

平成29年度 低炭素型3R技術・システム実証事業

次世代自動車LIBのリユース・リサイクルにおける  
低CO<sub>2</sub>削減実証事業

完了報告書

平成30年2月28日

三菱マテリアル株式会社

## 目次

1. 実証事業の実施	1
1. 1 実証事業の概要	1
1. 1. 1 事業の目的	1
1. 1. 2 事業の背景	2
1. 1. 3 解決すべき課題	4
1. 1. 4 実施体制	7
1. 2 車載用 LIB の解体・放電	8
1. 2. 1 車載用 LIB の解体による調査とその評価	8
1. 2. 2 セルの解析	14
1. 2. 3 LIB の放電	17
1. 2. 4 LIB のリユースの可能性評価	21
1. 3 車載用 LIB 輸送試験	29
1. 3. 1 車載用 LIB 輸送試験を検討した背景	29
1. 3. 2 LIB 輸送試験の目的	32
1. 3. 3 LIB の輸送方法	33
1. 3. 4 輸送条件	35
1. 3. 5 輸送パターン	36
1. 3. 6 輸送形態	38
1. 3. 7 測定項目	41
1. 3. 8 安全対策等	42
1. 3. 9 車載用 LIB 輸送試験結果	44
1. 3. 10 車載用 LIB 輸送試験の考察	51
1. 3. 11 車載用 LIB 輸送の今後の課題	52
1. 3. 12 LIB の新たな集約処理方法への提言	58
1. 3. 13 輸送試験のまとめと今後の課題	66
1. 4 Co、Ni の回収方法の検討	68
1. 4. 1 Co のリサイクルの背景	68
1. 4. 2 既存技術の調査	70
1. 4. 3 熱分解後の Co の濃縮・分離による高品位化	72
1. 4. 4 溶媒抽出のための前処理の検討	76
1. 4. 5 まとめ	80
2. 環境負荷低減効果の検討	81
2. 1 CO <sub>2</sub> 排出量削減効果の検討	81
2. 1. 1 解体によるリサイクル率向上の検証	81

2. 1. 2	解体による CO2 削減効果の検証	83
2. 1. 3	輸送方法による CO2 削減効果の検証	88
2. 2	Co、Ni の回収による CO2 削減効果の検証	91
3.	事業実現可能性の検証	92
3. 1	解体による LIB リサイクルの事業可能性及び経経済性	92
3. 2	LIB の広域輸送における高度リサイクルの可能性及び経済性	94
3. 3	Co、Ni の高効率回収による資源循環の可能性	97
3. 4	残された課題	98
4.	総括	99



## (要約)

### ・目的

車載用 LIB は、2025 年以降、50 万台を越す量の排出が見込まれている。この大量排出時代に向けて、どのようなリサイクルをすべきかを低 CO2 排出の観点から検証しておくことは重要である。大量排出までの間、リサイクル可能な設備は限られるため、輸送の効率化に向けた、解体、部品回収から、遠距離の輸送を検討しておくことは重要である。最終的には、LIB に使われている Co、Ni の高効率回収を想定し、車載用 LIB ユニットの解体、モジュールでの放電、リユースの可能性の検討、モジュールでの輸送、Co、Ni の回収を含めた全体のシステムとして最適なりサイクル方法を実証した。

### ・実証事業内容

本実証事業では、以下の 3 点について実証事業を実施し、結果については CO2 排出抑制効果についてまとめを行った。

①解体・放電試験：車体から回収した車載用 LIB ユニットの解体し、リサイクル可能な部品を回収、モジュールを取出し、回収した部品や部材について、マテリアルバランスを測定した。またコントロールユニット中の基板の化学分析、セル単体での化学分析を行い、基礎的なデータを収集した。この解体による CO2 削減量の評価を行った。

また、解体したモジュールを使った輸送試験を行うために、安全のため、電圧レベルを 3.5V/セルまで落とすための放電を行った。またモジュールのリユースの可能性を評価する試験として、放電試験後の復電圧試験（電流を切った後、電圧がどこまで戻るかを評価）、インピーダンス測定試験を行い、将来的なりユース判定のための試験を検討した。

②輸送試験：解体試験で解体したモジュール（放電処理を施した物）と、ユニットのままの 2 つの状態、関東から北九州まで約 1,200km の輸送試験を行った。輸送試験の間、温度と振動をセンサーで測定し、輸送時の安全性をモニタリングした。ユニットとモジュールの 2 つの状態、長距離を輸送した場合の効率、CO2 削減効果、車載用 LIB 輸送の課題について実証した。最終的には、輸送試験において、検討の途上で問題となった事について課題をまとめ、LIB 輸送方法の在り方について、課題と新たな輸送システムを提案した。

③Co、Ni の高効率回収：LIB の処理については、一次処理については、熱分解を検討している。熱分解後の回収物からの高 Co の回収、電池材料への再資源化について文献等を含め調査を行い、今後の LIB 処理の方向性を検討し、事業の実現性について評価した。

### ・実証事業結果

①解体については、19 種類の LIB をユニットの解体試験を行い、その回収物からリサ

イクル率を評価した。またユニットのまま解体せずに電炉を用いて処理するプロセスを比較プロセスとし、解体によって回収可能な材料（特に Cu、Al）について CO2 削減効果を評価した。結果、LIB が 50 万台廃棄された場合（2025 年）、100 万台廃棄された場合（2030 年）、ユニットを解体する事による CO2 削減効果は、それぞれ、16,700 トン、33,700 トンの CO2 削減効果がある事が分かった。

またコントロールユニット中の基板からの金（約 100ppm）、銀（約 1,300ppm）の回収も可能であることが分かった。

②解体されたモジュールについて、リユースの可能性を 2 つの方法（放電時の復極後の電圧差の測定とインピーダンス測定）で検討した。この 2 つの簡易的な方法を用いる事により、解体現場でのリユース判定の可能性を見出した。

③車載用 LIB 輸送試験において、使用済み LIB を輸送する際の課題について、安全性の評価を放電（3.5V/セルまでの放電）と目視により行い、モジュールでの輸送試験を行った。輸送時の温度と振動を測定し、いずれも安全性において問題ない事を確認した。また、モジュールまで解体することによる、CO2 削減効果、コスト削減効果を、関東から北九州まで輸送した場合（約 1,200km）について評価した。輸送については、10,000 台の輸送で、全てユニットで運んだ場合と比べ、全てモジュールで運んだ場合は、約 160 トンの CO2 の削減効果がある事が分かった。また、廃棄物の広域認定制度を LIB の輸送に適用した時の課題について検討し、新たな LIB の輸送システムの提案を行った。

④既存の Co、Ni の製錬方法について調査を行い、そのプロセスを利用した Co、Ni の回収について検討した。また、LIB を熱分解した後の、回収物について、磁力選別による Co の高効率回収について実験室レベルでの試験を行い、湿式による選別が Co 濃縮と、Cu の低減において効果がある事を見出した。また、溶媒抽出法等に必要な前処理の検討を行った。この検討により、既存のプロセスに戻すことによる、電池材料への再利用について検討した。

#### ・課題と今後の展開

本実証事業において、車載 LIB ユニットの解体・放電し、回収された部品のリサイクル、モジュールのリユース等を行う事により、リサイクル性が向上し、またモジュールの状態での輸送を行う事により、より環境負荷の低い回収・輸送が可能であることが分かった。また世界的に産出国が限られている Co の有効利用の可能性を検討した。

LIB の処理においては、解体により大きな CO2 の削減効果が得られるため、LIB を取り出した場所のできるだけ近くで、モジュールまでの解体を行い、そこで適正な材料の回収・リサイクルを実施し、モジュールの状態で集荷・輸送し、適正な処理を行う事が最も効率的で、コスト的にも有利であることが分かった。

しかし、LIB の輸送においては、まだまだ確立すべき仕組みや、安全性の評価基準の確

立が必要であり、これらを社会全体で取り決めていくことにより、この様な広域に渡る安全な LIB 処理システムの確立が可能となると考えられる。既存の仕組みを越えた、新たなトレーサビリティと IoT を活用した仕組みを構築し、この仕組みの中でトータル安全性を確立する事で、新たな広域輸送システムを提案できる可能性がある事が分かった。

LIB から Co、Ni を回収し、電池材料へ戻すための高度リサイクルについては、これら輸送の仕組みが確立し、ある一定量（Co、Ni で 100t/年程度）の LIB が集まる仕組みを作る事が重要であり、特に正極材の組成の異なる LIB を処理する上で、LIB の種類ごとの処理を行う事が、高効率の処理を可能とすると考えられる。

## **Summary**

### **Objective**

More than 500,000 units of Lithium Ion Batteries (Lib) of vehicles are supposed to be discharged every year after 2025. Anticipating the era of a large amount of discharged Lib, it's important to study what kind of recycling system shall be adopted from the point of view of low emission of CO<sub>2</sub>. The number of recycling facility for Lib is limited at the present stage, so it's also needed to study the disassembling of Lib and the recovery of parts for the high efficiency of long distance transportation now. Therefore we demonstrated the recycling manner matching with overall optimization for the final purpose of efficient recovery of Co, Ni contained in Lib.

### **Demonstration project**

First of all Lib unit recovered from vehicle was disassembled, the recyclable parts and each Module of Lib were also taken out. Then we made evaluation of the amount of reduction of CO<sub>2</sub> for this disassembling work. The efficiency in the long distance transportation in the shape of both Unit and Module, the effect of reduction of CO<sub>2</sub>, and the problems in transportation were also verified. In the final stage we made thermal decomposition and investigation not only for the recovery of high Co from recovered items but for the recycling to the raw material of Lib, including referring to source books.

### **Demonstration results**

- 1) We compared the disassembling with the case of dumping Lib unit into an electric furnace. The effect of reduction of CO<sub>2</sub> for recyclable materials (Cu and Al, especially) was evaluated. It's also confirmed that gold and silver contained in the printed circuit board could be recovered.
- 2) We studied the possibility of re-use of disassembled Module with two ways, and found the way for judgment of re-use at the disassembling scene.
- 3) The effects of reduction of both CO<sub>2</sub> and the cost for Module transportation were evaluated. Concerning the transportation we studied some problems arising from wide-area certification and also considered what kind of transportation manner should be adopted.
- 4) The efficient recovery manner of Co from the sludge brought after thermal decomposition was examined. We also studied the possibility of re-use as a raw material of Lib through putting them into smelting production process.
- 5)



**Issues to be addressed and the development of the project**

The demonstration project proves that disassembling of Lib can lead to effective recycling of recovered parts and re-use of Module, and that the transportation in the shape of Module can lead to environmentally friendly recovery and transportation. The possibility of effective utilization of Co of which production amount is limited world-wide was also studied in this project. The further investigation is needed for the proper recycling of Lib, especially transportation system requires to establish a new mechanism.

## 事業実施体制

■ 事業主体		
三菱マテリアル株式会社	環境リサイクル事業部 事業部長	新井 義明
	環境リサイクル事業部 循環システム推進部 部長	藤澤龍太郎
	環境リサイクル事業部 リサイクル統括部 副部長	天海 泰成
	環境リサイクル事業部 循環システム推進部 部長補佐	山本 修
	環境リサイクル事業部 循環システム推進部 部長補佐	陶浪 暁彦
	環境リサイクル事業部 循環システム推進部 部長補佐	瀬賀 博文
	環境リサイクル事業部 循環システム推進部 副技術主幹	武内 直輝
	環境リサイクル事業部 リサイクル統括部	古賀 沙織
	環境リサイクル事業部 リサイクル統括部	勝又 稔宏
	中央研究所 都市資源研究部 主任研究員	林 浩志
	中央研究所 都市資源研究部 主任研究員	川崎 始
	中央研究所 都市資源研究部 研究員	柴原 孝弘
	中央研究所 都市資源研究部 研究員	村岡 秀

## 1. 実証事業の実施

### 1. 1 実証事業の概要

#### 1. 1. 1 事業の目的

リチウムイオン電池（以下、LIB）は、携帯電話、パソコン等の小型電子機器に多く用いられてきたが、近年、ハイブリッド車（HV）、プラグインハイブリッド車（PHEV）、電気自動車（EV）、燃料電池車（FCV）の普及、各自動車メーカーの今後の経営戦略により、車載用としての利用が加速した（これら次世代自動車と呼ばれる自動車（HV、EV、PHV）などの交通機関の動力源、補助用電池として使用されている LIB を以下、車載用 LIB という）ため、ますますその使用量が増える傾向にある。また太陽光発電と組み合わせた家庭用の蓄電池やバックアップ電源等にも小型で高容量の LIB の使用量は増え続けている。

使用済み LIB の処理については、国内で、様々な検討が行われているが、その多くは Cu、Co、Ni 等を有効活用するため、有機溶剤（危険物の第 1、第 2 石油類に相当する有機溶剤が使われている）が揮発する程度の熱をかけ、あるいは燃焼させた後、機械的な処理により、正・負極材とシート等の金属材料を選別回収するという方法である。このようなリサイクルを目的とした処理方法においては、単に LIB の処理による CO<sub>2</sub> 削減効果だけではなく、LIB ユニットの構成する部材をリユース、リサイクル、あるいは電池そのものをリユースする事による CO<sub>2</sub> 削減効果も大きい。

しかし、車載用 LIB の回収はまだ本格化しておらず、このような処理方法が有効であることの確証を十分に検証できているとは言い難い。そこで、本実証試験では可能な限り対象とする様々な車載用 LIB ユニットに対し、解体から、輸送、Co、Ni の回収までの流れの中で環境負荷低減につながる基礎技術の検証を行う。

解体においては構成材料の調査を行い、適正なりサイクルによる CO<sub>2</sub> 削減効果を評価する。また、現状の様な、車載用 LIB の排出量が少ない状況においては、事業がなりたつためには、LIB の集約が必要であり、これに不可欠な要素技術として輸送に着目し、輸送における課題を抽出するような試験を行い、その事業性を評価する。また処理後の回収物より、Co、Ni を適正にリサイクルするための方向性について検討を加える事を目的とする。

## 1. 1. 2 事業の背景

LIBは機能やコスト、環境の面から他の二次電池より多くの優位性を持っており、我々の生活でも幅広く使用されている。また世の中の環境への配慮や関心が高まったことが後押しし、LIBは世の中に急速に普及され、これからもその市場規模はさらに拡大されると予測されている。図 1.1-1 は世界の LIB の市場を予測しているが、実際の重量ベースでいうと車載に使われる LIB が圧倒的に多い。図 1.1-2 は日本における EV、PHEV の普及を示しているが、このほかにハイブリッド車 (HV) も多く販売されており、また軽自動車においても、少量の LIB が搭載され始めており、これら次世代自動車 (あるいはエコカー) と呼ばれる自動車 (HV、EV、PHEV) などの交通機関の動力源、補助用電池として使用されている車載用 LIB 市場が堅調にその規模を拡大しつつある。

しかし、大型と区分される車載用 LIB はその市場拡大に伴う適正な回収スキーム、適正な輸送方法及びリユース・リサイクル方法が確立されていないのが現状であり、排出者は勿論、輸送業者やリサイクル業者らの課題ともなっている。その理由としては車載用 LIB が持つ特性と車載用 LIB 自身がまだ進化の途上であり、様々な組成、形状の LIB が存在していることと深く関係している。

車載用 LIB の特性は、高電圧 (高エネルギー) を維持することができ、充電回数も多く急速充電特性も良好であり、メモリー効果 (使い切らないうちに浅い充電を繰り返すことで最大容量が小さく記録される現象) も見られないといった点が優位性 (利点) とされており、車載用 LIB はこれらの特徴を生かしてその市場を伸ばしている。しかし、高電圧であり、可燃性物質である電解液 (消防法上、第 4 類第 2 石油類の危険物) が含まれているなどの輸送上・取扱上のリスクとも言える特性を併せ持っているのも事実である。

車載用 LIB の処理、リサイクルの方法においても、これら危険性を鑑み、人手を介さずに、焼却や再生鉄を製造する電炉での廃棄物処理が行われている。電炉による処理においては、鉄は回収・リサイクルされるが、その他の銅、アルミ、Co、Ni 等は、鉄中の不純物として取り込まれるか、スラグに移行してしまい、材料本来の有効的な活用がなされていないのが現状である。この様に、そのまま電炉で処理をするという方法がとられているのも、一つには取り扱い上の安全性を確保するのが難しいというのもその理由の一つに挙げられる。しかし、今後の電池材料の確保 (Co、Ni の有効活用) という観点、将来的な材料の枯渇という課題を考えると、循環型の材料リサイクルをトータルのリサイクルシステムとして早期に検討すべきであると思われる。しかし、具体的に車載された状態の LIB ユニットから、どの程度の基板や、配線、鉄部材が回収され、それぞれどのような品位としてリサイクルが可能なのか、総合的な材料回収評価がなされていないのが現状である。

また、LIB の輸送においても、小型電子機器の LIB についてはそのスキームがスタートしているものの、将来、大量に廃棄される車載用 LIB においては、より輸送効率と環境への負荷 (CO<sub>2</sub>排出)、梱包材等の運ぶ手立て、輸送の運用・管理が重要であるが、現段階で

は、これらの議論が個別に行われおり、定量的基準や明確なガイドラインが存在していない。したがって、其々の関係業者が自主判断にて回収を行っており、統一的な方向性が見えないため、真の意味での安全で効率的な輸送方法が検討されていないのが現状である。

\* 出所：株式会社富士経済のHP



図 1.1-1 LIBの世界市場

\* 出所：一般社団法人次世代自動車振興センター

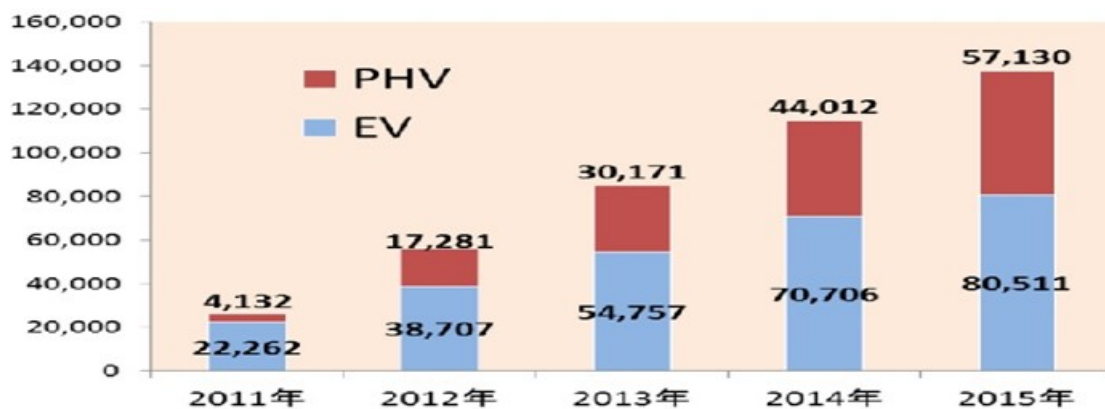


図 1.1-2 日本におけるEV、PHVの登録台数

### 1. 1. 3 解決すべき課題

当社がこれまでに検討した、LIBの排出予測を図1.1-3に示す。また、産業構造審議会の資料の中にある次世代自動車の普及と廃棄自動車の予想の資料（自動車工業会作成）を参考として載せる（図1.1-4）今後の全国的に大量の車載LIBの排出が始まるのは2023～25年くらいと考えられる。それまでは、全国の処理設備もまだ十分に整備されていないため、車載用LIBのリサイクルを推進するために、解体から輸送を含めた検討が必要となる。また、小型家電に付随するLIBは既に全国的なシステムが動いているが、これから自動車、定置型（家庭用等）のLIBが発生する時期、発生量と輸送の検証を行う必要がある。これらの事を受けて、以下の課題を解決する必要がある。

#### ① LIBの基礎情報の収集実証

車載用のLIB、定置型は各メーカーによって形状や引き取った場合の状態が異なる。輸送試験のためにも各電池ユニット（車載等、回収したままの状態）の形状、大きさ、モジュール数等をデータベース化する。また電池メーカーも調査し、可能な限り、電池メーカーから収集できる情報について調査する。

また、ユニットを解体する事により回収できる材料（鉄、バスバー、基板、樹脂）等のデータを蓄積し、これらの事前回収物をリサイクルする事によるCO2削減効果を計算する。

#### ② LIB材料データの収集実証

現在、使用されている車載用LIBは様々な電池メーカー、世代が存在し、同じ電池メーカーのLIBであっても、同じ組成とは限らない。リサイクルするのに必要なデータとして、正極材の材料組成（材料の回収という観点）と、有機溶媒に含まれる危険物の種類と量（輸送、保管の観点から）が必要である。この他、シート材も「銅、アルミ」のもの「アルミ、アルミ」のものがあり、これらにより回収できる材料が異なる。これらの種々のLIBのデータについて調査を実施する。

#### ③ LIBリユースの可能性試験

回収された車載用LIBユニットは、モジュールの形に分解されリサイクルされる。この時点で、リユースが可能かどうか、評価するために簡易的な方法で検査できるかどうかを実証する。

#### ④ 廃棄物広域輸送の実証

LIBはセル内に有機溶媒（消防法上の危険物）を含む。かつ充電された状態で輸送する事になるため、どの状態で安全であるのか、輸送上の安全対策はどこまで必要なのかについて大型の車載用LIBでの輸送については、十分に検証できていない。また廃棄物の輸送という事で、輸送する物の化学物質情報の考え方を②、③と情報を共有し、安全かつ効率的な輸送方法を実証する。

#### ⑤ Co、Niの高効率回収実証（図1.1-5 事業概要全体図を参照のこと）

熱分解して回収された活物質は、シートからの剥離の際に、破碎等の機械的な処

理によって回収される。回収物質の中の、銅、アルミ等のシート材、処理の際に化学的に結びつくフッ素、リン等の物質の挙動が、Co、Niの回収・リサイクルという点で問題となる可能性が高い。高効率な材料の回収を目指すための必要な条件を検討し、実際の回収粉を用いての前処理について検証する。

