、2030年計算値との間を直線で結んでいる。

図 4-1 車載用 LIB の廃棄予測

(出典：一般社団法人日本自動車工業会「次世代車の適正処理・再資源化の取組状況」2018年度産構  
 審・中環審 合同会議資料 資料 3-2 (2018年9月4日))

住宅用／業務用蓄電システム 販売台数予測

(単位:万台)

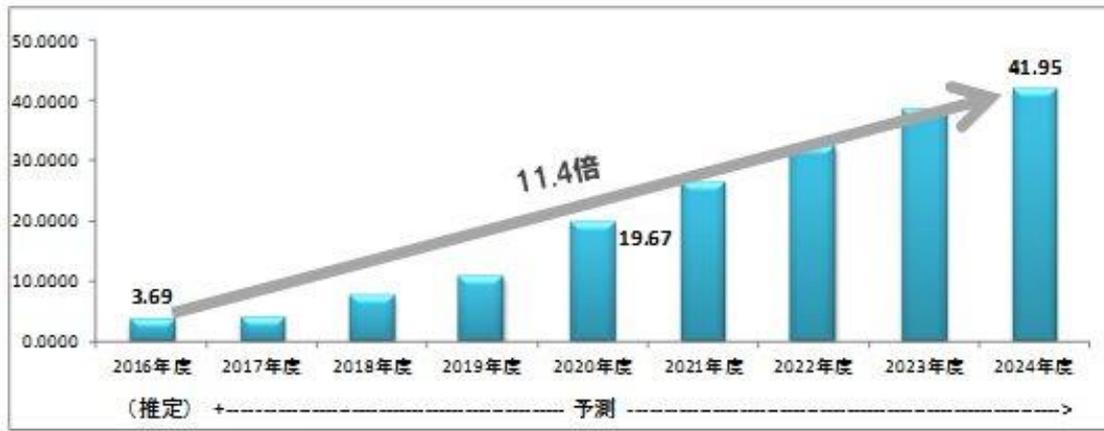


図 4-2 定置用 LIB の市場規模予測

(出典：(株)シード・プランニング HP、プレスリリース 2017年4月17日発表。

<https://www.seedplanning.co.jp/press/2017/2017041701.htm>)

## 4.2 自社既存施設への横展開

本スキームでは、LIB パックのうち、特に多量排出が見込まれかつサイズが不特定で堅牢であるために解体が難しい車載用 LIB パックを対象に実証実験を行ったが、技術的には定置用 LIB モジュールも処理可能である。更に、大型に限らず小型も処理可能であり、受入対象 LIB については車載用に限らず、国内に流通している多様な用途の LIB パック・モジュールについて幅広く受け入れる予定である。

本スキームは、セメント工場内に使用済 LIB パック・モジュール専用処理プラントを設置することにより、排熱エネルギーを効率的に利用した低炭素型リサイクルを実現するものである。実証実験を行う敦賀セメント敦賀工場に限らず、LIB パック・モジュール集荷体制も考慮しつつ、当社グループの各セメント工場（下図参照）に段階的に導入し、展開する計画である。さらに、海外のセメント製造拠点においても当システムは展開可能であり、海外展開の可能性も検討している。



図 4-3 太平洋セメントのセメント事業国内拠点

(出典：太平洋セメント(株)HP <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/company/busi/world/japan-2.html>)

(備考：図中の工場名表記の内、青字は太平洋セメント工場、黒字はグループ会社工場である。)

### 4.3 本事業の優位性

LIB リサイクル処理の方式については、本システム（セメント焼成+回転床式連続焙焼炉）の他、キルン式焼却/焙焼炉、固定式焼却/焙焼炉、熔融炉、電気炉などがある。主な処理システムのメリット、デメリットについては下表の通りである。

表 4-1 処理システムごとのメリット、デメリット

| 処理システム                      | メリット  | デメリット  |
|-----------------------------|---|--|
| 本システム<br>(セメント焼成+回転床式連続焙焼炉) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・連続処理ができる（処理能力が大きく、エネルギーコストが削減できる）</li> <li>・フッ素を含む焙焼排ガスを高カルシウム下のセメント焼成炉で行うため処理コストが安価である</li> <li>・焙焼温度管理ができ、ベースメタル、レアメタル類が全て分離回収できる</li> <li>・セメント焼成工程の排熱及び LIB が持つ熱量（残電力や可燃分）を焙焼処理の熱源として利用するため、省エネ/低 CO2 化が図れる</li> <li>・焙焼排ガスをセメント焼成工程に熱利用できる</li> <li>・残渣はセメント資源化できるため、100%リサイクルできる</li> <li>・既存のセメント製造設備に後付けで付設できる</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・パックでの処理は難しく、モジュールまで解体する必要がある</li> </ul>  |
| ロータリーキルン式焼却/焙焼炉             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・連続処理ができる（処理能力が大きく、エネルギーコストが削減できる）</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・通常は単セルまで解体しないとキルン内壁を傷めるため、パック/モジュールの直接投入処理が難しい</li> <li>・多様な廃電池や廃棄物と混合処理されてコンタミしまうため、有用金属等のリサイクル性が低い</li> <li>・フッ素を含む排ガス処理コストが嵩む</li> </ul>            |
| 固定式焼却/焙焼炉                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・パックのまま処理できる</li> <li>・既設の低濃度 PCB 処理炉を安価な改造コストで転用できる設備もある</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・バッチ処理のため、連続処理ができない（処理能力が小さい）</li> <li>・パックのまま処理する場合、事前解体回収物も焼却してしまうため、リサイクル率が低くなる</li> <li>・フッ素を含む排ガス処理コストが嵩む</li> </ul>                               |
| 熔融炉                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・連続処理ができる</li> <li>・パックのまま処理できる</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・一般にエネルギー（電力）コストが高い</li> <li>・高温で熔融するため、アルミ、銅等の有用金属やレアアース類の分離回収が困難となる</li> <li>・残渣が熔融スラグとなり、処理コストが嵩む</li> </ul>   |
| 電気炉                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・パックのまま処理できる</li> <li>・既存の鉄鋼用電炉がそのまま用いることができる</li> <li>・LIB が持つ熱量（残電力や可燃分）を焙焼処理の熱源として利用できる</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・一般にエネルギー（電力）コストが高い</li> <li>・鉄以外の有用組成（銅、アルミ、レアアース類）の回収ができない</li> <li>・LIB 中に含まれる鉄鋼製品の忌避物質（銅など）により、処理能力に限界がある</li> <li>・残渣が電炉スラグとなり、処理コストが嵩む</li> </ul> |

表 4-1 の通り、本システム（セメント焼成＋回転床式連続焙焼炉）は、連続処理ができることから処理数量を増やしやすく、エネルギーコストも低く、有害物質を含む排ガス処理コスト低減効果が大きいことから、他の処理システムと比べ、処理費用が安価となる可能性が高い。また、既存のセメント工場に後付けで設置できることから、国内外に多数立地しているセメント工場を LIB 焙焼処理拠点として利用することにより、事業構築しやすい等の利点がある。

今後、回転床式連続焙焼炉のバスケット等の改造や、LIB パックの集荷および輸送手段の改善検討を進めることで、より競争力のある価格設定となるよう努めたい。

## 5. 今後の課題と事業計画

### 5.1 今後の課題

LIB パック・モジュールは多種多様な構造、素材構成である。今年度の実証実験にて LIB モジュールの種類別に焙焼試験を行ったところ、資源回収率に差異が見られた。実運用では本実証で得られたデータ蓄積を活用し、資源回収率がより高くなるような焙焼条件を調整する必要がある。

本事業スキームを実用化するには、より作業を効率化および省力化させるために、集荷、解体、焙焼、破碎、選別の各工程にて使用する荷姿・ハンドリング設備やバスケット構造を改善する必要がある。焙焼炉の処理能力が向上し、エネルギー効率の向上や処理コストの低減が期待できるような構造の改善案を検討し、費用対効果の良いと思われる改善案については、試作品を作り、生産性の検証を行いたいと考えている。

今後、経済性評価をより向上させるため、焙焼の際に投入する LIB モジュールの調整や、集荷エリア・解体拠点の設定についても検討を行う必要がある。

### 5.2 今後の事業計画

今後のスケジュールとして、2019 年から大量処理体制の構築を進め、投入排出の省力化、事業設備の許認可取得を行い、2021 年から事業化を予定している。

|                            | 2016 | 2017        | 2018            | 2019          | 2020      | 2021               | 2022～    | 2025～           | 2030～          |
|----------------------------|------|-------------|-----------------|---------------|-----------|--------------------|----------|-----------------|----------------|
| セメント工場移設・改造工事              |      |             |                 |               |           |                    |          |                 |                |
| 能力増強<br>工事                 | 移設   | 安全対策<br>等   | 急冷装置<br>バスケット改良 | 投入排出<br>省力化   | 自動化<br>運転 | 大量処理対応化<br>(置場拡大等) |          |                 | 事業拡大<br>(拠点新設) |
| LIB                        |      |             |                 |               |           |                    |          |                 |                |
| 課題対策                       |      | 操業力向上<br>構築 | 多品種処理<br>対応検討   | 大量処理体制の<br>構築 |           |                    |          |                 |                |
| 許認可取得<br>(消防、廃掃法、大<br>防法等) |      | 許認可手続きの確認   |                 | 事業設備の許認可取得    |           |                    |          |                 |                |
| 事業化                        |      |             |                 |               |           | 500t/年             | 2,000t/年 | 9,000t/年 (拠点新設) |                |