以上の内容をまとめて、事業概要全体を図1.1-5に示す。

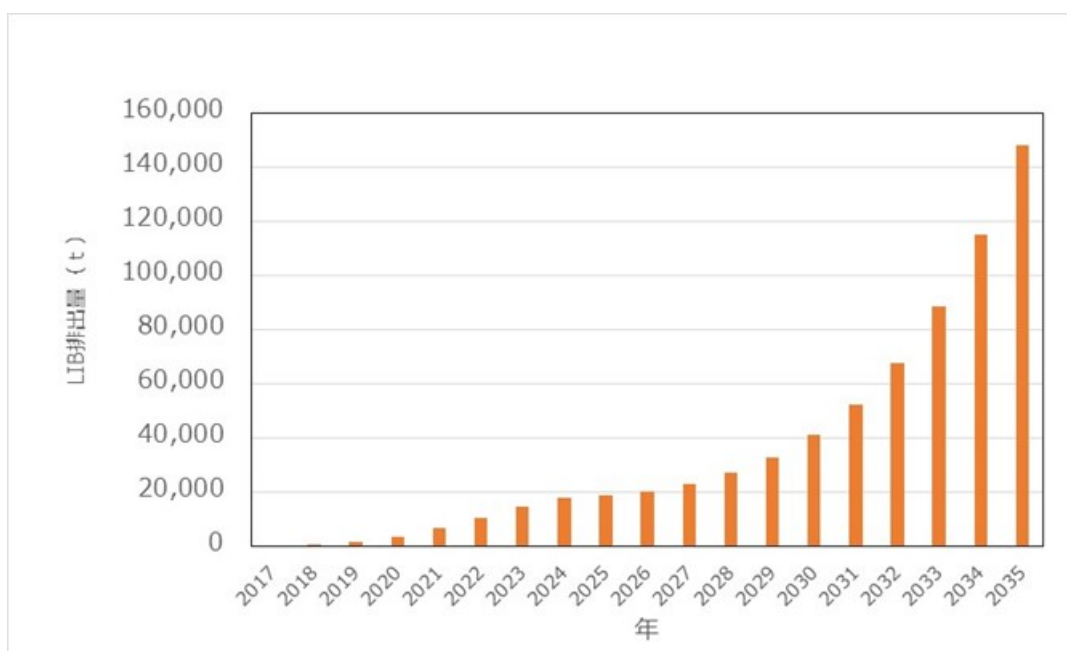
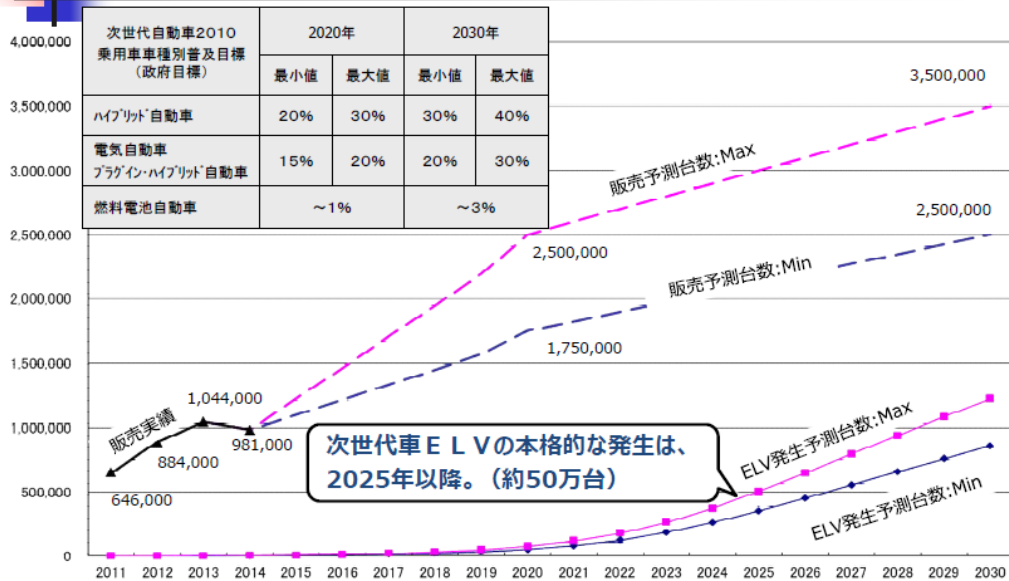


図1.1-3 LIB排出量予測（三菱マテリアル㈱検討）

# 次世代自動車普及見通し・E L V発生台数予測



注) ①普及見通しは、「次世代自動車2010」の「乗用車車種別普及目標」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まず)  
 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1.1-4 次世代自動車の普及及び廃棄自動車予想



図1.1-5 事業概要全体図



#### 1. 1. 4 実施体制

本事業の実施体制、役割りを図 1.1-6 に示す。

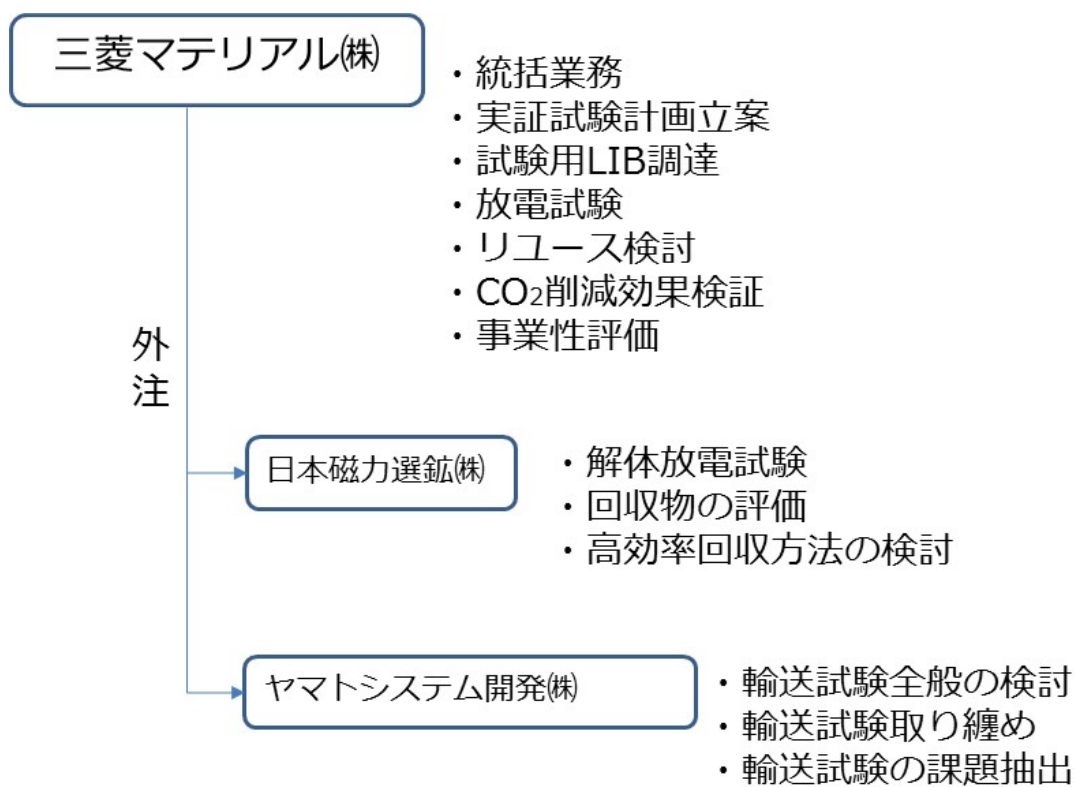


図 1.1-6 事業の実施体制図

## 1. 2 車載用 LIB の解体・放電

### 1. 2. 1 車載用 LIB の解体による調査とその評価

現在、検討している処理設備では、最大の処理単位をモジュールの大きさと考えており、処理を実施するためには、モジュールまで解体を行う必要がある。これは設備投入の間口の問題であり、当然、設備を車体から LIB ユニット（車体から取り外せる状態の LIB の単位であり、以下 LIB ユニットという）で設計する事も可能となるが、それだけ設備も大きくなり、必要な熱量も増加するため、現状はコンパクトな設備での処理を検討している。

解体の大きな目的は、LIB ユニットからモジュールを取外し、熱処理設備に投入する処理対象物をコンパクトにすることである。また、この時、解体して出てきたケース材、バスバー、配線、基板等は、それぞれ適正な処理、売却先にて他のリサイクルから回収された部材と同様のリサイクルが行われ、マテリアルリサイクルされる。

そこで、本実証では、各種ユニットを構成している部材の調査を 17 種類の HV 用、LIB ユニットを用いて調査を行った。

解体調査結果を表 1.2-1 に示す。

また、代表的な HV 用 LIB ユニットの外観の写真を図 1.2-1、ユニット I については、解体した状況を図 1.2-2 に示す。表 1.2-1 の各項目はこの図 1.2-2 に示したに構成部材に相当する。

この解体結果を踏まえ、表 1.2-2 に鉄、回収部材が有価であるもの（Cu、Al 部材およびそれらを多く含む部品）、樹脂、モジュールの比率を示す。またそれぞれの比率に応じて、鉄のみをリサイクルした場合のリサイクル率、金属製の部材全てをリサイクルした場合のリサイクル率、モジュールをリユースした場合のリサイクル率についてまとめたものを（⑤、⑥、⑦）示す。尚、ここで言うリサイクル率とは、部材が有価で売却可能という意味である。逆に言うと、リサイクル率にカウントが難しいのは、樹脂のみということになる。有価性のあるものの回収率（⑥）では、鉄のみの場合（⑤）に比して、平均約 20%のリサイクル性の向上が見られた。

また、可能であれば、モジュールをリユースする事によって（⑦）、鉄のみをリサイクルする場合（⑤）に比べ、最大で約 90%のリサイクル性の向上効果が表れる事が分かった。

また、回収したコントロールユニット中の基板の品位（Au、Ag 等）について調査した。コントロールユニットと解体して取り出せる基板を図 1.2-3 に示す。その化学分析結果を表 1.2-3 に示す。

表 1.2-1 19 種類の LIB ユニットの性状、マテバラ調査結果

車種名	大きさ (H×L×W)	重量 (kg)	鉄重量 (kg)	Al重量 (kg)	Mg重量 (kg)	(銅) (kg)	制御ユニット (kg)	機器類 (kg)	樹脂 (kg)	モジュール 重量(kg)	モジュール 数(個)
A	500 × 920 × 585	143.8	9.8	9.77	8.55	4.87	13.95	2.76	2.7	91.4	4+4
B	185 × 800 × 380	43.0	13.11	0	0	1.72	1.96	2.01	2.12	22.1	4
C	230 × 960 × 460	35.5	8.26	0	0	1.16	0.56	1.83	2.06	21.6	4
D	450 × 800 × 440	44.5	9.56	0	0	1.11	3.2	2.27	1.33	27.0	6
E	240 × 1100 × 1100	64.2	22.18	0	0	3.69	0.93	3.53	4.78	29.0	2+4
F	310 × 1000 × 680	38.5	9.91	0	1.35	1.24	0.75	5.92	2.94	16.4	4
G	300 × 940 × 560	38.5	9.79	0	1.44	1.65	0.75	5.66	2.80	16.4	4
H	200 × 960 × 540	40.7	12.28	0	0	1.68	0.43	5.21	2.92	18.2	4
I	260 × 950 × 510	32.5	7.37	0	0	1.53	0.42	5.38	2.83	15.0	4
J	260 × 940 × 570	33.6	7.8	0	0	1.10	0.5	7.2	2.0	15.0	4
K	260 × 940 × 560	33.2	7.4	0	0	1.66	0.42	5.36	3.28	15.0	4
L	230 × 1000 × 350	47.2	18.34	0	0.74	1.55	0.36	7.01	1.22	18.0	4
M	320 × 820 × 450	48.6	13.43	0	0	1.22	3.21	2.19	1.33	27.2	6
N	300 × 870 × 380	30.0	2.21	2.8	0	1.26	1.14	0	1.03	21.5	4
O	260 × 1000 × 650	44.1	6.71	0	0	2.01	1.98	1.91	6.08	25.4	4
P	330 × 800 × 350	36.4	6.46	0	0	1.9	1.98	1.92	2.05	22.1	4
Q	210 × 940 × 520	41.8	12.59	0	0	0.99	0.62	6.2	3.42	18.0	4

B



E



F



H



I



O



図 1.2-1 代表的な LIB ユニットの外観写真





図 1.2-2 LIB ユニット解体試験結果の 1 例 (LIB ユニット : I)

表 1.2-2 LIBユニットの解体によるリサイクル率の向上性評価結果

車種名	鉄の割合 ①	有価性の部 品割合②	樹脂の 割合③	モジュール の割合④	合計	鉄のみの リサイクル率 ⑤=①	解体による リサイクル率 ⑥=①+②	解体+リユース のリサイクル率 ⑦=①+②+④	比較 ⑦-⑤
A	6.8%	27.7%	1.9%	63.6%	100.0%	6.8%	34.6%	98.1%	91.3%
B	30.5%	13.2%	4.9%	51.3%	100.0%	30.5%	43.7%	95.1%	64.6%
C	23.3%	10.0%	5.8%	60.9%	100.0%	23.3%	33.3%	94.2%	70.9%
D	21.5%	14.8%	3.0%	60.7%	100.0%	21.5%	36.3%	97.0%	75.5%
E	2.1%	37.2%	3.8%	56.9%	100.0%	2.1%	39.3%	96.2%	94.1%
F	34.6%	12.7%	7.5%	45.3%	100.0%	34.6%	47.3%	92.5%	58.0%
G	25.7%	24.0%	7.6%	42.6%	100.0%	25.7%	49.8%	92.4%	66.6%
H	25.4%	24.7%	7.3%	42.6%	100.0%	25.4%	50.1%	92.7%	67.3%
I	30.2%	18.0%	7.2%	44.7%	100.0%	30.2%	48.1%	92.8%	62.7%
J	22.7%	22.5%	8.7%	46.1%	100.0%	22.7%	45.2%	91.3%	68.6%
K	23.2%	26.2%	6.0%	44.6%	100.0%	23.2%	49.4%	94.0%	70.8%
L	22.3%	22.4%	9.9%	45.4%	100.0%	22.3%	44.8%	90.1%	67.8%
M	38.9%	20.5%	2.6%	38.1%	100.0%	38.9%	59.3%	97.4%	58.5%
N	27.7%	13.6%	2.7%	56.0%	100.0%	27.7%	41.3%	97.3%	69.6%
O	7.4%	17.4%	3.4%	71.8%	100.0%	7.4%	24.7%	96.6%	89.2%
P	15.2%	13.4%	13.8%	57.6%	100.0%	15.2%	28.6%	86.2%	71.0%
Q	17.7%	15.9%	5.6%	60.7%	100.0%	17.7%	33.7%	94.4%	76.6%

\* : ここで言うリサイクル率とは、回収された部材が有価である事と同義とし、その全てがマテリアルリサイクルされるという意味ではない。

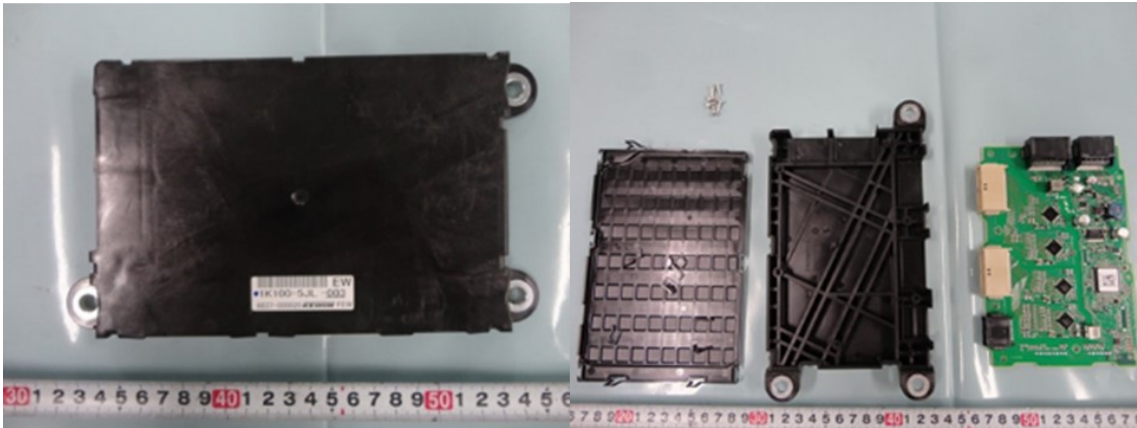


図 1.2-3 コントロールユニットとその中の基板

表 1.2-3 各コントロールユニット中の基板の化学分析評価結果

No.	Au (ppm)	Ag (ppm)	Pd (ppm)	Cu (wt%)
①	84	1310	17	17.4
②	54	971	17	16.2
③	—	—	—	—
④	64	1190	7	28.5
⑤	271	1850	12	20.1
⑥	119	1480	16	22.4
⑦	96	1460	6	20.4
⑧	115	1280	13	18.5
⑨	91	1180	12	16.4
⑩	67	1190	11	22.9
⑪	—	—	—	—
⑫	53	1090	13	25.7

## 1. 2. 2 セルの解析

メーカーの異なる2種類のLIBセル（いずれも箱型タイプ）について分析を行った。また、旧型と思われる形状の異なるタイプのセルについても参考データとして併記した。旧型のものは搭載されている車種も限られていた。

対象とした電池（表 1.2-4）とその解体した状態を一例を図 1.2-4 に示す。

また、セルの各部位の重量と重量構成比（%）を調べた結果を表 1.2-5 に、正極、負極の主要金属元素の構成比（%）を調べた結果を表 1.2-6 に示す。重量構成比は、電解液の重量を正確に測定するために、真空乾燥（約 24 時間）をかけ、正極、負極等に浸漬している電解液も揮発させ、その差分で重量比を求めた。

表 1.2-5 に示した様に近年の箱型タイプの LIB セル中の電解液の重量は約 50g、比重をほぼ 1 と仮定すると、約 50mL/セルの電解液が入っていることとなる。旧型と思われる大型の電池セル③では、同様に考えると 170mL 程度入っている事となり、トータルの危険物管理という観点からは、これらの電解液の量を正確に把握する必要がある事が分かる。

また正極材の組成（表 1.2-6）についても、Co の含有量は異なるため、これら进行处理して、回収物から Co を精製する際にも、組成の影響を考慮する必要が生じる。

また参考として、セル①、②については電解液の組成について、危険物の特定という観点で測定を行った。表 1.2-7 に結果を示す。

セル中の電解液は総量として第 2 石油類に分類されているが、その性状は、様々である事が分かった。



表 1.2-4 セル分解試験に供したセルの型式・形状

型式	重量 (g)	寸法 (mm)
①A社	276.0	H78.6×W112.0×D15.8
②B社	246.8	H86.3×W120.0×D12.6
③A社-大	894.8	H130.0×W166.0×D22.6



図 1.2-4 セル①の分解試験 (分解時の状況)

表 1.2-5 セルの構成重量と重量比

(上段：g、下段：wt%)

型式	正極	負極	セパレーター	筐体等	電解液	計
①A社	67.6	56.5	11.5	93.8	46.6	276
	24.5%	20.5%	4.2%	34.0%	16.9%	100.0%
②B社	67.1	58.5	9.9	61.2	50.1	246.8
	27.2%	23.7%	4.0%	24.8%	20.3%	100.0%
③A社-大	278.6	242.5	39.4	164.4	169.9	894.8
	31.1%	27.1%	4.4%	18.4%	19.0%	100.0%

表 1.2-6 正・負極材の成分分析表（正極、負極の総重量を 100%とする）  
(単位：wt%)

		Co	Ni	Mn	Al	Cu
①A社	正極	26.0	6.4	6.1	21.2	-
	負極	-	-	-	-	48.2
②B社	正極	12.4	12.6	10.4	20.8	-
	負極	-	-	-	-	43.7
③A社-大	正極	12.7	12.4	12.1	19.0	-
	負極	-	-	-	-	44.5

表 1.2-7 電解液の組成分析結果（単位：wt%）

型式	DMC	EMC	PC	EC	他	計
①A社	20	23	30	0	27	100
	第一石油類	第二石油類	第三石油類	非危険物		
②B社	25	18	0	27	30	100
	第一石油類	第二石油類	第三石油類	非危険物		

(DMC：ジメチルカーボネイト、EMC：エチルメチルカーボネイト  
PC：プロピレンカーボネイト、EC：エチレンカーボネイト)

### 1. 2. 3 LIBの放電

LIBの放電は2つの意味を持っている。当社がこれまで検討してきた放電の位置付けは2つある。まず、1.2.1で述べたように、LIBユニットを車体から取り外す際には、必ず、事前にサービスプラグを抜き、電池の接続プラグ部を触っても感電しない状況で取り出す。

しかし、EV用LIBユニットの場合、全体での電圧が400V、HVでも全体で約200V近い電圧があり、これを処理が可能なモジュール単位まで解体を行う必要がある。200Vの固まりの状態での解体を行う事となるため、作業する人の安全を確保するという意味で、放電が必要となる。

もう一つの放電の必要性は、処理において、熱をかけるという点にある。仮に解体される前、LIBがほぼフル充電状態に近い場合、この状態で熱をかけると、LIBが熱暴走を起こし、爆発的な燃焼が生じる。これは当社が、18650型の小型電池で試験を行った結果でも確認されている。低温で熱処理を行う事により、Al、Cu等のシート材を回収するプロセスにおいては、熱暴走により燃焼と同等の反応が起きてしまうと、材料回収が十分にできないというデメリットがある。

①解体する人の安全性の確保、②材料の回収効率を下げず、一定のプロセス条件で処理を行う、この2つの目的で、放電を行う必要性がある。

また、今回、これに加え、輸送上の安全性を確保するという目的が加わった。詳しくは1.3 輸送試験の章で述べるが、輸送上のリスクとして、輸送途上で何らかの外的要因（衝撃・衝突、温度上昇等）が加わった際、火災・爆発等の危険性が懸念された。これを回避する方法として、電池のエネルギー密度を下げる、すなわち放電する事が重要であると考えられる。では、どこまで放電すべきなのか、何Vまで電圧を下げるのが適正かという課題が挙げられる。

通常、LIBは電池の組成によって、充放電間の電圧が決定される。通常3.0V～4.2V程度で使われており（正極・負極材の材料の種類によって、全てこの範囲という訳ではない）、3.0V/セルまで放電されたLIB電池には電気はほとんど残っていない状態と考えられる。さらに電圧を下げた場合、LIB中の有機溶剤の電気分解反応が進み、COやH<sub>2</sub>等の可燃性のガスが発生することが知られている。また、放電作業を行っても、放電作業終了後、復極という現象が認められ、一定の電圧状態に保つという事は性質上難しい。図1.2-5に、2セルタイプのモジュールで放電試験を行った際の、復極の状況を示す。

この様な、知見を基に、今回はLIBが通常、使用されている電圧範囲（3.0V～4.2V）で、かつ電圧が下がり過ぎない安定な状態として、3.5V/セルという電圧を設定し、各モジュール（12セル、18セル）について、それぞれ42V、63V（モジュール単位）までの放電を実施した。

放電に用いた電子負荷装置は、菊水電子工業(株)製の電子負荷装置（PLZ1003W型）であり、図1.2-6に装置外観を示す。動作電圧範囲1.5～200V、動作電流範囲0～200A、最大