図 5-1 今後のスケジュール

## 6. 総括

使用済の大型 LIB パックを低炭素型処理スキームでリサイクル処理することを目指すため、本実証事業では、昨年度に引き続き、焙焼炉を用いて、大型 LIB パック・モジュールから高品位の金属資源を回収するための実証実験を行った。処理対象は、多種多様な車載用や定置用等の大型 LIB パック・モジュールである。

昨年度は実証実験に用いた LIB パックの種類が少なかったため、本年度は用いる種類を増やし、実運用に近い条件での焙焼状況を検証した。また、昨年度の課題解決として、リチウム化合物をより高効率回収できる焙焼条件を検討するため、焙焼温度や時間を昨年度より細かく設定して検証するほか、投入量や残存電力の有無による灯油使用量の検証、実用化に向けた連続運転での大量処理を行い、改善課題を把握、整理した。

本実証事業の実施内容と主な結果を以下に示す。実証実験に用いた使用済大型 LIB パック・モジュールは、国内または国外自動車メーカーの車載用 LIB パック、及び国内電池メーカーの定置用 LIB モジュールである。

### ① 使用済 LIB の分別・手解体

焙焼処理量の削減とベースメタルおよびプラスチック資源の回収を目的として、使用済 LIB パックの集荷、分別・手解体を行い、回収した資源量の計測を行った。なお、手解体はパック状態で排出された車載用 LIB のみを行い、モジュール状態で排出された定置用 LIB では行わなかった。手解体の結果、今年度に使用した LIB パックは、昨年度の物に比べてパックに対するモジュールの重量比が大きく、また LIB パックそれぞれで鉄や非鉄、プラスチックの構成比が異なっていた。

### ② 使用済 LIB の焙焼

焙焼温度帯と加熱時間の比較検証を行った結果、500℃・4時間の組み合わせが、ベースメタル及びレアメタルの回収率が最も高くなっていたほか、1mm未滿の回収物へのリチウム分配率も最も良くなっており、さらに単位あたりの灯油使用量も最も少なく抑えられていた。

投入量別に灯油使用量を比較した結果、投入量が多い方が投入量あたりの灯油使用量が少ないことが確認された。

残存電力による焙焼への影響について、LIB モジュールの放電の有無別に灯油使用量を比較した結果、放電なしの方が単位あたりの灯油使用量が少なく抑えられていた。これは残存電力が燃料として寄与したことが考えられる。

多種多様な LIB モジュールを混合し、連続運転にて大量に焙焼した場合は、ベースメタルは目標どおり高効率で回収されたが、レアメタル回収率は昨年度と同程度の約 5 割であった。多品種の LIB モジュールをそれぞれ単体で焙焼した場合と比較したところ、回収率がばらついていたことから、LIB モジュールによってレアメタルの回収率は異なるとの知見が得られた。また、排ガスも含めたリチウムの挙動を確認したところ、いずれの投入水準でも排ガスにはリチウムが分配されないことが確認された。

### ③ 焙焼した LIB の破碎・選別

焙焼物からベースメタルとリチウム等を含有する極材粉（1mm未滿）を高効率回収する

ため、剪断式破碎の後、篩選別を行った。回収された 1mm 未満の極材粉と 1mm 以上の回収物について金属分析を行い、LIB モジュールに含まれる金属資源のマテリアルバランスを確認したところ、投入水準によっては極材粉に 8 割以上のリチウムを回収することができた。

#### ④ 処理スキームの全体設計

実証実験結果に基づき、使用済 LIB パックのリサイクル処理の全体設計を行い、リサイクルフローのマテリアルバランスを算出した。

使用済 LIB パックの処理フローとして、パック状態の LIB は手解体を行い、ベースメタルとプラスチックを回収し、モジュール状態にした後、焙焼を行う。焙焼物は剪断式にて破碎後、篩い分けし、選別回収した 1mm 未満の極材粉はリチウム等のレアメタルリサイクル、1mm 以上の回収物は銅リサイクルとした。

処理スキームの規模は、焙焼処理量 3,000t/年 (10t/日) を軸とすると、処理する使用済 LIB パックは約 4,600t/年、回収される資源は、極材粉 744t/年、ベースメタルが合計 3,140t/年の見込みと算出された。