電力量 1,000W という仕様のものである。最大電力量が 1,000W であるため、12 セルタイプのモジュールの場合、 $42V \times 20A = 840W$  という最大電力量、すなわち 20A での定電流放電が可能であるが、18 セルのモジュールの場合、 $63V \times 20A = 1,260W$  となってしまうため、10A での放電を実施した。

放電結果の 1 例を表 1.2-8 示す。

解体したモジュールは全て、セル当たり、3.5V の状態で輸送試験を実施した。

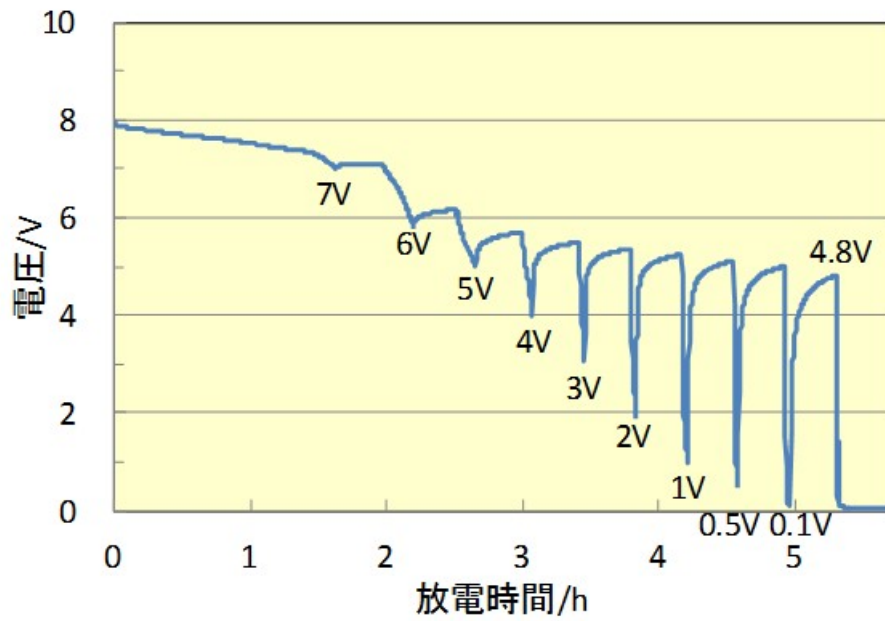


図 1.2-5 放電時、各電圧まで下がった後、放電を中断した時の復極の状況



図 1.2-6 モジュールの放電に用いた電子負荷装置 (PLZ1003W)

表 1.2-8 放電試験の結果 (一例)

No.	形態	負荷電流 (A)	初期電圧 (V)	放電時間		回復電圧 (V)
				分	秒	
1	12C/M	20	46.9	3	16	43.0
2	12C/M	20	46.9	3	32	42.7
3	12C/M	20	46.8	3	21	42.9
4	12C/M	20	46.7	3	26	42.6
5	12C/M	20	46.7	3	25	42.7
6	12C/M	20	46.2	2	47	42.8
7	12C/M	20	46.2	2	43	42.8
8	12C/M	20	46.2	2	40	42.9
9	12C/M	20	45.7	2	28	42.7
10	12C/M	20	45.7	2	18	42.8
11	12C/M	20	45.7	2	28	42.7
12	12C/M	20	45.7	2	17	42.9
13	12C/M	20	45.7	2	27	42.7
14	12C/M	20	45.3	1	40	43.0
15	12C/M	20	45.3	1	37	43.0
16	12C/M	20	45.2	1	46	42.9
17	12C/M	20	45.2	1	52	42.7
18	12C/M	20	45.2	1	47	42.8
19	12C/M	20	45.1	1	44	42.9
20	12C/M	20	44.8	1	27	42.7
21	12C/M	20	44.7	1	25	42.8
22	12C/M	20	44.7	1	32	42.6
23	12C/M	20	44.6	1	26	42.7
24	12C/M	20	44.6	1	6	43.0
25	12C/M	20	44.6	1	3	43.1
26	12C/M	20	44.6	0	59	43.3
27	12C/M	20	44.4	1	9	42.8
28	12C/M	20	44.3	2	9	42.8
29	12C/M	20	44.3	1	4	42.9
30	12C/M	20	44.3	1	13	42.7
31	12C/M	20	44.3	1	11	42.7
32	12C/M	20	44.3	1	7	42.8
33	12C/M	20	43.7	0	24	43.0
34	12C/M	20	43.7	0	28	43.0
35	12C/M	20	43.7	0	27	42.9

## 1. 2. 4 LIBのリユースの可能性評価

1.2.1の解体によるリサイクル性の向上評価のところでも述べたように、解体したLIBモジュールが再利用可能である場合、それを有効に活用し、最終的に、使用限界まで劣化した後に、リサイクルするというのがコストの面からと、環境負荷低減という観点からも望ましい。

ただし、LIBモジュールが再利用可能かどうかの判断について、今回の実証事業においては、電池の性能を評価、再利用先の検討というところまでは実証事業の範囲外としている。本実証事業の中では、あくまで解体した後、輸送のための放電を実施する際に得られる情報、あるいはもっと簡易的に測定する方法がある場合、その方法を用いて、LIBの劣化状態を判定できる可能性について検証を実施した。具体的には復極した時の電圧の上昇度合い( $\Delta V$ )で劣化を判定する方法と、インピーダンス測定による劣化の判定の2つの方法を検討した。

### (1)復極電圧の上昇による劣化の判定

まず、放電した際の電圧の変化について、放電の履歴が記録できる放電装置とその測定結果(図1.2-7)で状況を確認した。ここで用いた放電装置は、経済産業省の平成26年度産業技術実用化開発事業(資源循環実証事業)「次世代自動車使用済みリチウムイオン電池からのコバルトリサイクル促進事業」において、当社が製作した装置であり、放電時の電位プロファイルと放電を行っている端子部の温度プロファイルを記録する事が出来る。菊水電子工業(株)製PLZ1004WHとPLZ2004WHB(ブースター)とで構成され、150A、3,000Wの仕様機器となっている装置である。放電については、3V/セルまで放電を行った。

この結果を踏まえ、放電作業時の復極に着目しある程度、電圧の変化が止まった電圧を復極電圧とし、設定電圧との差異を記録した(表1.2-8に1例を示した)。

理論的に、この復極電圧が異なるのは、電池の劣化が進むと内部抵抗が上昇するためと考えられ、復電圧が大きければ大きいほど、劣化が進んでいると考えられる。ただしその際、どの範囲内であればリユースが可能かというところまでの実証は、今回行っていない。

また、今回、3.5V/セルまで放電し、輸送試験を行った。これは、当初の判断として、3.5V/セルまで放電すれば、①満充電状態の85%以上の電気が放電された状態である(過去の調査結果による)と、②放電作業時間を可能な限り、短く設定するためである。

ただし、図1.2-8に示すように、メーカーの異なる2種類のLIBで放電状態の異なるLIBの熱分解試験を行った結果、3.5V/セルまで放電しても熱分解時に温度プロファイルに温度上昇が認められる物があつた。この温度プロファイルの乱れが回収物に及ぼす影響についてまで詳細には検討しておらず、今後の課題である。

従って、ユニット解体時の放電を3.0V/セルまで実施するか、3.0V/セルであれば加

熱時に問題がないのか、そして、別の考え方としては、輸送の安全を担保するための放電と、処理のための放電を分ける必要があるという可能性を示している。この点についても、検証はまだ十分に行えていない。

復電圧( $\Delta V$ )を測定した 64 個のデータをまとめたものを図 1.2-9 に示す。測定は 116 個のモジュールに対して行ったが、残りの 52 個は既に 42V 以下の状態となっていたため、同条件とならないため、測定ができなかった。これは基準を 3.5V にしたためでもある。先に述べたように、設定の電圧を 3.0~3.5V までのどの電圧が最適なのかは、今後、さらに検証する必要がある。

今回の実証事業、あるいは実際の LIB を熱処理によってリサイクルする場合のいずれにおいても放電の作業は必須となるため、この放電作業から劣化の情報を得られる事ができれば、1 次スクリーニング情報として、簡易的な判断が、リサイクルや解体の現場で可能となる可能性がある。図中に示したリユース可能性の電圧 ( $\Delta V$ ) の設定については、仮に線を示しただけであり、別の方法で測定したデータとすり合わせる必要がある。特に今回、試験に供した LIB については、どの程度の使用履歴があるものかが分からないため、今後は、使用年数や、充放電回数、さらには電池内部の劣化状況の分析結果とのすり合わせ等含め、データの積み上げが必要になってくると思われる。



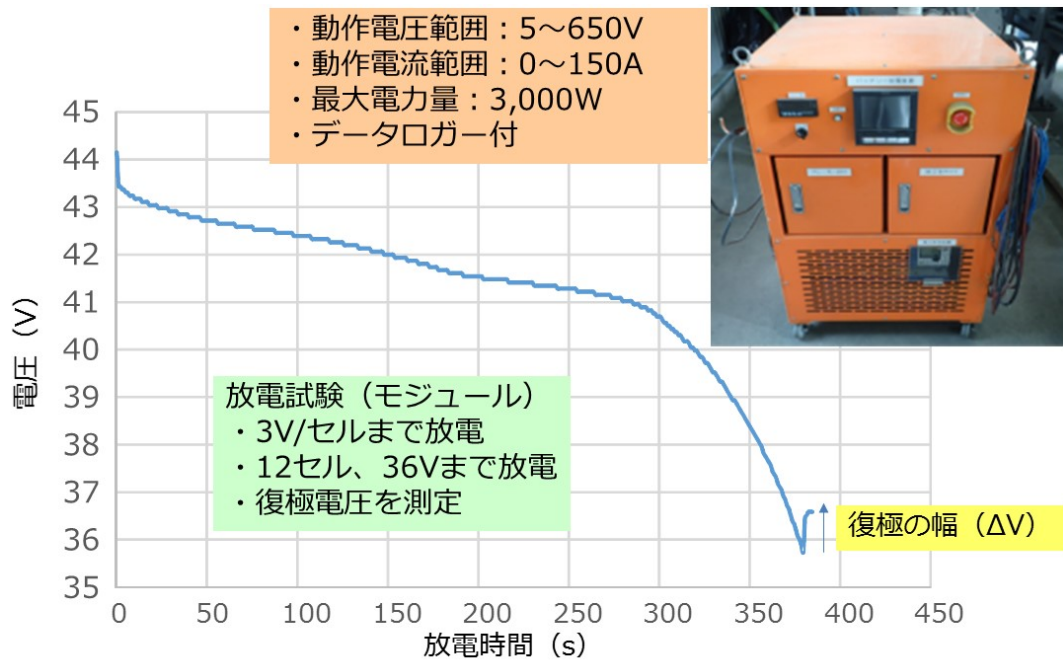
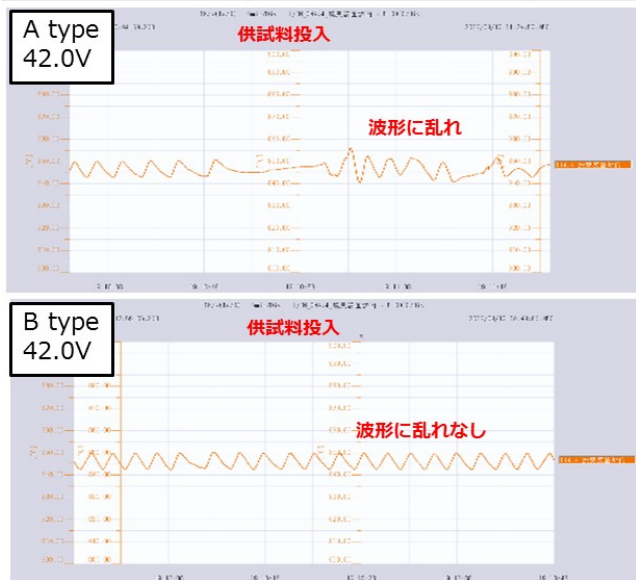


図 1.2-7 放電した場合の時間と電圧の関係

電圧(V) (12セル)	判定	
	A type	B type
42.0	×	○
43.2	—	○
44.4	—	×



熱分解時の温度プロファイルに波形の乱れがみられる。炉内での残電力の影響が表れていると考えている。

図 1.2-8 モジュールの放電状態と内部の電気エネルギーが熱処理に及ぼす影響

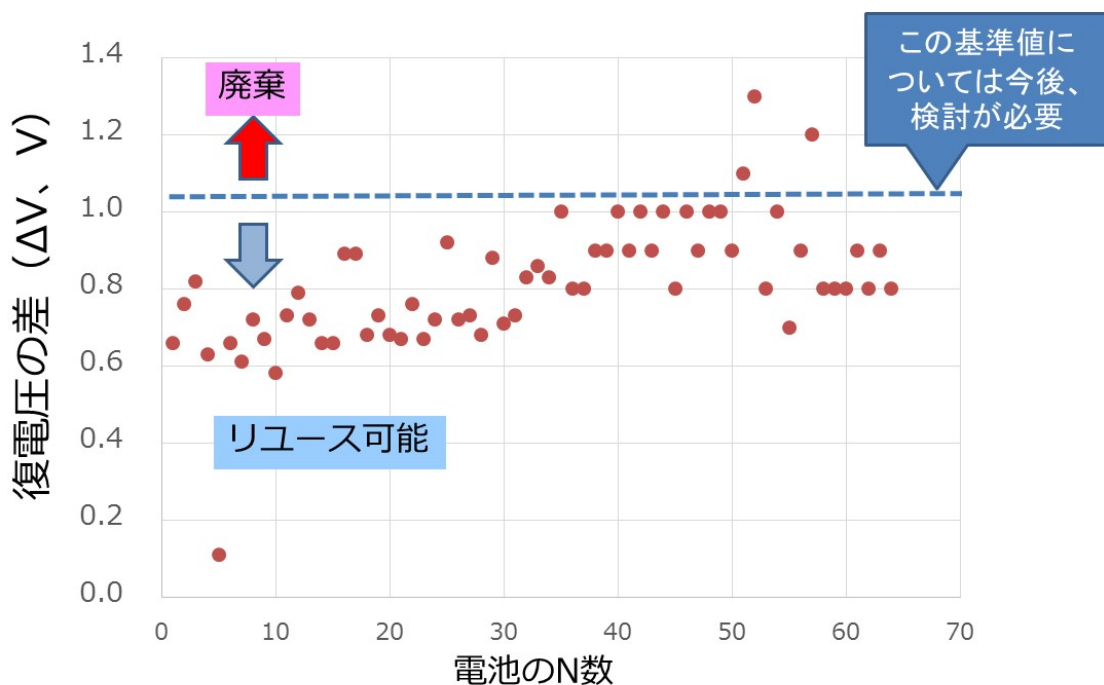


図 1.2-9 復電圧の差とリユースの検討の可能性評価

## (2)インピーダンス測定による劣化の判定

LIBの劣化の状態を調べる方法として有名なのは、電気化学インピーダンス測定（以下、インピーダンス測定）である。バッテリーを分解すること無く、バッテリーの中身の状態を知ることができるため、電池の評価に利用されている。インピーダンスとは、交流信号を回路に印加したときの電圧と電流の比を取った値のことを示し、直流回路における電気抵抗の概念を複素数表示に拡張して適用したもので、単位は $\Omega$ となる。バッテリーの状態を知る手法として広く知られている

試験の概要：25°C環境下で、単電池（BEW-12-1～3）に交流電圧を印加・電流を検出してインピーダンスを取得した。

試験条件：試験条件は表1.2-9の通り。単セルでの測定状態を図1.2-10に示す。

同一モジュールから取り出した3つのセルで測定した単セルでのインピーダンス測定結果を図1.2-11に、今回の測定器では、機器が対応可能な電圧が2セル連結までの範囲であったため、解体したセル（先ほど単セルで測定した1、2）を連結し、モジュールでの測定を推察した結果を図1.2-12に示す。

この結果から、今回、同一モジュールで取り出した3つのセルについてはほぼ同等の曲線を描き、劣化の状況はほぼ同等であると推察された。また、連結して測定したX切片の値（直列接続時）は、個別試験結果の和に相当すると思われるが、個別試験の和が $3.06\text{m}\Omega$ に対して、直列のX切片の値が $2.69\text{m}\Omega$ となり、約9%程度異なる。この差の優位性については、他の供試体の特性把握（N数を増して、様々なデータの市取得）が必要と思われる。

今回、試験に供したモジュールは、大きな劣化が見られないと思われるが、(1)の試験と同様に、今後、劣化したLIBを用いてのデータの取得を行い、判定の基準を作っていく必要がある。インピーダンス測定において、劣化が進んだ場合に見られる波形の形状について、図1.2-13に示す。

今回の試験では、2直列でインピーダンス測定を行ったが、実際のLIBユニットの解体現場で、リユース性を判定する場合、モジュールの状態でのインピーダンス測定を行うことが必要となってくる。その際、単電池と同じ条件で測定を行うためには、高電圧（高電流）を印加することが出来る装置が必要である（今回使用したHJ1010SD8は最大10Vであった）。

一般的に、高電圧でのインピーダンス測定を行うための装置の周波数特性は悪くなる。そのため測定周波数に制約が生じることとなり、LIBをモジュールのままインピーダンス測定を行うには、条件を満たす装置を用いることが重要であり、この装置の開発・検討も必要となってくる。

表1.2-9 インピーダンス測定条件

前処理：	供試体を恒温器内（設定温度25℃）に4h以上設置
測定環境温度：	25℃（恒温器設定温度）
試験機器：	HZ-7000+HZAP3003, LU-114
主な試験条件：	
制御：	定電位印加
設定電位：	電池端子間電圧（3.5V程度）
交流振幅：	2mV
開始周波数：	10kHz
終了周波数：	1Hz
測定点数：	10/decade
測定回数：	連続して5回実施

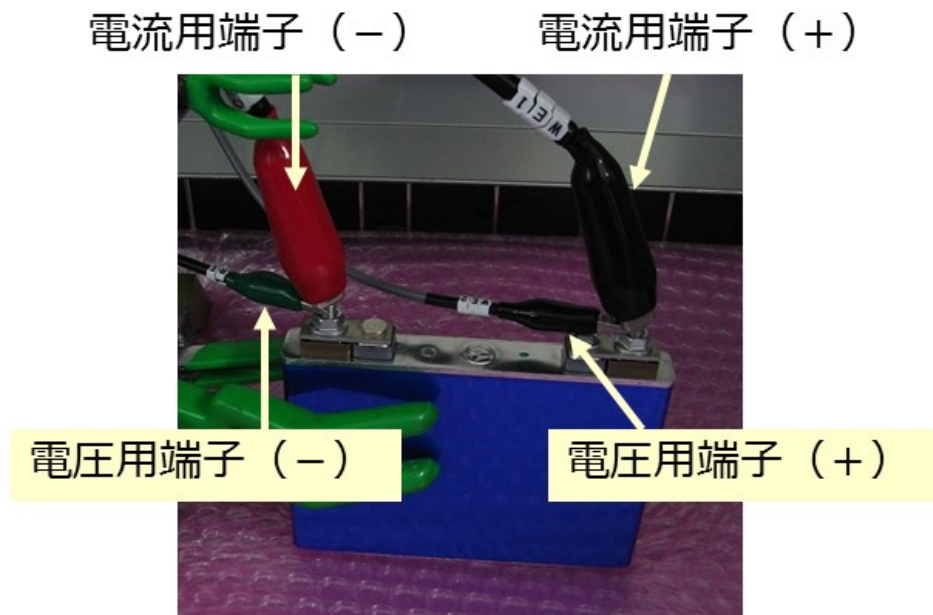


図1.2-10 単セルでの測定状態

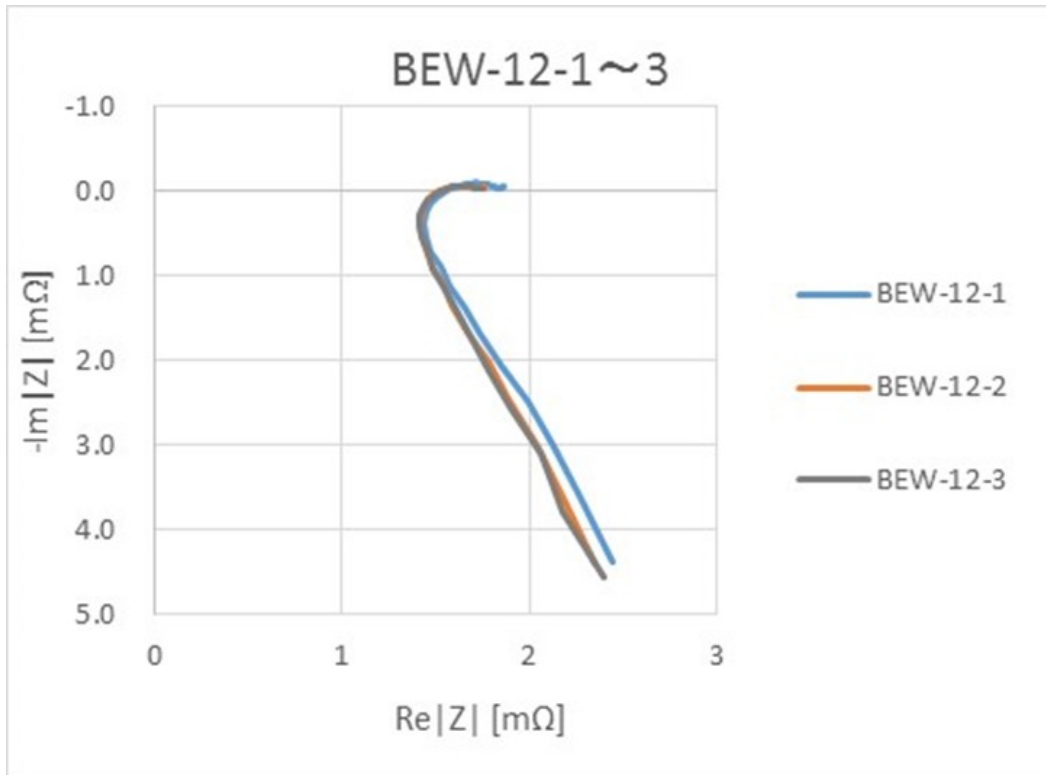


図1.2-11 同一モジュールの3つのセルのコールコールプロット

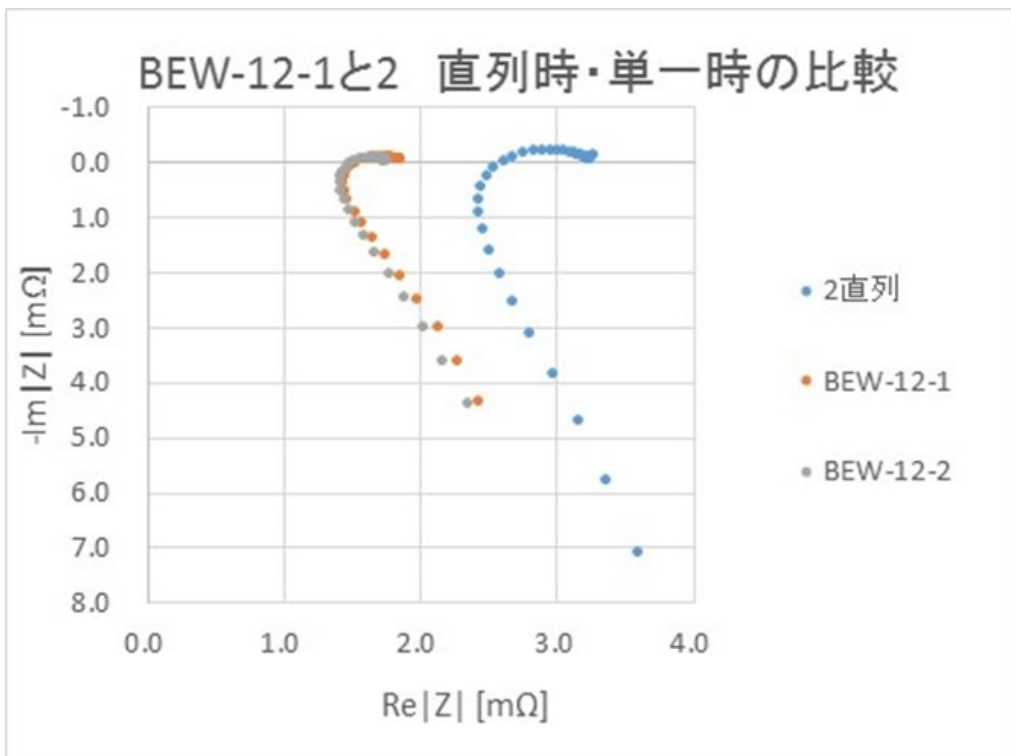


図 1.2-12 2セルを連結して測定した結果と単セルでの結果との関係

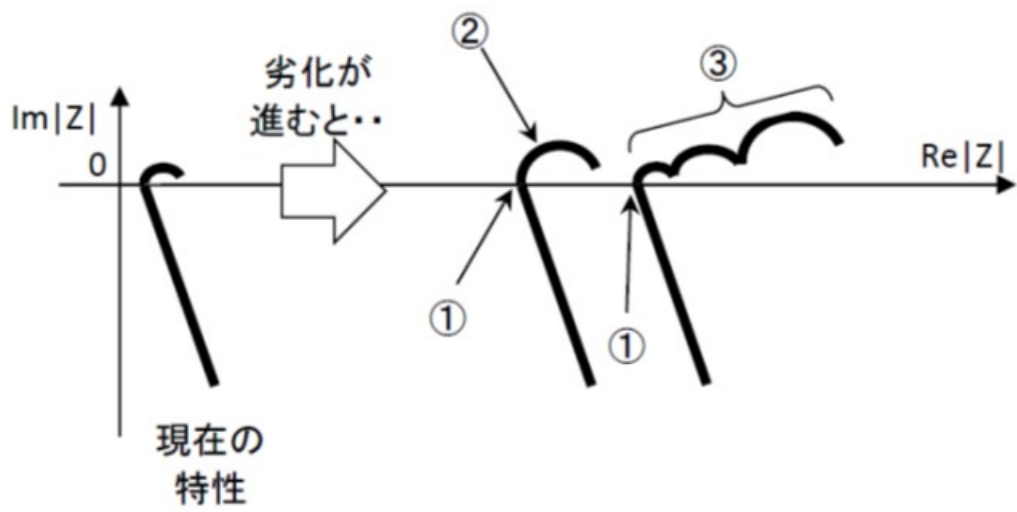


図 1.2-13 劣化した LIB におけるインピーダンスでの波形特性  
 (①X 切片が増大、②円弧が肥大化、③複数の円弧が出現)

## 1. 3 車載用 LIB 輸送試験

### 1. 3. 1 車載用 LIB 輸送試験を検討した背景

小型 LIB に関しては、現在、回収スキームが動いているが、大型と区分される車載用 LIB については、市場がこれだけ拡大しているにもかかわらず、適正な回収スキーム（適正な輸送方法及びリユース・リサイクル方法を含む）が確立されていない。このことが、LIB の排出者は勿論、輸送業者やリサイクル業者らの課題となっている。

車載用 LIB は高電圧（高エネルギー）を維持することができ、充電回数も多く急速充電特性も良好であり、メモリー効果（使い切らないうちに浅い充電を繰り返すことで最大容量が小さく記録される現象）も見られないといった点が優位性（利点）とされている。しかし、高電圧（EV は 400V 程度を有する）であり、可燃性物質である電解液（消防法上、第 4 類第 2 石油類の危険物）が含まれているなどの輸送上・取扱上のリスクとも言える特性を併せ持っている。又、輸送効率と環境への負荷（CO<sub>2</sub>排出）、梱包材等の運ぶ手立て、輸送の運用・管理における議論が個別に行われおり、定量的基準や明確なガイドラインが存在せず、其々の関係業者が自主判断にて回収を行っている。

輸送上・取扱上のリスクに関しては、新品とリサイクル対象品は大きな違いがある。新品の LIB は、製造者が出荷前検品を行い、輸送はチャーターで行う事が主流となっているため、輸送される LIB については製造者又は発送主の責任として安全性が担保されている。しかし、リサイクル対象の LIB（以下、使用済み LIB と称する）に関してはどのように使われてきたかのトレーシング（管理）が実施、あるいは開示されていないのが現状であり、また安全性に関する定量的な基準や明確な定義がないため、輸送業者（保管等を行う物流会社を含む）としては安全性の担保が確保できない。

さらに一時保管又は保管が必要な際、消防法で定義されている危険物に該当するかどうかの基準になる電解液の量などの製品情報の開示がなされておらず、輸送業者はその取扱に苦慮している。

輸送効率に関しては安全性とも深く関係しており、トラックによる陸送の場合は積載率が輸送効率に直結し、一般的に輸送効率が高ければコスト減と CO<sub>2</sub>排出量削減に繋がるとされている。使用済み LIB は通常、LIB ユニットの状態で排出されるが、この LIB ユニットは大きく純粋なる組電池（モジュール）と筐体や、その他の構成部材で構成されており（1.2 を参照）、筐体の中に幾つものモジュールが納まっている（図 1.2-2 参照）。

LIB は処理する際にモジュールまで解体する（1.2 で検討した内容）が、モジュールと回収した部品とは処理、リサイクルするプラントが異なる。回収した部品等は、従来のリサイクルのルートに乗せて輸送・売却等が可能である。したがって、今回、検討しているモジュール型の LIB の処理プラントを想定した場合、LIB ユニットの状態のまま輸送すると、モジュールの処理プラントまで LIB ユニットを輸送し、解体したモジュール以外のものは別のプラントに輸送するといった 2 次輸送が発生する。コストと CO<sub>2</sub>排出量の両方に負担が掛かっている可能性が高い。また、積み降ろし作業の効率化からパレット積みを実定した場

合、これも 1.2 で調査した結果から分かるように、LIB ユニットの形状は一定ではないため、安定性や積載率は LIB ユニットよりモジュールの方が高い。しかし、一般的に LIB ユニットままの状態での輸送及び取扱に関しては比較的风险が少ないとされており、モジュールまで分解した場合のリスクに関しては各関係業者間の認識に温度差があるのが現状である。

次に運ぶ手立て（輸送方法）に関してだが、国際的には、危険物の輸送に関して各国及び国際規則に統一性を持たせ、輸送の安全を図る目的で、国際連合・経済社会理事会・危険物輸送及び分類調和専門家委員会が危険物輸送に関する勧告（陸、海、空）を策定している。この勧告には法的拘束力はないものの、国連加盟国はその内容に沿って国内規則を整備し、陸送においても国際輸送時の勧告に従って輸送を行っている。しかし日本は島国であるため、危険物国際陸上輸送（包装・梱包に使用する容器に関する要件が取り決められている）規定に関する条約に加盟しておらず、国際基準とは別個の法律が整備されているが、その国内の法律には「使用済み LIB の陸上輸送における輸送用容器に関する定め」がない。そのため、使用済み LIB の回収に係る各企業は自主判断にて個別に動いている。

最後に輸送の運用・管理における法規制に関してだが、現在、日本では使用済み LIB のモジュール部分を処理し、資源を回収できるシステムを有しているプラント（電炉工場等含む）は数少なく、それに対し、排出される場所は、全国各地が想定される。排出場所は主に車の解体業者又は整備工場であると想定されるが、これらは全国約 90,000 箇所にあると言われている。そこから数の限られる処理プラントへ輸送する場合、遠距離輸送（複数の都道府県をまたがる広域輸送）が想定される。効率よく LIB を回収するためには物流ネットワークが必要とされているが、物流ネットワークを持つ輸送業者は多くの外部協力会社を利用（輸送の再委託）してそのネットワークを維持している（ある全国ネットワークを有する輸送会社の場合、約 5,000 箇所の拠点及び何千社という外部協力会社を利用している）。又使用済み LIB は主に産業廃棄物として取扱われており、原則その広域輸送における収集運搬のためには各都道府県から産業廃棄物収集運搬業許可を得る必要がある。仮に、一つの輸送業者のみで幾つもの都道府県をまたぎ広域輸送行うことを想定したとしても、容易ではないことには変わりはない。

リサイクルを目的とした廃棄物の広域輸送をより円滑に行うため広域認定制度という特例が定められている。広域認定制度とは、環境大臣から認定を受けた製品の製造事業者等（製造・加工・輸入事業者等の事業を行う者）が、複数の都道府県にまたがって使用済み製品の回収／リサイクルを実施する際、地方公共団体毎の廃棄物処理業の許可を不要とする特例制度で、製造事業者等（広域認定制度の申請者）は輸送業者を指定・登録・申請し、登録された輸送業者しか輸送できない（広域認定制度上、申請者から委託を受けた者が他の者にその業務を再委託することは禁止されている）。又、登録した委託事業の変更や指定輸送業者の登録された全国各支店名・代業者・所在地等の変更がある場合には、一定期間内に変更届を提出する必要がある。しかし、登録・申請から許可まで多くの時間を要し、その間に



また新たな変更が起きることも多く、変更にはタイムラグが発生するため、その運用・維持管理は非現実的とも言われている。

前述の内容のようにメーカーや広域輸送に必要な輸送ネットワークを持っている輸送業者は、広域認定制度に基づいた運用には原則適していない（何千社という外部協力会社を利用しているため）のが現状であり、大きな課題とされている。

これまで述べてきたように、使用済み LIB の回収スキームに関しては、様々な課題が残っており、又技術・コストの側面からもある一社で構築することは非常に厳しく、排出者、輸送業者、リユース・リサイクル業者等の関係各社が其々の課題を抱えたまま個別に議論を進めているが、まだ明確なガイドラインなどは世に出ていない。そのため各関係業者は独自の判断でその輸送及び管理を行っているのが現状であり、早期の回収スキーム構築が必要とされている。

今回の輸送についての課題と想定される輸送経路を、図 1.3-1 に示す。

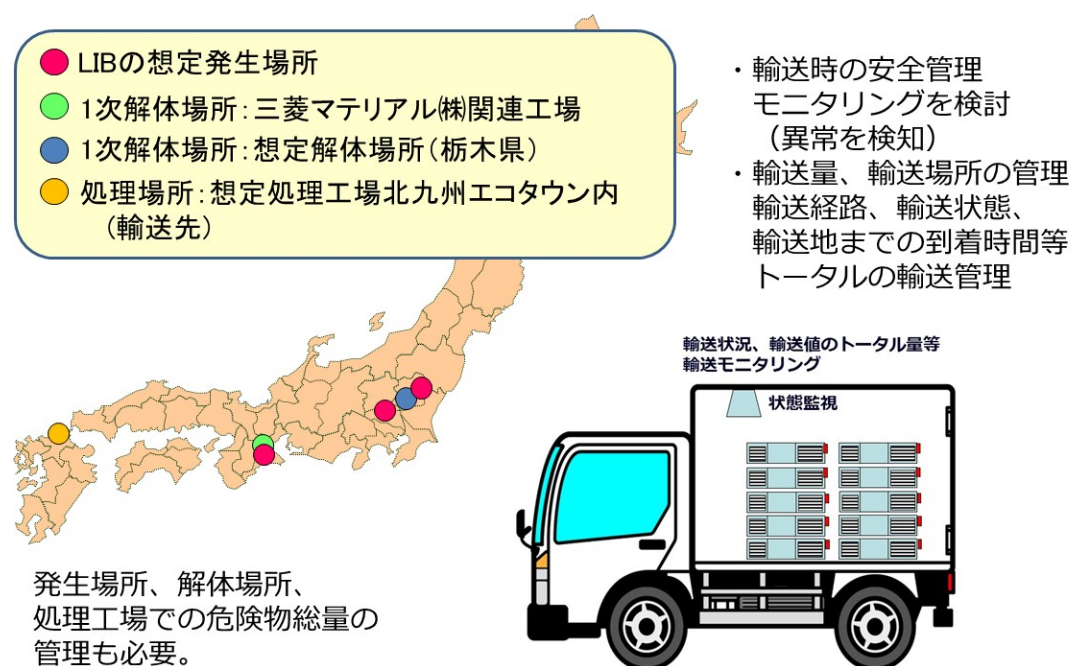


図 1.3-1 想定した輸送経路と輸送上の課題模式図

### 1. 3. 2 LIB 輸送試験の目的

1.3.1 で述べたような背景から使用済み LIB の早期の回収スキーム構築が必要とされている。また使用済み LIB を回収・処理・リサイクルするためには輸送が必要である。飛行機、船、鉄道のような手段を用いてもトラックによる陸送は必ず発生する。そのような理由から輸送業者の観点から、適正な輸送方法、輸送効率化、輸送及びその取扱に係る法規制に対する課題の抽出及び分析を目的とし、本実証実験を行った。

特に使用済み LIB 輸送において重要なのは、大量輸送している状況において、何らかの理由でそのうちの電池が短絡を起こし、爆発・類焼という事故が起きた場合、LIB が持つ特性から考えるとその事故の影響はとても大きいものと推察される。また輸送する人間の命に関わる事故になりかねない。このようなリスクから、輸送業者は安全に関する担保を必要としているが、これに関しては、現状、明確なガイドラインや安全性に関する定義がなされていない。そのため、輸送業者の観点から安全な輸送方法に関する実験を計画するところから始めて、実証試験を実施した。安全に関する定義については、車メーカー、電池メーカー等を含め、有識者や関係者にヒアリングを行い、LIB の一般的な特徴から一つの仮説をたて、その仮説に基づき輸送試験を実施した。

その実証実験から取れたデータを基に課題の抽出及び分析を行った。

輸送の効率化という観点を検証するために、LIB ユニットとモジュールという 2 つの形態での輸送試験を行う事で、効率化に関する課題抽出を行った。

また広域輸送に係る廃掃法と広域認定制度の現状と問題点の抽出を行い、輸送業者の観点から全国で発生した使用済み LIB の集約処理する場合の検討を行うとともに、輸送に関わる作業（一時保管又は保管）に関する他法令（消防法）に関する内容についても整理を行った。

### 1. 3. 3 LIBの輸送方法

車載用 LIB を LIB の高電圧版と位置づけ、LIB の一般的特性を、事故事例や有識者又は本実証実験の参加者にヒアリングし、その特性を基に前提を設けて試験を実施した。

LIBは発熱・発火の事故が報告されており、強い衝撃や圧迫、鋭利なものの突き刺しなどの原因により、電池構成部材のセパレータが破れ正極と負極が短絡してしまう可能性があり、短絡が始まると発熱する。発熱によって、反応が進むと、酸素燃焼反応等、次々と発熱反応が起きるため、熱暴走を起こし発火・発煙に至るといわれている。熱暴走は60℃～70℃以上で起こるともいわれているため、実証実験ではリスクを最低限にすべく、熱暴走が起こる可能性がある最低温度を60℃と設定した。また高電圧のため、感電のリスクを想定した。

本実証実験ではトラック輸送の際、熱暴走を起こしうる要因を、輸送中の衝撃（積み降ろし作業中も含む）による短絡及び外気温や直射日光の影響による温度上昇と仮定した。また物流ネットワークを持つ輸送業者の観点から、使用済みLIBの輸送形態は直送と積替え輸送、車載ユニットとモジュールでの輸送を想定した。

#### (1)輸送対象品の状態確認

輸送対象 LIB に関しては、使用済み LIB の使用経緯が分からないため、外観上、明らかにダメージの無い物に限定し、感電及び端子同士の接触による発火リスクを減らすために絶縁処理(端子部をテープにて絶縁した状態のもの)を実施した。また 1.2 で述べたように、モジュールまで解体したものは、モジュールの状態で、3.5V/セルまでの放電を行い、LIB 内部のエネルギー密度を下げる事によって、危険性を少なくする処理を施したものに限定した。

##### ①トレーシングのための型番確認

##### ②製品状態・情報確認

#### (2)輸送時の取扱設定

##### ①利用トラック設定

##### ②荷姿設定：パレット、ロールボックス、段ボール等を検討

##### ③梱包材の設定：緩衝材等

##### ④安全及び緊急時の対策：消火設備、連絡体制等

#### (3)想定輸送形態設定

輸送形態に関しては次の4通りを想定し、車両1台にて1回の輸送実験を行った。

##### ①直送（車載ユニット）

##### ②直送（モジュール）

##### ③積替え輸送（車載ユニット）

##### ④積替え輸送（モジュール）

輸送区間に関しては、下記の通りである。

- ・排出先（集荷先）：栃木県小山市（日本磁力選鉱(株)小山第二工場）

・最終納品先：福岡県京都郡苅田町（日本磁力選鉱(株)技術本部）

輸送上の輸送中継拠点に関しては下記の通りである。

・中継拠点 A：兵庫県伊丹市

＊直送の場合、最終処理場とみなす。

＊積替え輸送の場合、中間処理場とみなす。

・中継拠点 B：広島県広島市西区

・中継拠点 C：福岡県福岡市東区

全ての中継拠点では荷台内部の目視による確認（発火・発煙）及び写真撮影（積み降ろし作業含む）、直送と積替え輸送における使用済み LIB の積み降ろし作業のシミュレーション、トレーシングのための発・着情報の入力等を行った

#### (4)積載輸送時の測定項目

温度変化と振動値を測定することとした。

①外気温、②トラック荷台内部温度、③輸送対象品の表面温度

④輸送中のトラック荷台振動（前、中、後）、⑤輸送中の輸送対象品の振動

全ての温度、振動測定にはセンサーを用いて測定した。外気温及び荷台内部温度はリアルタイムで監視できるセンサーを利用し、GPS にて輸送経路及び移動状況の確認を行った

#### (5)トレーシング

既存システムを応用し、輸送対象品の輸送トレーシングを行った。

### 1. 3. 4 輸送条件

輸送に用いた車両の仕様は下記の通りである。

- ・10トンウイング車
- ・エアサスペンション装置付き（空気を自由に出し入れすることで走行中の衝撃を緩和）
- ・冷蔵機能および荷台内部温度のリアルタイムでの確認機能付き  
（通常のトラック輸送を想定し、冷蔵機能は使用しない）
- ・アルミニウム製の箱型荷台

排出先（集荷先）から最終納品先までの輸送スケジュールは下記の通りである。

表 1.3-1 輸送スケジュール

#### <運行時間割>

日付	施設	時間	作業内容
10/30	集荷先	13:00	車両到着 & 梱包作業開始
		14:00	車体へのセンサー取り付け
		15:00	積込み
		16:30	トラック出発（高速道路想定）
10/31	中継拠点A	13:00	関西FSC到着（積み降ろしのシミュレーション）
		14:00	トラック出発（一般道路想定）
11/1	中継拠点B	13:00	広島西支店到着（積み降ろしのシミュレーション）
		14:00	トラック出発（一般道路想定）
11/2	中継拠点C	9:00	九州FSC到着（積み降ろしのシミュレーション）
		10:00	トラック出発（一般道路想定）
11/2	輸送先	13:00	納品

### 1. 3. 5 輸送パターン

使用済み LIB の回収において想定されるルートを、まずは物流ネットワークを有する輸送業者における主な輸送形態をベースに想定した。

その中で大きく二つの形態を考えた。一つは、トラックを貸し切る、あるいは将来的には混載も考えられるが、荷受けから目的地まで 1 車で輸送する直送と、もう一つは何箇所もの輸送業者の輸送拠点（中継拠点）を経由して別のトラックに積替えて輸送する、積替え輸送を想定した。

輸送対象物は、LIB ユニット（車載から回収したままの状態）と、LIB ユニットの解体し、モジュールの状態までしたものである。

#### (1) 輸送パターン①（直送）

直送においては、高速道路での走行を想定し、LIB ユニットとモジュールでの輸送試験を行った。高速道路走行中の車体の振動と輸送対象品の振動、外気温と荷台内部温度及び輸送対象品表面温度の測定を目的とした。

#### (2)輸送パターン②（積替え輸送）

積替え輸送においては、一般道路での走行を想定し、車載ユニットとモジュールでの輸送を想定した。一般道路走行中の車体の振動と輸送対象品の振動、外気温と荷台内部温度及び輸送対象品表面温度の測定を目的とした。

全体の経路と、輸送パターンごとの輸送経路を図 1.3-2 に示す。



図 1.3-2 輸送経路と輸送パターンの模式図

### 1. 3. 6 輸送形態

直送と積替え輸送における荷姿は同じ荷姿を設定し、LIBユニットに関しては汎用の資材を用いた梱包を施し、モジュールに関しては汎用の資材を用いた梱包と特殊素材（ドイツ製のLiBa<sup>®</sup>BagとLiBa<sup>®</sup>Box）を用いた梱包を施した。ユニット、モジュールの輸送上の梱包、荷姿の状況をまとめたものを表 1.3-2 に示す。

特殊素材であるLiBa<sup>®</sup>BagとLiBa<sup>®</sup>Boxは、ドイツの消防士が研究開発したものであり、日本での使用実績は無く、その効果に関する検証も行われてはいない。しかし、輸送に関する規制が厳しいヨーロッパではダメージのある車載用LIBの輸送時にエマージェンシー機能（これらの素材の内部は消火剤で処理されており、発火・引火の抑制効果があるため、発煙したものをその中に入れて、鎮火するまで中に保持する）として使用されており、国際輸送時にも使用できるとなっている。その仕様に関しては参考資料として別添する。今回の実験ではリスク回避の一つの案として使用した。

また、図 1.3-4 は実際の荷台への積載図と、温度と振動の測定対象品とセンサー取り付け位置を示す。荷台の振動を測定するためのセンサーは、荷台の位置により振動が異なることを想定し、荷台の前と中間、後の3箇所に取り付け、荷台位置別の振動を測定した。