省エネルギー効果については、昨年度の設計のとおり、セメント焼成工程の排熱を利用することで、焙焼炉の年間灯油使用量が約 30%削減される見込みであり、焙焼炉から発生する可燃性排ガスをセメント焼成炉に利用することで、セメント製造に必要な石炭の約 0.1%の代替が見込まれている。

#### 環境改善効果

本事業スキームによる二酸化炭素削減効果の算定にあたり、比較対象技術は定置炉での焼却処理と設定した。定置炉による焼却前後の処理工程でのエネルギー消費に関するデータ入手が困難であったため、より保守的な算定として本事業と同一と仮定し、フッ化水素処理工程は、算定範囲から除外した。リサイクル効果は、実際に評価される資源量のみ算定対象とした。

試算の結果、多種多様な LIB パックを混合で処理した場合の二酸化炭素削減効果は 434kg-CO<sub>2</sub>/LIB パックであった。今年度の実証結果より、昨年度よりも灯油使用量を少なく抑えられる見込みとなり、より削減効果が大きくなった。年間焙焼量 3,000t/年の処理規模の場合では 1,986t-CO<sub>2</sub>/年の二酸化炭素削減効果と算出された。

実際に評価される資源量のみ資源循環効果は、3割から4割程度と算出された。昨年度より減少したが、これは LIB パックを構成する鉄や非鉄の量が異なったためと考えられる。LIB パックの資源回収率は構成する素材の含有量に左右することが明らかになったが、金属評価されない回収物はセメント再資源化リサイクルを行うことから、いずれの LIB パックも埋立処理量は 0 であり、したがって本リサイクルシステムにおけるリサイクル率は 100%である。

排ガス (フッ化水素含有) の低コスト無害化処理について、LIB パックに含まれるハロゲン元素 (フッ素) の挙動を検証した結果、いずれの LIB パックも 1mm 未満の極材粉に 8 割以上が分配された。残りは焙焼排ガスに分配されたが、この排ガスはセメント焼成炉に送られ、無害化処理される。セメント製造設備の最終排ガスを計測した結果、フッ素の無害化処理が確認された。

## 経済性評価

本事業における LIB パック処理の経済性について、回収資源の有価物評価と運搬や処理設備に要する費用、人件費、消耗品費等を算出し、総合評価を行った。回収資源のうち、レアメタルの有価物評価は、回収物の濃度に基づき行った。1mm 以上の回収物はいずれも銅評価とした。

試算の結果、いずれの LIB パックも資源評価よりもコストが大きくなり、総合評価で▲15 万円/t 前後と算出された。昨年度よりもコスト増となった原因は、LIB パックの素材構成比が異なったためと考えられる。特に LIB パックに占めるベースメタル量が減り、LIB モジュール量が多くなると、LIB モジュールの運搬コストや焙焼処理コストが増加するため、全体的にコスト増となった。LIB パックは物によって素材構成比が異なり、コストも大きく異なるとの知見を得られたことから、実運用でのコスト設定に反映させたい。なお、本年度の実証結果より灯油使用量の削減が見込まれた。これにより 2,000 円/t のコスト削減効果が得られると算出された。より良い経済性評価となるよう、今後も設備コスト、消耗品コストの削減策を検討したい。

コスト削減のため、運搬の効率化や大量処理によるコスト圧縮を検討したところ、焙焼と破碎・選別を一箇所で行う体制とし、処理量を 3 倍の 30t/日の規模としたところ、総合評価▲10 万円/t 前後に抑えられる見込みとなった。運搬コストはコスト全体の 1/3 以上を占めることから、今後、処理施設の集約や大規模化のほか、解体拠点の選定についても検討する必要がある。

## 今後の課題と事業化スケジュール

LIB パックは多種多様な構造、素材構成である。本事業にて多種多様な LIB パックを解体、焙焼して検証した結果、素材の構成比が LIB パックによって異なるために資源回収率や処理にかかるコストも物によって大きく異なることが明らかになった。これらの知見を活用し、資源回収率が高くなるよう焙焼条件を調整するなど、実運用に活用する。

さらに、実用化にあたり、より作業を効率化、省力化させるために、集荷、手解体、焙焼、破碎、選別の各工程にて使用する荷姿やハンドリング設備、バスケットの構造を改善していく必要がある。

今後のスケジュールとして、2019 年度より大量処理体制の構築を進め、投入排出の省力化、実証設備の許認可取得等を行い、2021 年度から事業化を予定している。

平成30年度省CO2型リサイクル等設備技術実証事業

車載用等の使用済みリチウムイオン電池の低炭素型リサイクル  
システム実証事業 報告書

平成31年2月28日

太平洋セメント株式会社

環境事業部

TEL 03-5531-7417