表 1.3-2 輸送形態のまとめ

輸送形態	輸送単位	荷姿	使用資材
①直送 ②積替え 輸送	ユニット	パレット	1. 梱包有 (エアパツク+段ボール+ppバンド)
			2. 梱包無
		ロールボックス	3. 梱包有 (エアパツク+段ボール+ppバンド)
		バラ (直置き)	4. 梱包有 (エアパツク+段ボール)
	モジュール	パレット	5. エアパツク+段ボール
			6. エアパツク+LiBa Bag
			7. 梱包無
		ロールボックス	8. エアパツク+段ボール
			9. エアパツク+LiBa Bag
		バラ (直置き)	10. エアパツク+段ボール+LiBa Box
			11. エアパツク+LiBa Bag

\* LiBa® Bag



\* LiBa® Box



図 1.3-3 LiBa® Bag、LiBa®Box の外観

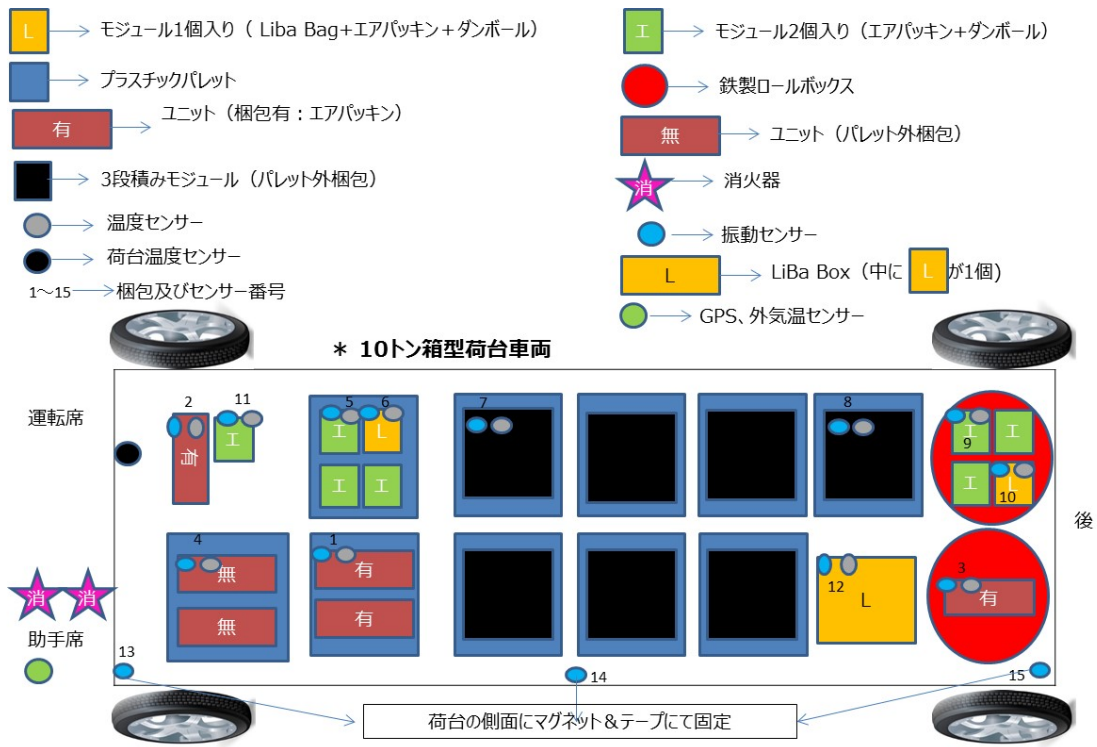


図 1.3-4 トラックの積載状況 (模式図)

### 1. 3. 7 測定項目

本実証実験では①外気温、②車両荷台内部温度、③輸送対象品の表面温度、④輸送中の車体振動（前、中、後）、⑤走行中及び作業中の輸送対象品の振動を測定した。

測定機器の外観を図 1.3-5 に示す。

各対象物の表面温度に関しては 12 台設置し、温度を 1 分間隔で計測した。また、温度センサー（Ontrasys Tag）により、車両荷台内部温度と外気温を 3 分間隔で取得した。測定を行ったのは、10 月末から 11 月であり、外気温そのものはそれほど高くないものの、直射日光等により、積載物の温度が上昇し、熱暴走が起こる可能性がないかどうかを確認することを目的とした。振動に関しては 15 台設置し、3 軸加速度及び合力を 10 秒間隔（10ms 毎のピーク値）で取得した。測定間隔を 10 秒に設定したのは、輸送中というよりは、積み降ろしの際、作業時間が短いため、そこでの振動の値をより正確にトレースするためである。

また、広域輸送におけるその適正な運用・管理のための課題を抽出するため、既存の配送トレーシングシステムを応用し、出荷先から最終納品先までのトレーシングを行った。経路に関しては GPS を利用し、輸送経路及び移動状況の確認を行った。



温度センサー

①Ontrasys Tag、②輸送対象物表面温度測定用

振動センサー

図 1.3-5 測定センサー外観

### 1. 3. 8 安全対策等

安全に対する明確な基準がなく、あくまでも仮説にてリスクと想定した要因(温度、振動、電圧)に対し、輸送前と梱包及び積替え作業中、輸送中における安全対策を設定した。また、円滑な輸送実験のためにドライバーマニュアルを作成した。輸送前の安全対策に関しては、全ての使用済み LIB に放電作業(電圧降下)及び短絡・感電防止のために絶縁処理を行った。モジュールを取扱う際には感電防止のため絶縁手袋を着用して作業するようにし、LIB ユニットの場合には重量物であるため、運搬中の落下を防止するため、二人で作業を行った。輸送中に関してはセンサーを用いて車両荷台内部の温度を監視し、一定時間ごとのドライバーによる目視を行い、ドライバーに対して安全運転の周知徹底を行った。

また、輸送中の荷崩れの際、簡単な補修作業を想定してドライバーに絶縁手袋を支給し、緊急時の行動方針と連絡体制を、マニュアルを作成して通達及び周知させた。そして火災に備えて車両に積載されている消火器以外に蓄圧式粉末消火器 2 本を助手席に積載し、輸送実験を行った。以下、輸送実験での安全対策詳細を示す。

#### (1) 安全対策～事前対策～

##### ・放電作業(減圧)

モジュールに関しては三菱マテリアル株式会社により、1セル 3.5V まで減圧する。

##### ・絶縁処理

輸送対象品である LIB ユニット、モジュールいずれについても、絶縁処理を施す。

##### ・モジュールでの外観チェック

ダメージの無い(事故品ではない)もののみ輸送。目視での確認。

##### ・梱包

汎用の資材を利用し、外部衝撃を緩和(荷崩れ、衝撃)する梱包を施す。

\*資材例：ダンボール、エアパッキン、ラップ、板ダンボール、パレット、PP バンド、ロールボックスパレット、LiBa<sup>®</sup>Bag、LiBa<sup>®</sup>Box (ADR 基準クリア梱包材)等。

##### ・消火器の搭載

火災に備え、消火器を積載(計3本)する。

##### ・絶縁手袋

絶縁手袋を用意し、作業時の安全を確保する。

#### (2) 安全対策～輸送中、積込み、積替え作業時

##### ・梱包作業時

作業前に絶縁手袋を必ず着用し、梱包作業を行う。落下等が起きないように2名にて作業を行う。

##### ・輸送時

荷台にリアルタイムでの温度監視センサーを取り付ける。荷台内部温度が 50℃に

なった場合、ドライバーに連絡し、路肩に車を止め、運行を一時中止して荷台を開けて内部温度を冷やす。

また、一定時間（最長 4 時間）ごとにドライバーの目視確認（荷崩れ、発煙有無）を行い、その結果を試験担当者に報告する（写真撮影含む）。

発火・発煙が発生した場合は、直ちに安全な場所に車両を止め消火活動を行い、その後可能な限り車両から離れ、指定された者に連絡し指示を仰ぐ。

- ・積込み、積替え作業時

全ての作業現場に立会い、作業者に対し、試験の目的と内容を説明し、安全作業の徹底を行う。特に落下及びフォークリフトの爪（物を持ち上げるための部分）での突き刺し等のダメージがないように注意徹底する。万が一落下及びフォークリフトの爪でのダメージが発生した場合には、直ちに LiBa<sup>®</sup>Box にダメージを受けたものを入れて LiBa<sup>®</sup>Box から可能な限り離れて、LiBa<sup>®</sup>Box は輸送実験対象から外す。

### 1. 3. 9 車載用 LIB 輸送試験結果

実際、トレースした輸送経路をまとめたものを図 1.3-6 に示す。この結果、今回の輸送試験の総走行距離は 1,228 km となった。輸送試験の状況を図 1.3-7~11 に示す。

また、代表的な温度センサーと振動センサーの測定結果を表 1.3-3、4 に示す。

輸送試験中、発火や発煙等の異常は認められず、また、最終場所でのそれぞれの輸送物（ユニット、モジュール）の確認においても、特に異常は認められなかった。

全行程を通じて、LIB 表面温度の最大値は 44.2℃であり、60℃を越えないという結果が得られた。一般道で一部温度が高いデータが得られたが、作業で温度が上昇した直後のみである。作業直後のデータを除くと、一般道と高速道では約 20℃以下に収まり、温度のヒストグラムも大きな違いは見られなかった。作業中は温度が高くなる結果が一部、得られた。ユニットではパレットの梱包有（最大 44.2℃）、モジュールではパレットのパレット外梱包（最大 28.9℃）などである。これは、作業中の日射により温度が上昇したためと考えられる。特に 44.2℃まで温度が上昇したのは、車載ユニットの金属面に日射が当たったためと推定される。パレット外梱包以外のモジュールは作業中の温度ヒストグラムに大きな違いは見られなかった。これはダンボールおよび梱包（エアパッキンや LiBa<sup>®</sup>Bag）により日射が影響しなかったためと考えられる。また、モジュールのエアパッキンと LiBa<sup>®</sup>Bag で温度の違いは見られないこともわかった。

振動に関しては、温度に比べ荷姿・梱包資材による違いが少ないことがわかった。作業時は、一般道と高速道に比べ、振動が大きくなることが確かめられた。特に、モジュールのバラ（直置き、エアパッキン+ダンボール）の作業時に、全期間の最大である 21.0G を測定した。モジュールは 1 個約 6kg であることから、約 126 (=6×21) kg 重の力が働いたことに相当するが、6kg の荷物を数 cm の高さから落下させた場合と同等であり、モジュール損傷等の影響はないと考えられる。また、モジュールのバラ（直置き、LiBa<sup>®</sup>Bag+エアパッキン+ダンボール+LiBa<sup>®</sup>Box）は一般道と高速道において、他の荷姿・梱包資材よりも振動のばらつきが大きいことがみてとれた。ヒストグラムのピークも他の荷姿・梱包資材は 0.5G 付近にあることに対して、モジュールのバラ（直置き、LiBa<sup>®</sup>Bag+エアパッキン+ダンボール+LiBa<sup>®</sup>Box）は 1G 付近に存在する。一般道および高速道における最大値も、モジュールのバラ（直置き、LiBa<sup>®</sup>Bag+エアパッキン+ダンボール+LiBa<sup>®</sup>Box）は 4.5G であるのに対し、他の荷姿・梱包資材は 3.2G であった。いずれも、モジュール損傷等の影響はない範囲である。（パレット外梱包でモジュールを段積みした場合、全体の重さは 400kg となるが、個々のモジュールは密着して固定されておらず、振動は各モジュールに分散されて伝わることから、各モジュール（6kg）毎に働く力として考えてよいと思われる。）モジュールのバラ（直置き、LiBa<sup>®</sup>Bag+エアパッキン+ダンボール+LiBa<sup>®</sup>Box）の振動が大きい値を示したのは、LiBa<sup>®</sup>Box 内でモジュールを入れたダンボールをベルトで固定したため、車体の振動が LiBa<sup>®</sup>Box に直接伝わったためと考えられる。また、作業中に 21.0G という最大値になったのは、モジュールが入ったダンボールを取扱いが荒い状況を想定し、そ

れを模擬した積替え作業を行ったためと推定される。

今回の輸送試験では、輸送時の振動と LIB 表面温度に相関関係はなく、LIB 表面温度の最大値は 44.2℃であり、60℃を越えないという結果が得られた。しかし一方で、作業中の日射により LIB 表面温度が 44.2℃まで上昇するということもわかった。44.2℃まで上昇した LIB はユニット状態のものであり、モジュールの最大温度は 28.9℃でダンボール内の車載ユニットの最大温度は 20℃以下なので、パレット外梱包でも日射が影響しない工夫の余地はあると考えられる。

今回の輸送試験は 10 月に実施したが、真夏時に梱包の工夫も含めて検証する必要があると考えられる。また、今回の輸送試験では計測しなかった LIB の電圧についても、検証する必要があると考えられる。

現状のモジュールは電極の位置等が各々異なっているので、実運用時に輸送中の電圧を測定するための治具、設備を備え付けるのは困難を要すると考えられるが、将来的には、温度や電圧等の LIB 内の情報を取得できるインタフェースの標準化等が必要と考える。

今回の輸送試験においては、モジュールであっても特に問題なく輸送する事ができた。





図 1.3-6 輸送経路結果 (合計走行距離 : 1,228 km)



図 1.3-7 輸送試験に用いた 10 トンロングのトラック





図 1.3-8 センサーとその取り付け状況・梱包状況



(a) LiBa Bag の外観と中のモジュールの状態



(b) LiBaBox の外観と中の LIB モジュールの積載状況

図 1.3-9 ドイツ製の LIB 専用容器の試験状況



図 1.3-10 トラックへの積載状況



図 1.3-11 中継地点での積み替え作業状況

表 1.3-3 温度センサー、振動センサーの最大値 (ユニット)

	温度 (°C)				振動 (G : 重力加速度9.81m/s <sup>2</sup> )			
	ユニット内 梱包	ユニット外 梱包	ユニット内 ボックス梱包	ユニット外 梱包	ユニット内 梱包	ユニット外 梱包	ユニット内 ボックス梱包	ユニット外 梱包
一般道-10/30	13.3	13.4	13.4	13.5	1.0	1.4	1.2	1.5
一般道-1031-AM	16.9	16.7	15.2	15.8	0.8	1.3	1.0	1.9
一般道-1031-PM	41.5	21.8	22.8	24.9	1.8	1.3	2.0	2.3
一般道-1101	18.7	19.1	17.7	18.0	2.1	1.3	1.6	1.8
一般道-1102	19.5	19.7	18.7	19.0	1.5	1.4	1.8	1.9
高速道路	15.7	15.9	14.5	15.1	1.4	2.6	1.7	2.3
荷作業-1030	17.3	17.4	17.6	17.7	1.3	5.3	2.4	1.4
荷作業-1031	44.2	21.7	23.2	24.1	1.7	1.6	2.5	1.5
荷作業-1101	19.1	19.1	16.7	17.5	1.5	3.5	1.2	1.4
荷作業-1102-AM	17.1	17.7	16.9	16.8	3.5	4.2	2.1	3.8
荷作業-1102-PM	37.5	21.1	22.8	22.6	1.3	1.7	1.3	0.9

表 1.3-4 温度センサー、振動センサーの最大値（モジュール）

	温度（℃）				振動（G：重力加速度9.81m/s <sup>2</sup> ）			
	モジュール レット梱包	モジュール LiBaBag	モジュール 直置き	モジュール LiBaBox	モジュール レット梱包	モジュール LiBaBag	モジュール 直置き	モジュール LiBaBox
一般道-10/30	15.9	16.0	15.7	16.7	1.1	1.2	1.2	3.5
一般道-1031-AM	13.7	14.0	14.8	12.6	1.0	1.1	1.2	2.1
一般道-1031-PM	17.7	18.3	18.5	20.8	1.8	2.0	2.1	3.2
一般道-1101	16.9	17.3	17.7	17.1	1.6	2.2	1.9	3.2
一般道-1102	17.6	17.8	18.4	17.2	1.8	2.9	1.5	1.8
高速道路	15.3	15.1	15.1	15.6	1.7	1.7	1.8	4.5
荷作業-1030	18.0	18.3	17.9	18.6	3.0	4.9	7.6	9.8
荷作業-1031	15.8	16.7	18.0	16.6	5.0	6.1	3.1	1.5
荷作業-1101	15.1	15.5	15.9	13.6	1.4	1.3	8.1	1.7
荷作業-1102-AM	16.6	16.5	17.0	16.4	10.9	7.6	21.0	10.2
荷作業-1102-PM	19.6	19.1	19.0	17.7	1.0	1.2	3.5	1.2

### 1. 3. 10 車載用 LIB 輸送試験の考察

今回の輸送試験では LIB の特徴を有識者にヒアリングし、その内容から輸送中の安全性に何らかの影響を及ぼすと思われる要因（温度、振動、電圧（エネルギー））を仮説として立てて様々な工夫をし、試験を行った。一般道路と高速道路、直送と積替え輸送、梱包の仕方（汎用資材での梱包、特殊素材）荷姿別に振動・温度を測定し、比較・分析を行ったが、前述の様々な比較対象のどれからも、危険性が増すと考えられた温度（60℃）内に収まり、振動に関しても、結果としては大きな問題は無かったと考えられる。しかし、この試験をもって、輸送上の安全性が確保されたと結論付けるのは難しく、今後も、さまざまな知見、安全性についての試験を行う必要があると思われる。

例えば、輸送には必ず積み降ろし作業が付随する。輸送を実施する側の観点から考えると作業の効率化（コスト、時間）を考える必要があり、フォークリフトでの積み降ろし作業に適したパレットでの作業が効率的であると思われる。ただし、フォークリフト作業の際、フォークリフトの爪が当ることによって衝撃を与えてしまう可能性は 0 ではなく、フォークリフト運転者以外にも管理者が立ち会って安全作業の注意徹底を行う必要があると考えられる。



### 1. 3. 1 1 車載用 LIB 輸送の今後の課題

1.3. 1 の背景でも記述したように、日本では使用済み LIB は産業廃棄物として扱われており、産業廃棄物のリサイクル及び処理（最終処分）は、廃棄物の適正処理を目的とした廃棄物処理法（廃棄物の処理及び清掃に関する法律）と、再生利用の推進を目的とした資源有効利用促進法に基づいて行うようになっている。

また、産業廃棄物処理の流れを確認すると、産業廃棄物は①収集運搬、②中間処理、③最終処分の 3 つの工程をたどって、リサイクルに回されたり、最終処分（埋め立て等）されたりしている。排出場所から産業廃棄物を適切に処理できる場所まで運ぶ必要があり、この運搬と産業廃棄物処理業者が収集に回ることを総称して①収集運搬という。その後、産業廃棄物は最終処分またはリサイクルしやすくするため、産業廃棄物を小さくしたり（減容という）、再利用できるものを取り分けたり（選別という）する必要がある。産業廃棄物に物理的・化学的エネルギーを加えて上記のように産業廃棄物の状態を変化させることを総称して②中間処理という。中間処理には、産業廃棄物の減容のために粉碎や焼却を行ったり、産業廃棄物の無害化を行う中和や溶解などの技術が用いられている。中間処理を経て、最後に残った産業廃棄物は③最終処分されることになる。

当然ではあるが、産業廃棄物を処理（リサイクル・最終処分）するためには必ず収集運搬作業が発生する。そしてその収集運搬のためには、収集運搬する業者が各都道府県において許認可を受ける必要がある。前に記したように使用済み LIB は産業廃棄物であり、日本国内には使用済み LIB（モジュール、純粋なる電池）の処理可能なプラントが数少なく、日本の地形からも複数の都道府県をまたがる広域輸送（遠距離輸送）が発生する。すると、収集運搬する業者はまたがる全ての都道府県から許認可を受けないといけないが、現状そのような輸送は非現実的とされている。このような現状に対し、図 1.3-13 の赤い点線で囲まれている領域において広域認定制度という特例が定まっている。

広域認定制度とは、主に製品の製造事業者等（製造・加工・販売等の事業を行う者）が、廃棄物となった自社の製品をユーザーから回収してリサイクルすることを目的とした制度であり、製造者は製造物責任の観点から、製品が使用済みとなった後の回収リサイクルまで提供する（申請者である製造事業者等が、当該廃棄物の処理の一部又は全部を他人に委託して行う場合も本制度の対象となる）。広域認定はそれを実現する手段として活用されており、前述したように、廃棄物の収集運搬をするためには許認可が必要だが、廃棄物処理法の特例として、広域認定を受けた場合は許認可が不要となる。日本全国から廃棄物を回収するためには、産業廃棄物は 47 の都道府県、一般廃棄物は 1000 以上の市町村から許可を受けなければならないが、広域認定の場合は国（環境大臣）の認定だけで回収が可能となることが特徴である。また広域認定の主な条件としては、（1）申請者は製品の製造事業者等であること、（2）申請者が最終処分まで統括管理できること、（3）申請者が当該廃棄物の処理の一部又は全部を他人に委託して行い、又は行おうとする場合には、経理的及び技術的に能力を有すると認められる者に委託すること、（4）運搬中に腐敗や揮発等の性状変化で生活

環境の保全上支障が生ずる恐れが無いこと、(5) 回収リサイクルする対象は自社が製造・加工・販売する製品であること、(6) 2つ以上の都道府県の区域で広域的に回収すること、(7) 可能な限りリサイクルするスキームであること等が挙げられる。このように条件付きではあるが、広域認定制度は、産業廃棄物の広域輸送における許認可が必要ないこと、国(環境省)から許認可を受けるため安心して廃棄物を委託できること、高い再資源化率でリサイクルされることなどのメリットがある。

ここで使用済み LIB における広域輸送に関わる現状と問題点を確認すると、現に環境省では使用済み LIB を産業廃棄物として認めており、広域認定制度を利用すべきではあるが、自社でロジスティクスを持っていない中小の製造事業者等又はネットワークを有する輸送業者は本制度に基づいた運用及びその維持・管理になかなか乗れていない。その理由として大きく、広域認定制度の規制・規定、使用済み LIB の輸送における安全性、高いコストという課題が挙げられている。

先ず、規制と規定だが、申請を行う際に必要な内容として、認定を受けようとする者(委託を受けて処理を行う者を含む)の一覧表が必要であり、その内容は委託を受けた者の(収集運搬等の処理に関わる全ての拠点・支店における)名称、代表者の氏名、住所等であり、審査終了後認定を受けた際、そのまま認定書に記載され、認定書は収集運搬を行う車両に積載する必要がある。又、認定を受けた後、委託を受けた者の名称、代表者の氏名、住所等に変更がある場合には、当該変更の生じた日から10日以内に変更の届出書を環境大臣に提出しなければならないが、申請から許可まで最短3ヶ月(実際は3ヶ月以上)とされており、変更事項発生等を考えると、申請から許可と変更届、変更届から変更届の間にタイムラグが発生し得る。その他に車両への表示(社名、広域認定番号、産業廃棄物の運搬車両である旨等)が義務付けられている。しかし、本報告書の背景でも記述しているが、LIBが持つメリットと環境への関心が高まったことから、LIBは急速に普及され、特に車載用LIB市場はこれからも堅調に伸びると見込まれており(使用済みLIBの排出量も増えていく)、使用済みLIBの排出先(自動車販売店=自動車整備工場数)は全国で90,000店以上とも言われていて、この数は日本のコンビニ数より多い。その多くの場所から収集運搬するためには輸送業者のネットワーク(拠点、車両等)が必要だが、その輸送業者が有する全てのネットワーク(全国をある1社の輸送業者のみではカバーできないが、適正輸送の確認のためのトレーシングシステムなどは各社共有できるシステムがないため、その輸送業者が有する全てのネットワークと仮定する)を当該制度の規制・規定を遵守しながら運用・維持管理することは非現実的とされている(ある全国ネットワークを持つ輸送事業者を例で挙げると全国5,000箇所の拠点、5万台の集配車両、人事異動等)。また、ネットワークを有する輸送業者は混載を主流としており、そのネットワークは多くの外部協力会社によって成り立っているものの、広域認定制度では申請者から委託を受けた者が他の者にその業務を再委託することを適正な処理が行われない可能性(不法投棄など)から禁じている。さらにその輸送業者は当該廃棄物に関する知識・技術を持っているわけではなく、企業秘密として製造事業者

等からの情報開示も不十分である（広域認定制度の主な条件（3）に該当）。

次に使用済み LIB の広域輸送（一時滞留＝保管、取扱も含む）における安全性だが、現に輸送業者は広域輸送を行う場合、中間拠点を立てて集約し、各方面に分かれて輸送を行っているが、一時的ではあるものの、中間拠点に輸送対象品が滞留することが想定される。使用済み LIB はその電解液量によって危険物施設にて保管（貯蔵及び取扱）及び適切な輸送を行う必要があるが、電解液量がどれくらいかの情報がない場合が多く、他法令（消防法）におけるコンプライアンスを厳守することも厳しいのが現状である。例えば、表 1.3-5 (p57) を基に仮定すると、1 セルの電解液量が 0.1 リッターで、12 セルのモジュールが 4 個搭載された車載ユニットの場合、車載ユニット 1 台当りの電解液量は 4.8 リッターである。消防法上での LIB の位置づけから、指定数量は 1,000 リッターであり、少量危険物は 1/5 の 200 リッターであることから、保管に関して一般貨物として扱うことのできる（規制が存在しない）200 リッター未満での車載ユニットの MAX 台数は 41 台である。現状の輸送業者の中間拠点設備（一般の建物＝危険物施設でない）と今後の大量排出を考えると、何らかの仕組み（IoT 等）を作り、対策を講ずる必要があると予想される。

また、輸送業者はメーカーではないため、LIB に対する知識・技術のノウハウが少なく、車載用 LIB メーカー及び車メーカーからも新品以外（使用済み LIB）における安全性に関しては、定量的基準が提供されていないのが現状である。その理由としては使用済み LIB がどのように使われたかに関する情報がないこと（トレーシングできていないこと）と車両から車載 LIB が外された（解体された）場合の安全性が考えられる。

図 1.3-15 に示すように、解体される前の状態であれば、車両搭載のコントロールユニットと LIB ユニットが連携して総合的に充電、出力、その他を制御するが、解体すると車両側との総合制御がなくなり、LIB ユニットの保護制御ができなくなる可能性がある。このため、自動車メーカーは車両搭載状態以外では車載用 LIB の性能や品質を保証することが難しい。つまり、使用済み LIB を取扱う（輸送や分解など）際は保護制御が機能せず、安全性が損なわれている可能性がある。今回の輸送実験では車メーカー及び小型 LIB の有識者にヒアリングした内容（LIB の一般的特徴）を基に仮説を立てて、想定できる事前処理（絶縁、減圧等）実験を行い、事故（発火・発煙・類焼等）無く終了したが、とはいえ、それが安全であるとは言えない。LIB のリスクに関して想定される全ての要因に対して実験したわけでもなく、商品以外（積み降ろし作業、保管方法、季節による外気温等）でのリスクに関しても全てを検証できたわけではない。使用済み LIB を、ネットワークを有する輸送業者を利用して収集運搬・処理する場合、遠距離輸送中の発火・発煙は輸送業者が一般製品と混載して扱えるかの一つの基準になり、何よりも、リスクを管理できない場合には人命に関わる重大事故になり得る。勿論、廃棄物と一般貨物との混載が可能か、輸送業者側の課題も存在する。今後の大量排出を輸送業者の観点から考えると輸送における安全性は定量的な基準が必要と思われる。しかし LIB メーカー及び輸送業者、梱包素材メーカーなど、様々な関係業界が一丸となり、使用済み LIB の輸送上の安全性に関して議論及び実験等を行う



ことは少ないのが現状である。

コストに関しては、詳細は後述するが、直送より混載のほうが低コストである。しかし、現状の広域輸送（広域認定制度を利用した輸送も含む）の輸送形態をみると、廃棄物と一般貨物の混載可否と広域認定制度上の規制に縛られ、混載ではなく、車を貸し切ったチャーター便（直送）にて行われているケースが多い。また使用済み LIB を処理するためには、必ずトラックでの輸送（回収）が発生するが、当然そこにはコストが発生する。広域認定制度の主な申請者（製造事業者等）はそのコストを支払うためにエンドユーザーにコストを負担させる可能性もある。エンドユーザーがそのコストまで負担することになると、当然、販売価格が上がる可能性もある。現状の車離れ傾向が強くなっているという背景もあり、LIB を搭載した車（HV など）における LIB 処理費への価格転嫁が、その普及に影響を及ぼすことも考えられる。それは CO<sub>2</sub>排出の観点からも LIB を搭載した車を推進したい国の思惑とは反する結果である。

さらに広域認定制度の規制・規定を守る（全てアナログで管理を行う必要がある）ための管理費用や労働人口減少の現状を考えると、使用済み LIB を広域認定制度にて輸送する場合、多くのコストが発生するため、ネットワークを有する輸送業者も、ネットワークを有しない中小の輸送事業者、それを利用する製造業者等も、運用を行うには負担が大きいのが現状である。

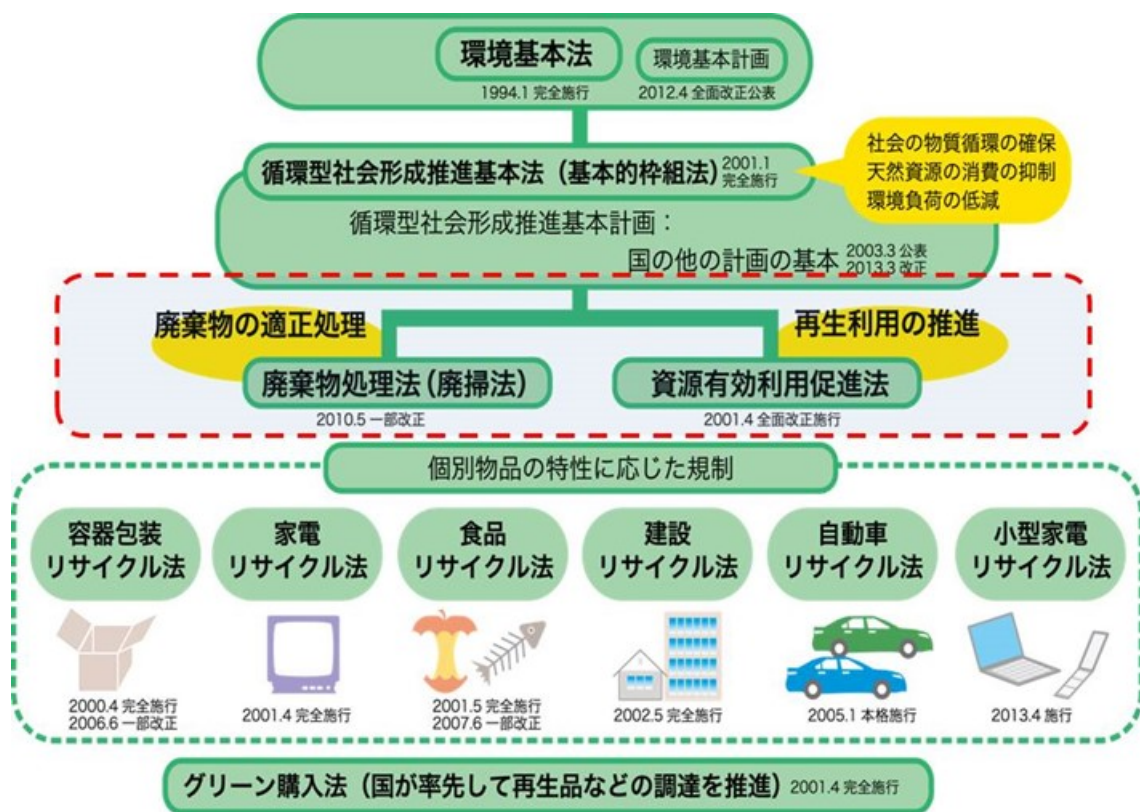


図 1.3-13 現行の法律の概要図 (引用元：国立研究開発法人 国立環境研究所 HP)

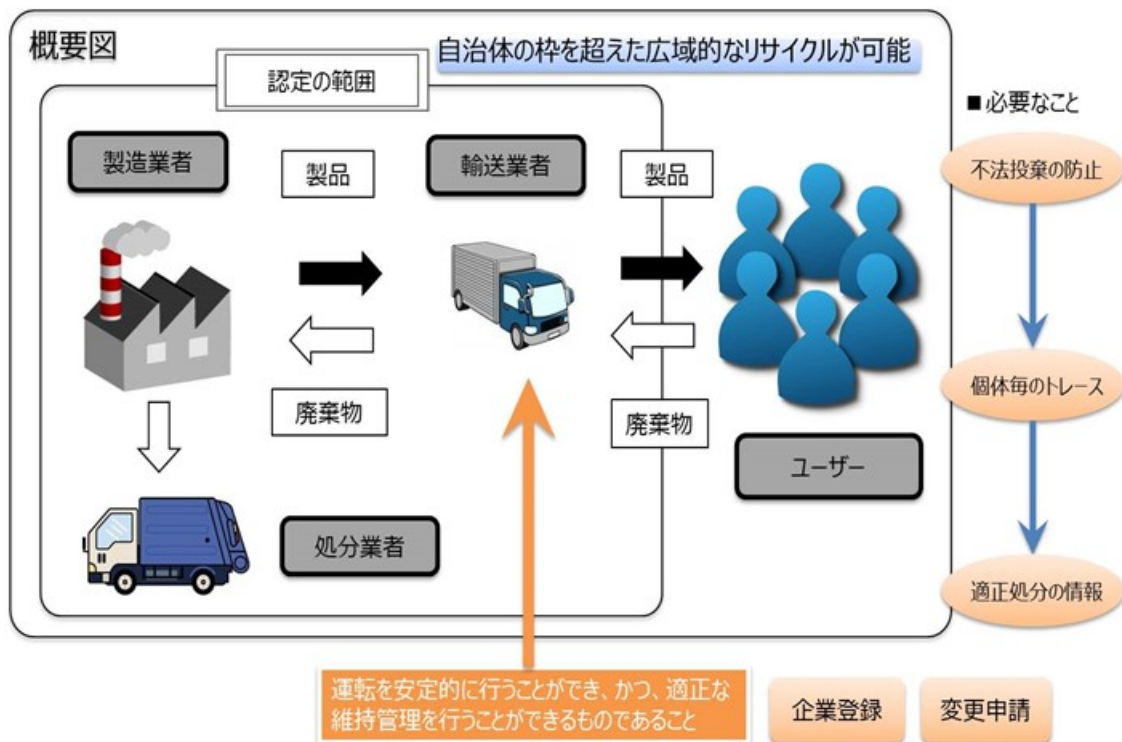
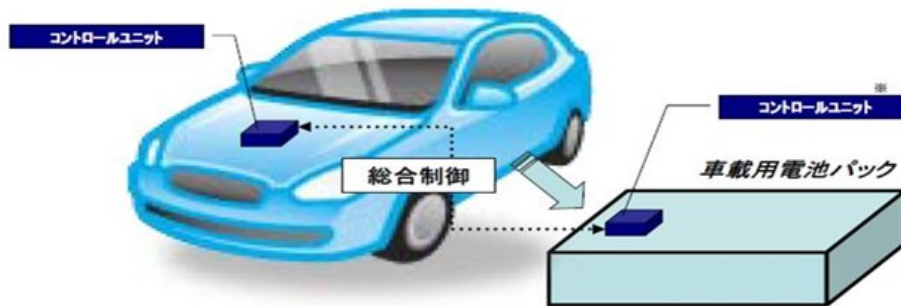


図 1.3-14 広域認定制度の概念図

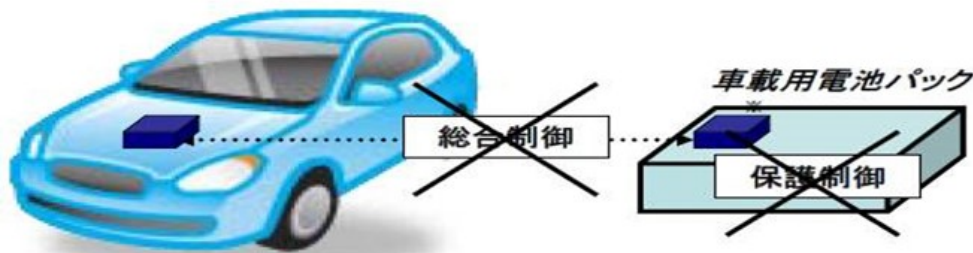
表 1.3-5 消防法による LIB の種類と特徴

\* 消防庁のリチウムイオン電池に係る危険物施設等の安全対策のあり方についてから抜粋

種類	特徴	電解液量等	エネルギー密度	用途
円筒型	大きさ：直径18mm、長さ65mm 外装：金属缶	液体で封入されている。 電解液量は約2ml程度。	最大で600Wh/l程度	パソコンのバッテリー等
角型	大きさ：厚み5mm、幅40mm、高さ50mm程度 外装：金属缶、樹脂製		400Wh/l程度	携帯電話等
	ラミネート型	大きさは角形とほぼ同じであるが、外装がラミネートフィルムで作られている。	液体で封入されている。 電解液量は約100ml。	200Wh/l程度
		大きさ：長さ250mm、幅140mm、高さ9mm程度 外装：ラミネートフィルム	ゲル状の電解液が封入されている。	400Wh/l程度
		固体の材質に電解液を含浸させた状態で、電極と積層されている。	170Wh/l程度	電気自動車



(a) 解体前のLIBユニット



(b) 解体後のLIBユニット

\* 自動車工業会「使用済み自動車由来リチウムイオンバッテリーの安全性確保について」の補足説明資料より抜粋

図 1.3-15 LIBユニットの制御における考え方

### 1. 3. 1 2 LIBの新たな集約処理方法への提言

先ず使用済み LIB の広域輸送に関わる問題点に関してもう一度、整理する。前述のように、使用済み LIB の回収及び処理のためには広域輸送が必要であり、ネットワークを有する輸送業者が必要とされている。広域認定制度は前述のように、廃棄物を広域にわたり輸送する際、各都道府県から廃棄物の収集運搬に関する許認可を受けなくても済むという制度であるが、登録内容の変更等の手続きが、運用上、非常に煩雑となっている。したがって、広域認定制度は、広域になればなるほど、物量が増えれば増えるほど、物流網の構築としては課題が多いと感じられる。また、排出先から車載ユニットにてリサイクル工場・処分場等まで輸送する場合、LIB 以外の物を別のプラントに輸送するなどの 2 次輸送が発生し得る。輸送（収集運搬）に関しては、ネットワークを有する輸送業者が、廃棄物と一般商品を混載することは難しいため、専用チャーター便（ルート回収）が現実的と思われる。

前述の内容を考慮し、現実的な広域輸送方法の概念図を図 1.3-16 (p61) に示す。広域認定制度を利用する前提で、ネットワークを有する輸送業者が、全国の排出先から車載ユニットのまま、専用のチャーター便にて回収を行い、中間処理場（集約拠点）に集める。集められた使用済み LIB は、中間拠点にて車載ユニットをモジュール（純粹なる電池部分）とその他（筐体、バスバー、基板等）に解体、LIB 以外のは既存のリサイクラーへ送る。モジュールに関しては、電圧等をチェック（検品）し、リユース可能なものはリユース施設に、リユースできないものに関しては LIB のリサイクルプラントに送る。各々の処理がなされ、再資源化できたものは、将来的には再び電池材料へ戻す事も可能であり、循環の輪の中でメーカーに販売されることで効率的な資源活用ができるものと思われる。

しかし、図 1.3-16 はあくまでも輸送フローのみのイメージであり、広域認定制度の規制（再委託禁止＝不法投棄の恐れ、登録業者の管理等）や使用済み LIB が消防法（他法令）上、保管と取り扱いにおいて電解液量が一定数量を超える場合、危険物として定義されており、危険物施設にて保管・取扱を行う必要があることに関しては考慮されていない。今後の使用済み LIB の大量発生の際、必要とされているネットワークを有する輸送業者が、広域認定制度の規制や消防法を厳守しながら収集運搬等を行うためには、何らかの仕組み（トレーシング含む）が必要と思われる。そしてそのシステムはある一社だけではなく、使用済み LIB のリユース・リサイクルに関連する業者全てがお互い共用できるシステムでなければならない。

図 1.3-17 (p61) は使用済み LIB の今後の適正な回収・処理のためのシステムイメージ（全体概要図）である。また、図 1.3-18 はリサイクル・最終処理場までの輸送システムの概要を示す。

概要を説明すると、システムでの運用を管理する使用済み LIB 引き取り受付センター（引取受付センター）を設け、各メーカー及び解体業者、ネットワークを有する輸送業者や中間処理場、最終処理場に其々 ID を付与し、INTERNET 環境にて適正な輸送・処理を運用・管理するものである。広域認定制度に関わる又は対象となる使用済み LIB の製品情報（型

番ごとの電解液量、サイズ、重量等)と解体業者(社名、住所、連絡先等情報)、ネットワークを有する輸送業者(収集運搬を行う全ての拠点及び業者情報)情報、中間処理場と最終処理場の処理能力(現状含む)をデータ化する(輸送業者、中間処理場、最終処理場での作業(輸送含む)情報等は携帯端末等を用いてシステムに自動登録される)。

図 1.3-18 に示すように、解体業者は自分の ID にてシステムにログインし、排出する使用済み LIB の型番、数量、引取り希望日等を入力することで回収依頼(引取り依頼)を行う。システムはその情報に対し、データ化された各輸送業者の情報や中間処理場の情報、製品情報を検索し、中間処理場及び輸送業者、サイズを確定する。そしてその情報は引取受付センターに自動送信される。ここで、データ化された製品情報と中間処理場の情報を基に、危険物としての適切な調整が自動的に行われる。受け付けられた回収依頼は、引取受付センターが輸送業者に伝達し、集荷依頼を行い、確定した集荷予定日を解体業者に回答する。

輸送会社は図 1.3-19 に示すような、集荷依頼の情報に基づき、解体業者から使用済み LIB を専用配送車で集荷し、中間処理場に配送する。集荷の際、輸送会社は配送伝票番号を発行し、解体業者はその伝票番号を用いて図 1.3-20 に示すように、輸送状況を参照することができる。

ここで、集荷及び配送業者は事前登録している業者のみであり、また、輸送状況の見える化(トレーシング機能)にて適正輸送業者であることが確認できる(図 1.3-21 を参照)。又輸送業者にも ID を付与しているので、代表者名等が変わった拠点の場合、その拠点にて速やかに情報更新し、更新した内容は引取受付センターに自動送信される。

配送された使用済み LIB は、図 1.3-22 に示すように、中間処理場にて受け取り・保管を行い、その情報をシステムに入力する(端末による自動入力)。保管の際には型番バーコードを添付して保管する。

中間処理所ではモジュールとその他に解体し、その際モジュールに型番が無ければモジュールにバーコードシールを貼り付ける(トレーシングのため)。またモジュールの検品を行い、その結果によってリユース施設・最終処理場(リサイクル)に輸送を振り分けて行う(図 1.3-23 参照)。モジュール以外は(鉄、バスバー、基板等)当該リサイクルが可能な施設に送る。また、解体後の部品の在庫情報を管理することが出来る(図 1.3-24 参照)。

中間処理場からリユース、リサイクル工場あるいは最終処理場、その他(鉄くず等)のリサイクルプラントへの輸送も同様に行う。最終処理場においては熱分解等の処理前の段階まで本システムと連携し、処理後に関しては範囲外とする。最終処分場(リサイクルプラント含む)でのシステムのイメージを図 1.3-25 に示す。

前述の輸送フローではコストと環境負担を減らし、システムにて使用済み LIB の輸送及び処理の管理をすることで広域認定制度の規制や消防法上での規制をクリアできるのではと思われる。しかし、本システムを構築するためには先ず、膨大なビックデータを作成する必要があり、使用済み LIB の広域輸送に関わる全ての業者らが一緒に作り上げる必要がある。それは決して簡単なことではない。又、輸送フローの中間拠点はネットワークを有する

輸送業者の拠点をを用いることを想定しているが、その中間拠点は危険物施設ではなく一般倉庫が殆どであり、施設改築に伴うコストも課題と思われる。又、モジュールへの解体及び輸送はその安全性に関しても検証されていない。課題は多いが、今後において使用済み LIB が大量発生することは事実であり、現在、使用済み LIB の適正な処理のためのスキームは各関連会社が個別に検討・運用していることを考えると、使用済み LIB を適切に輸送・処理するための一つの案として、検討してみる価値はあると思われる。



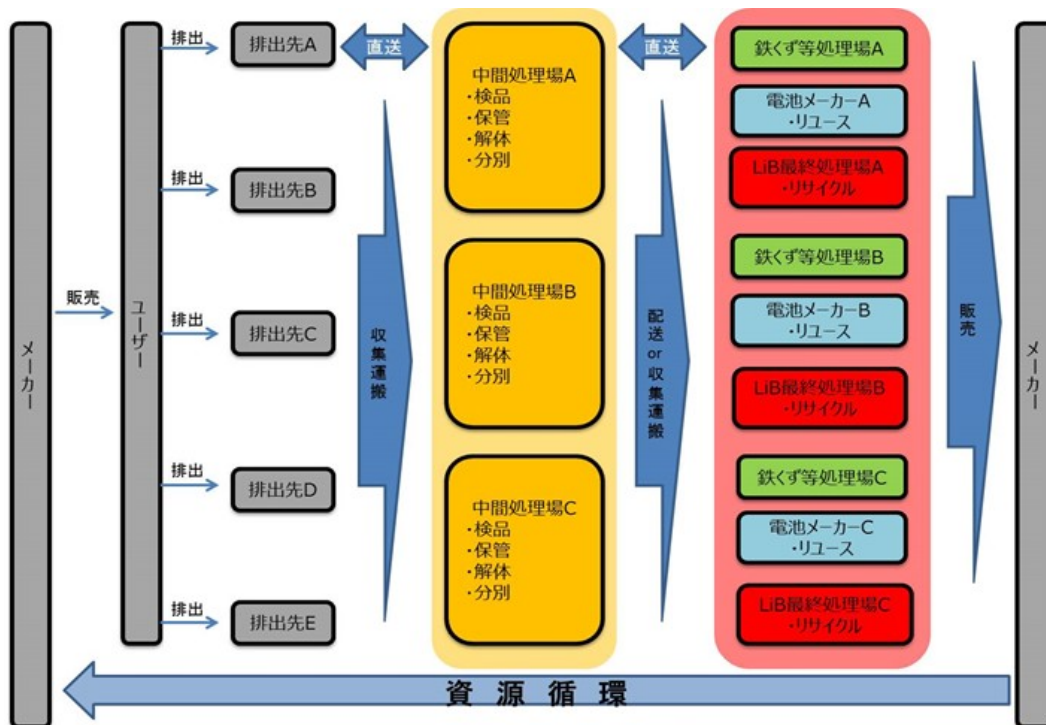


図 1.3-16 広域輸送フローイメージ



図 1.3-17 LIB回収のシステム提案



図 1.3-18 LIB 回収依頼イメージ（概念図）

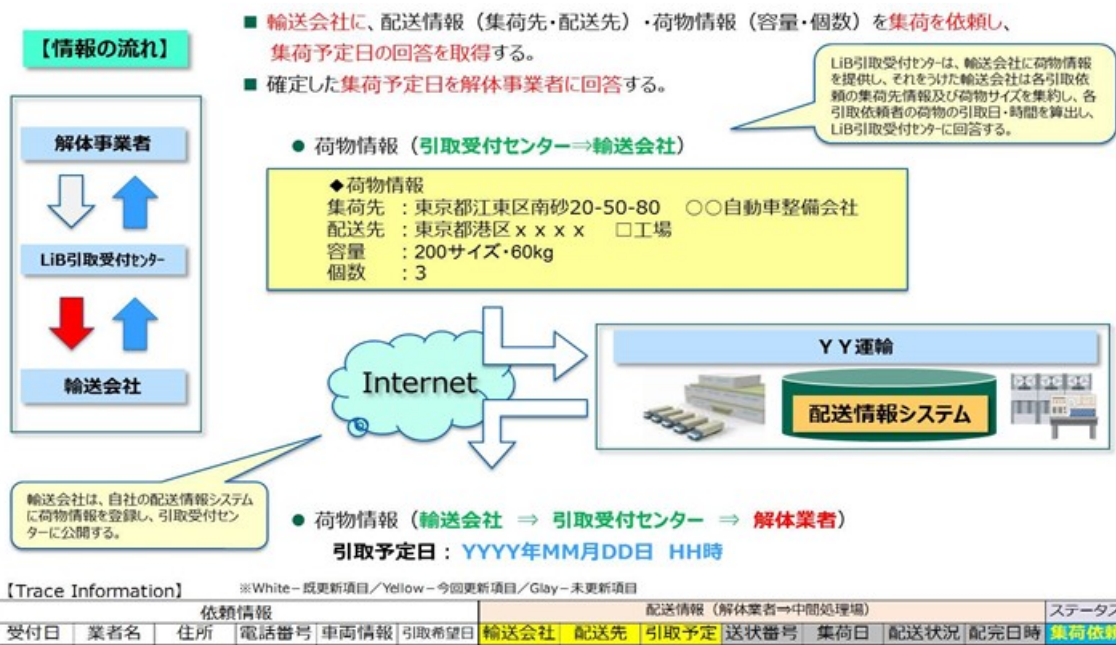


図 1.3-19 集荷依頼イメージ（概念図）



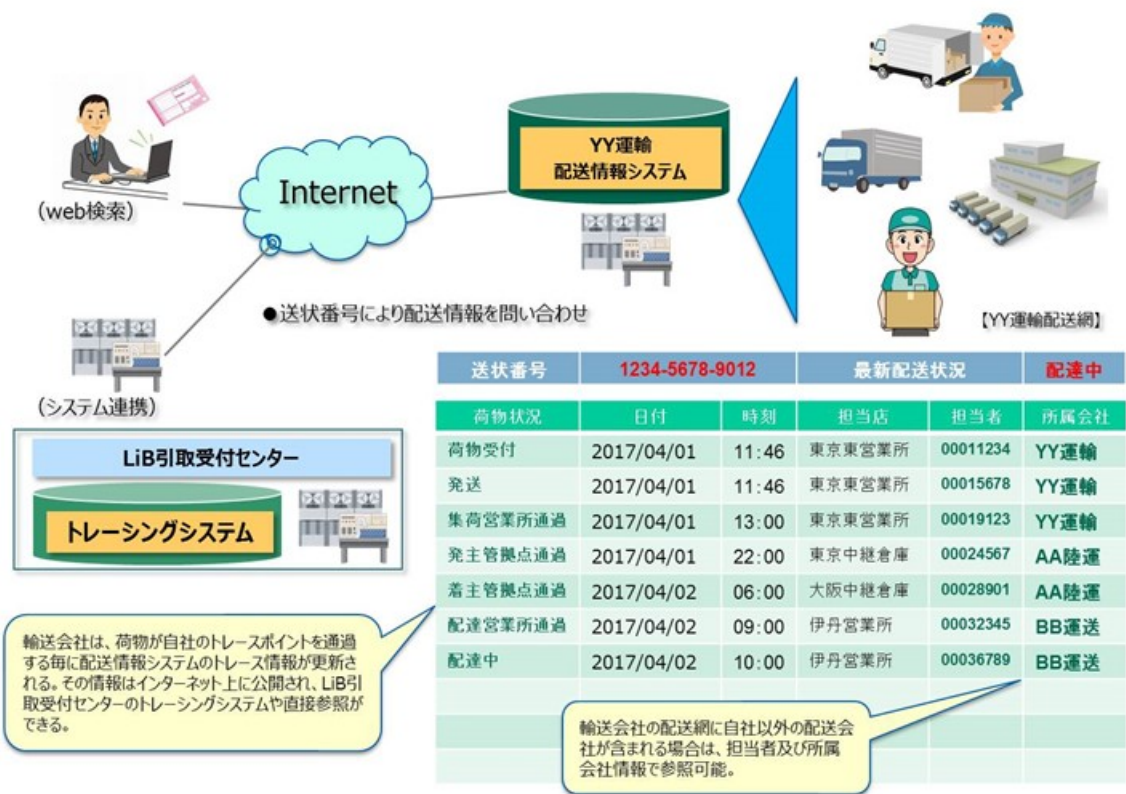


図 1.3-20 輸送状況確認イメージ (概念図)



図 1.3-21 輸送状況見える化イメージ (概念図)

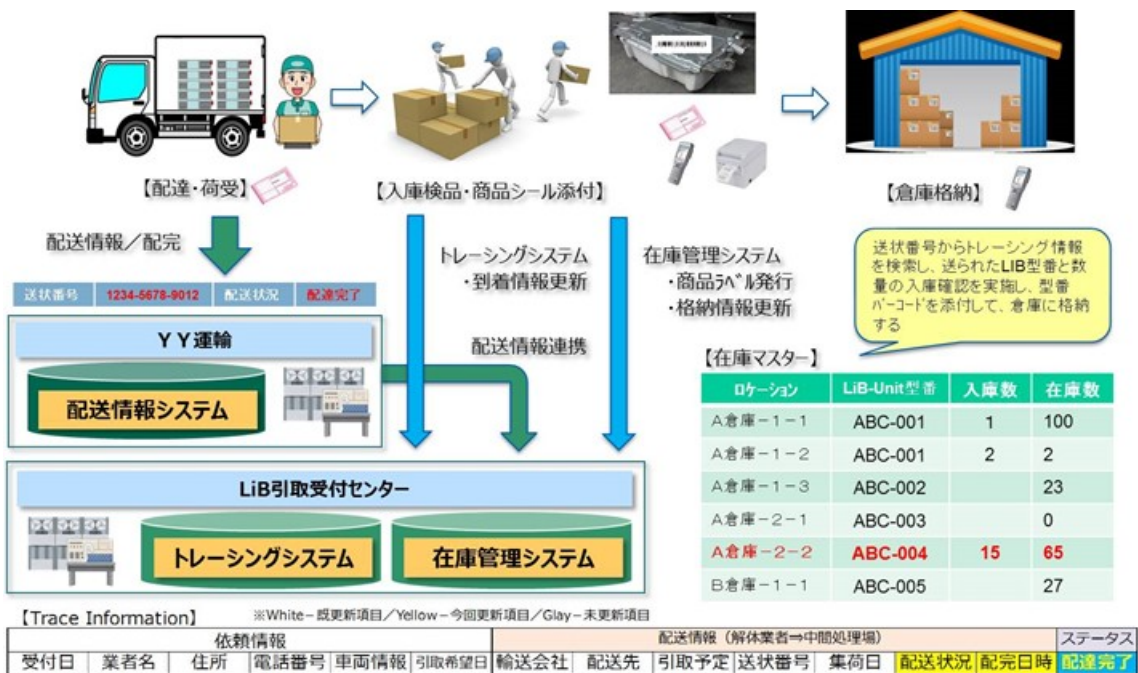


図 1.3-22 受取・保管イメージ (概念図)

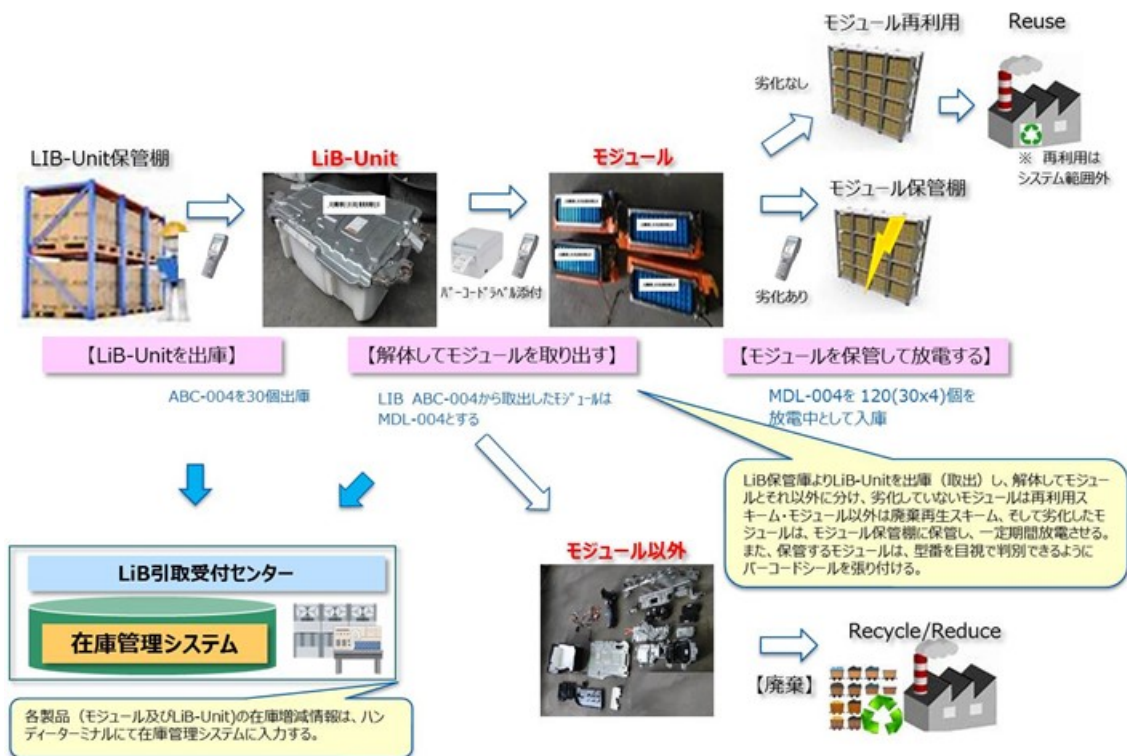


図 1.3-23 解体イメージ (概念図)



在庫マスター (LiB-Unitの在庫)

ロケーション	LiB-Unit 型番	前日 残	入庫 数	出庫 数	在庫 数	最大 在庫	受入 可能
A-1-1	ABC-001	99	1		100	100	0
A-1-2	ABC-001	0	2		2	100	98
A-1-3	ABC-002	0			23	100	77
A-2-1	ABC-003	0			0	100	100
A-2-2	ABC-004	50	15	30	35	100	65
B-1-1	ABC-005	27			27	100	73

在庫マスター (モジュールの在庫)

ロケーション	モジュール 型番	前日 残	入庫 数	出庫 数	在庫 数	放電 中	出庫 可能
MA-1-1	MDL-001	10			10	10	0
MA-1-2	MDL-001	20			20	10	10
MA-1-3	MDL-002	30			30	15	15
MA-2-1	MDL-003	40			40	0	40
MA-2-2	MDL-004	50	120		170	120	50
MB-1-1	MDL-005	60			60	20	40

LiB型番よりLiB型番情報テーブルより構成されるモジュール型番及び構成数を検索し、モジュール在庫に展開する。  
※また、構成される正極材情報・溶媒情報・有機溶剤量は、倉庫内の危険物保有量の算出に用いる。

LiB型番情報テーブル

メーカー	LiB-Unit 型番	サイズ	重量	モジュール 型番	モジュール 個数	サイズ	重量	正極材 情報	溶媒情報	ケース材 情報	有機 溶剤量
YY自動車	ABC-000	190	45	MDL-000	2	50	4.2	Co/Mn	第二石油類	樹脂	3.8
YY自動車	ABC-001	195	50	MDL-001	2	55	4.5	Co/Mn	第二石油類	樹脂	4.0
YY自動車	ABC-002	197	55	MDL-002	4	56	4.7	Co/Ni	第二石油類	樹脂	4.2
YY自動車	ABC-003	198	57	MDL-003	4	58	5.0	Co/Ni	第一石油類	鉄	4.4
YY自動車	ABC-004	200	60	MDL-004	4	60	6.0	Co/Ni/Mn	第一石油類	鉄	5.0
YY自動車	ABC-005	210	62	MDL-005	6	65	10.0	Co/Ni/Mn	第一石油類	鉄	5.5

図 1.3-24 解体後の在荷情報の遷移イメージ (概念図)

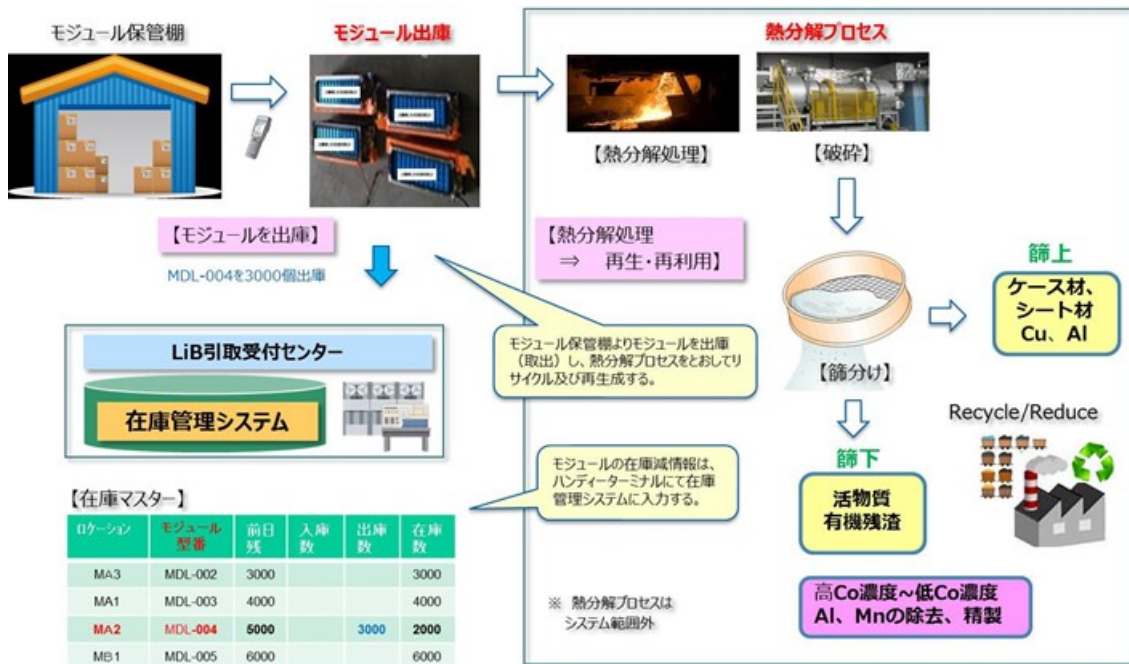


図 1.3-25 処理場でのシステムイメージ (概念図)

### 1. 3. 13 輸送試験のまとめと今後の課題

LIB 輸送の大きな問題点は、使用済み LIB がもつ特性（使用経緯が分からない、高エネルギー、電解液等）から輸送上・取扱上の安全性が担保されていないことが挙げられる。今回の試験においては、車メーカー及び LIB の有識者にヒアリングを行いながら、LIB の一般的な特徴から一つの前提条件を設け、その条件の下で試験を行った。具体的には LIB の危険性として挙げられる、「熱暴走」と呼ばれる現象に対し、輸送中の衝撃による短絡及び外部温度の上昇が原因となる可能性があるという考えの下、輸送業者の観点からそれを防ぐための運ぶ手立てについて検証した。ただし、今回、設定した条件については、今後、車メーカー、電池メーカーや他の輸送業者も含め、さらに詳細な試験や検証、条件の検討を行う必要があると考えている。

しかし、ともあれ、今回の試験においては、条件の妥当性に関する議論の余地はあるものの、設定した温度と振動の影響に関して、輸送形態及び運ぶ手立て（梱包、輸送単位（車載ユニット、モジュール）、走行道路等）が輸送中に大きな影響を与えるものではないとの結果が得られた。課題としては、季節による外気温及び荷台内部温度の変化、作業中の日射による表面温度は、特に夏季での検証が必要と思われる。測定データに関しては、発着地お呼び輸送拠点での作業において、作業員が少々荒く取扱った場合（最大振動値の 21G）や実験の諸設定（輸送トレーシング、輸送形態及び梱包法方による温度変化、作業時の温度変化等）において様々な状態でのデータが取得できたことは今後の検証のベースとなる事が出来ると思われる。また、実験前に想定していた内容と違うデータ、例えば荷台の振動は後ろが一番大きいだろうとの想定が異なっていたこと、作業中の日射による温度変化は想定できていなかったこと等は興味深い事実である。

今回の実験では様々な設定におけるデータが確認でき、仮説の妥当性に関しての議論の余地はあるものの、一つのデータとしてその価値を有するものと思われる。しかし、実験できなかったことなども多々あり、今後も今回のような様々な実験を積み重ねることで安全性に関する定義作り等が必要ではと思われる。

今後の課題としては、LIB に直接かかわっている電池メーカー、車メーカーの視点や知見を取り込んでの試験を行っていくことが業界全体の輸送の安全性を考える上では重要であると思われる。また、安全性においては加圧に関する検証や季節による影響（温度）、使用済み LIB を大量に輸送する際、発火した場合の爆発力等に関しても今後検証する必要があると思われる。輸送における梱包についても、梱包関係のメーカーの知見を取り入れながら、低コストで、作業効率よく、使用済み LIB を運べる手立てを工夫することも必要と考えられる。

また、輸送途上、あるいは最終のリサイクラーでも必要となる保管場所に求められる環境（湿気・温度調整機能の必要有無、）や梱包・積み降ろし等の作業時のリスク管理に関しても更なる議論が必要と思われる。輸送中の状態モニタリング方法に関しても、より適切な方法に関して多くの関連業者のヒアリング及び検証を行う必要もあると思われる。

最後に、広域輸送に関する法規制（広域認定制度）や消防法上での危険物扱いに関しても、人の手による管理では限界があり、今後使用済み LIB が大量に発生する時に備え、IoT による何らかの仕組み（システム）が必要と思われる。しかし、現にそのようなシステムは存在せず、今後、関連各社が集まって討論し、一緒に作り上げることも必要と思われる。

現在、使用済み LIB の安全性に関するはっきりした基準がなく、その基準は、今回のような実験の積み重ねにより、確立されていくものと思われる。今後に関しては車載用 LIB メーカーも含めた討論及び実験が必要であり、今回の実験で実験できなかった又は抽出した課題を、ネットワークを有する輸送業者の観点からだけでなく、関係各者が会話し、検証を続けることで、地道に解決していくことが重要と思われる。

## 1. 4 Co、Ni の回収方法の検討

### 1. 4. 1 Co のリサイクルの背景

Co の世界埋蔵量は、約 700 万トン（純分）と推定されており、埋蔵量はコンゴ（49%）、オーストラリア（20%）、キューバ（14%）、ザンビア（3.9%）、ロシア（3.6%）、ニューカレドニア（3.3%）でこの 6 か国で約 94%を占めている。鉱床としては、コンゴとザンビアの堆積性層状銅鉱床、オーストラリア、ロシア及びカナダの銅・ニッケル鉱床、キューバ及びニューカレドニアのニッケル・ラテライト鉱床などがあり、基本的には銅、ニッケルの副産物として採掘される。

世界のコバルト鉱石の生産量は、1999 年には 25,700 トンであったが、2007 年には 62,300 トンに増加した。これは世界的に LIB 需要の好調を反映している。これからさらに 2025 年に向けて世界的な EV 化が進むと、コバルトの産出国は限られているため、世界的に Co の枯渇が懸念されている。

日本国内における Co の利用先について、図 1.4-1 に示す。この図から分かるように、現在の日本においては、Co はその 73%が LIB に使われている。日本国内では Co はほぼ 100%輸入に頼っている。

これらの現実を踏まえ、小型の LIB（携帯電話、パソコン等）を含め、今後、大量廃棄されるであろう車載用 LIB からの適正な Co、Ni の回収と、その再利用、可能であるなら、電池材料として再生する事が、資源の問題を解決する方法であると考えられる。

以下、Co のリサイクルという観点から、LIB から Co、Ni を回収するための間処理方法について調査、検討を行った結果を示す。

今回の検討においては、実際の Co、Ni の抽出までは行っておらず、それは既存のプロセス（溶媒抽出法）によって十分に回収が可能であると考えている。

しかし、そのプロセスの全体像については、今回の検討の範囲外とした。

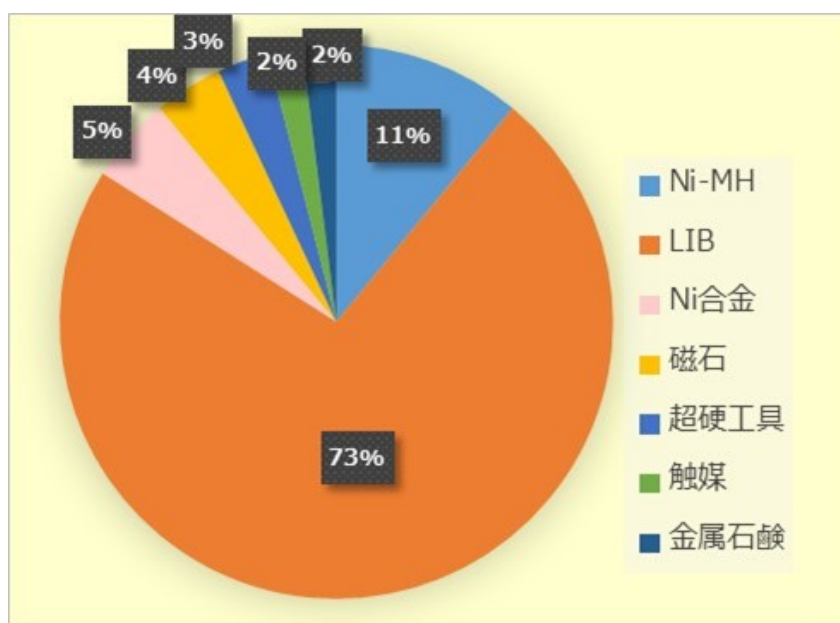


図 1.4-1 日本国内の Co の利用方法

(徐維那、森本慎一郎、Journal of MMIJ, vol.132, No.4, 2016, p66-より)

#### 1. 4. 2 既存技術の調査

図 1.4-2 と 3 に日本において行われている電気コバルトの製造方法（ニッケル製造時の副産物）を示す。ニッケルマット（Ni 分約 70%）を塩素浸出し分離したコバルト澱液を酸浸出、溶媒抽出、電気分解工程を経て、電気コバルトを製造する。

銅や金銀滓のリサイクルを行うのは、銅製錬のプロセスを利用して行う様に、LIB の排出量が増えて、ある物量が発生すれば、それに見合う前処理を施す事により、既存プロセスへ戻すことがある意味、最も効率的とも考えられるが、問題は、現状のリサイクル方法によって回収された Co、Ni の性状がそのプロセスで利用できる品位を有しているか、あるいは、不純物等の影響がないかどうかを検証する必要がある。



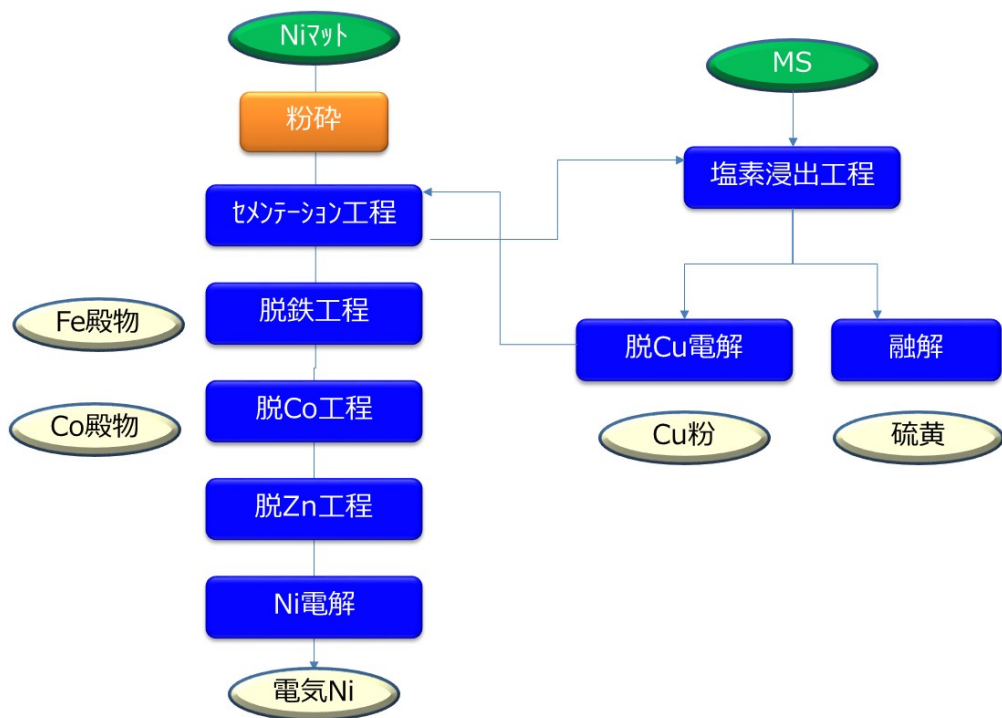


図 1.4-2 Ni マットから Co 殿物、電気 Ni の工程 (MCLE プロセスより、住友金属鉦山 HP を参照)

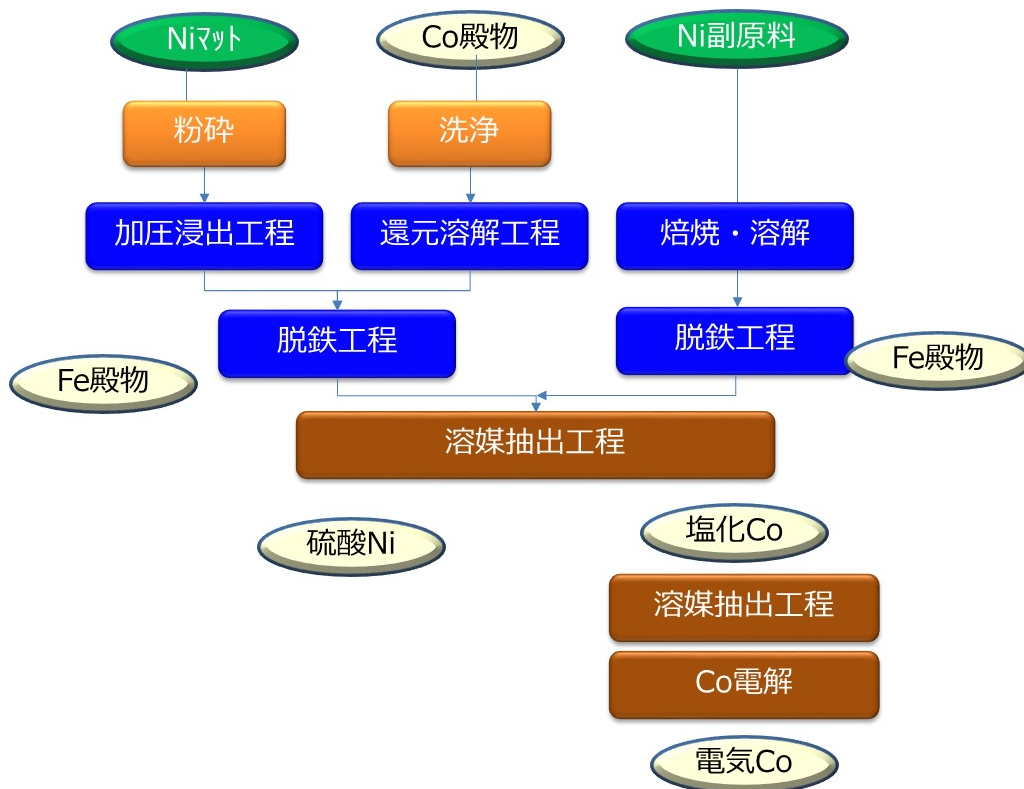


図 1.4-3 電気 Co 製造プロセス (MCLE プロセス、住友金属鉦山 HP を参照)

### 1. 4. 3 熱分解後の Co の濃縮・分離による高品位化

LIB の処理技術は、現在、確立された技術があるという訳ではない。これは、まだ LIB の排出量が少なく、特に車載 LIB については、今後、2025 年以降に大量排出が予測されており、リサイクルは、量が集まらないとそのリサイクル技術が成熟しないという事も背景に挙げられる。

LIB のリサイクル技術のキーとなるのは、有機溶媒の処理である。現状の LIB では、処理プロセスにおいても、この有機溶媒の取り扱いがリサイクルを行う上で課題となっている。

現状、検討されている日本国内での LIB 処理方法は、基本、熱をかけて、まず有機溶媒を気化させるという方法が主であると思われる。熱をかけないプロセスも検討されているが、LIB 自体が、可燃性の有機溶媒と、蓄電された状態（エネルギーを有する）のため、そのままの処理には爆発や火災等の危険性を有する。これに対し、熱をかけてしまえば、少なくとも有機溶媒による発火の危険性が無くなり、電池としての機能も破壊されるため、その後の機械処理が容易である。通常は、熱処理後、破碎・分別という行程を経て、基材となる銅、アルミのような金属分と、正・負極材を粉状の物質として回収しリサイクルを行う。

破碎してからの分別となるため、基本、正極材（Co、Ni、Mn）と負極材（カーボン等）は混合されて回収される。またシート材である Cu、Al も破碎される際に、不純物として粉末状の回収物に混合されて回収される。この原料を出発源として、Co を回収するが、より高効率に回収するための予察的な検討を行った。

#### (1) 試験の目的

熱分解後、回収された回収物（Co、Ni 等を含む粉状の物質）を出発原料として、Co を濃縮し、溶媒抽出や、電気炉における合金材料として使用する際に不純物として除去する必要のある Cu の品位を 1wt% 以下にすることを目的として、種々の方法をビーカーレベルでの試験で検討した。

#### (2) 対象物

試験には、正極材組成が 3 元系で Co がリッチな電池 2 種類を用いた。表 1.4-1 にその組成と回収物の写真を示す。

#### (3) 試験方法

##### ① 乾式マグ検定

磁束密度 0.06T（テスラ）、0.09T の磁力選別機を用い、供試体の磁性や分離挙動を調べた。

##### ② 湿式マグ検定

供試体は粒径が細かいため、磁着物への Cu、C の巻き込みの発生が考えられる。そこで、供試体を一度、水中に分散させ、磁束密度 0.09T での磁力選別を行い、乾式マグ検定と比較実証した。

### ③乾式マグ検定（エアークリーニング有）

②と同様に、磁着物に巻き込まれる Cu、C を低減させるため、磁着時にブロワー（風速 5m/s）で同時にエアークリーニングを行い、残った磁着物を回収した。

### ④沈降試験

供試体の比重選別の可否を調査するため、供試体をパルプ濃度 30%になるように水に分散させ、メスシリンダー内で沈降させ、分離の可否を試験した。

## (4) 試験結果

試験方法①～④による Co の高品位化試験の結果を表 1.4-2 に示す。

A の電池については、湿式マグ検定の方式が、Co の濃縮は 21.4%から、30.1%になったことで、約 1.4 倍の濃縮率を示した。Cu は 1%以下にはなっていないが、Cu の濃度も 2.7%→2.1%と低減していることが分かる。一定の効果が得られていることから、湿式磁選での分離効果が認められた。

また、B についてもほぼ同様であり、こちらの方が、Co については、14.9%から、27.4%になり、約 1.8 倍の濃縮率を示した。

これに対し、いずれの供試体においても乾式での磁力選別はあまり効果がない事が分かった。

## (5) 考察

Ni-Co-Mn 組成の違いや熱処理の条件（温度、雰囲気等）により磁性が大きく変化する。今回の供試体における磁性の変化を検証するために X 線回折により分析を行った結果を図 1.4-4 に示す。

この結果から、熱処理を行う事で、原料ピークとは異なるピークを示しており、結晶構造に変化が認められた。

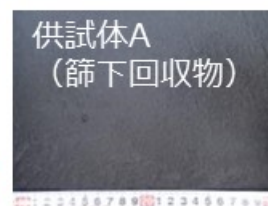
今回の熱処理においては、熱処理前の状態では、ほとんど磁性がなかったものが、熱処理後は磁性を帯び、Ni-Co-Mn 組成による強弱の違いがみられた。

今回の乾式磁選では、原料が微粒子（平均粒径約 20  $\mu\text{m}$ ）であったため、飛散や巻き込まれが多く発生したが、湿式磁選で分散しながら選別を行うことで、分離精度のアップにも繋がり、高品位化の可能性が見出された。

表 1.4-1 供試体の組成（単位：wt%）と写真

(1) Aタイプの電池の処理物

	Co		Cu	
	品位	分布	品位	分布
LIBモジュール	5.30	100.0	21.4	100.0
熱分解物	7.77	100.0	31.4	100.0
篩下回収物	21.4	77.1	2.71	2.4



(2) Bタイプの電池の処理物

	Co		Cu	
	品位	分布	品位	分布
LIBモジュール	5.83	100.0	11.3	100.0
熱分解物	7.49	100.0	14.5	100.0
篩下回収物	14.9	90.1	0.39	1.2

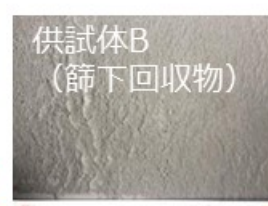


表 1.4-2 高品位化試験の結果（単位：wt%）

(1) Aタイプの電池の処理物の試験結果

		Co	Cu
原料		21.4	2.7
乾式マグ検定※	磁着物	21.4	2.7
	非磁着物	—	—
	磁着物/クリーニング有	20.8	2.9
湿式マグ検定	磁着物	30.1	2.1
沈降分離	沈降物	22.7	3.0

(2) Bタイプの電池の処理物の試験結果

		Co	Cu
原料		14.9	0.4
乾式マグ検定	磁着物	15.4	0.1
	非磁着物	17.1	0.3
	磁着物/クリーニング有	17.8	0.4
湿式マグ検定	磁着物	27.4	0.3
沈降分離	沈降物	20.1	0.4

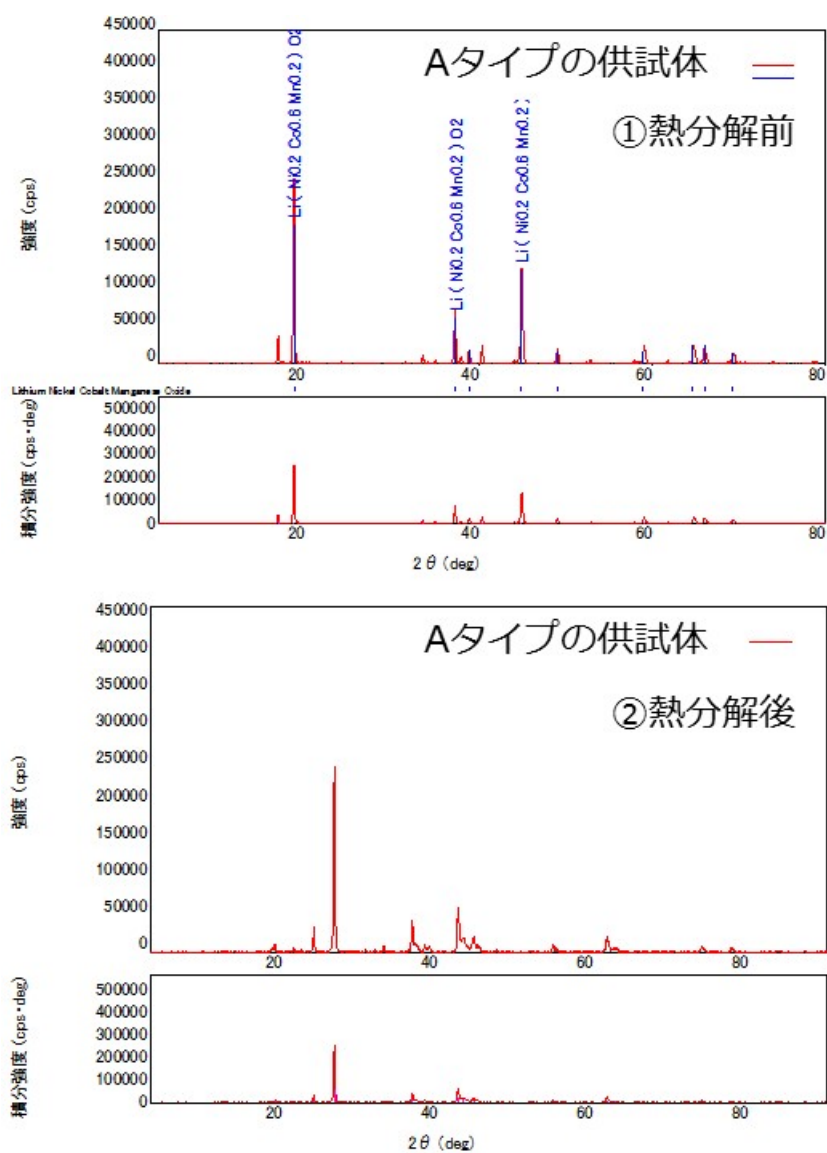


図 1.4-4 熱分解による結晶構造の変化

#### 1. 4. 4 溶媒抽出のための前処理の検討

熱分解によって回収された正・負極材の混合材を出発原料として、Co、Niの回収を検討する。熱分解後、機械的な破碎・選別（シート材からの極材の剥離）を経て、回収されるため、シート材料のCu、Alも粉碎過程で混合される形となる。

想定しているある種の回収物の組成を表 1.4-3 に示す。

今回は2つのプロセスを想定した。

一つは、表 1.4-3 を出発原料とし、これを既存プロセスに戻すための前処理方法。もう一つは、廃 LIB から回収した原料のみで溶媒抽出を行うための前処理である。

まず、既存プロセスについてであるが、これは図 1.4-2、3 の既存プロセスのどこかに投入可能とするための前処理を検討した。

Ni 資源となる硫化鉍は、選鉍によって Ni と Cu を分離濃縮した後、マット溶錬によって大部分の鉄を酸化、除去して鉄含有量の低い精製マットとしている。図 1.4-2 において、MS と記述しているものである。

Co、Ni の精製において、阻害因子となる元素は、表 1.4-3 においては、Cu と Al である。Cu、Ni、Co はいずれも硫化物を形成するが、それらが安定に存在する領域が異なる。Co-Ni-Cu 硫化物の電位-pH 図を図 1.4-5 に示す。

この電位-pH 図の①、②の領域の差を利用し、まずは、出発原料から Cu を硫化物として除去し、その次に、Co-Ni を共に硫化物として分離することにより、MS より高品位の原料として、既存プロセスの原料に加えて、利用する事が可能となる可能性がある（図 1.4-6 参照）

次に、溶媒抽出のための前処理である。

先に記載した様に、阻害因子を Cu、Al と考え、これらを原料から除去するための手法を検討した。

まず、Cu を pH=0 付近で、Cu を硫化物として、除去する。これは前述の方法と同様で、図 1.4-5 の電位-pH 図から、安定領域の差を利用している。

次に、Al の分離であるが、Al は両性金属であるため、酸、アルカリの領域では安定的にイオンとして存在する。そこで、pH を中性領域に振って、Al を水酸化物として除去する。このプロセスを図 1.4-7 に示す。この方法により、熱分解によって回収した原料から、Cu、Al を取り除けることをビーカーレベルの試験で確認した。

しかし、これを工業的に行うためには、スケールアップ試験が必要であり、また LIB が使用中に劣化が進み、正極材の化学反応により化合物が生成した場合、これらの前処理反応を阻害する因子があることも考えられ、今後の工業的な検証が必要と考えている。

表 1.4-3 熱分解によって回収される正・負極材の組成一例

(単位 : wt%)

	Co	Ni	Mn	Cu	Al	Si	Li	P	F
濃度	15.8	5.5	8.5	2.4	5.7	0.6	4.3	0.4	約3

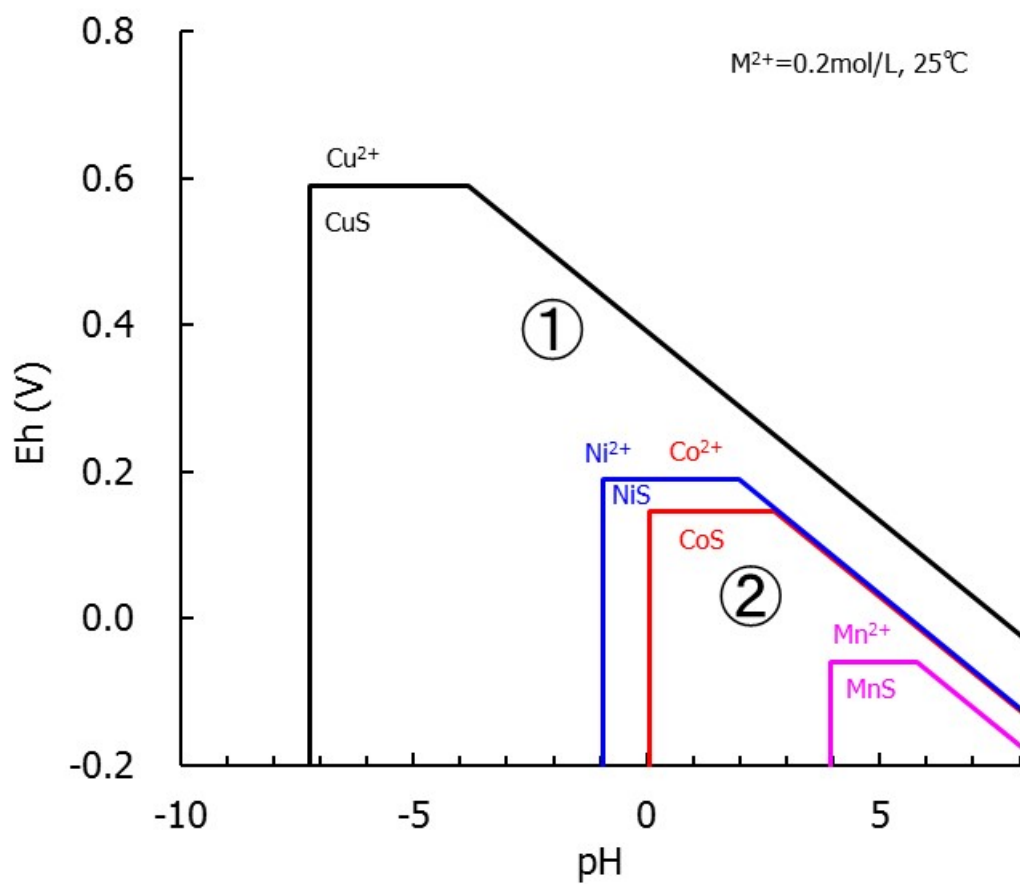


図 1.4-5 Co-Ni-Cu の電位-pH 図

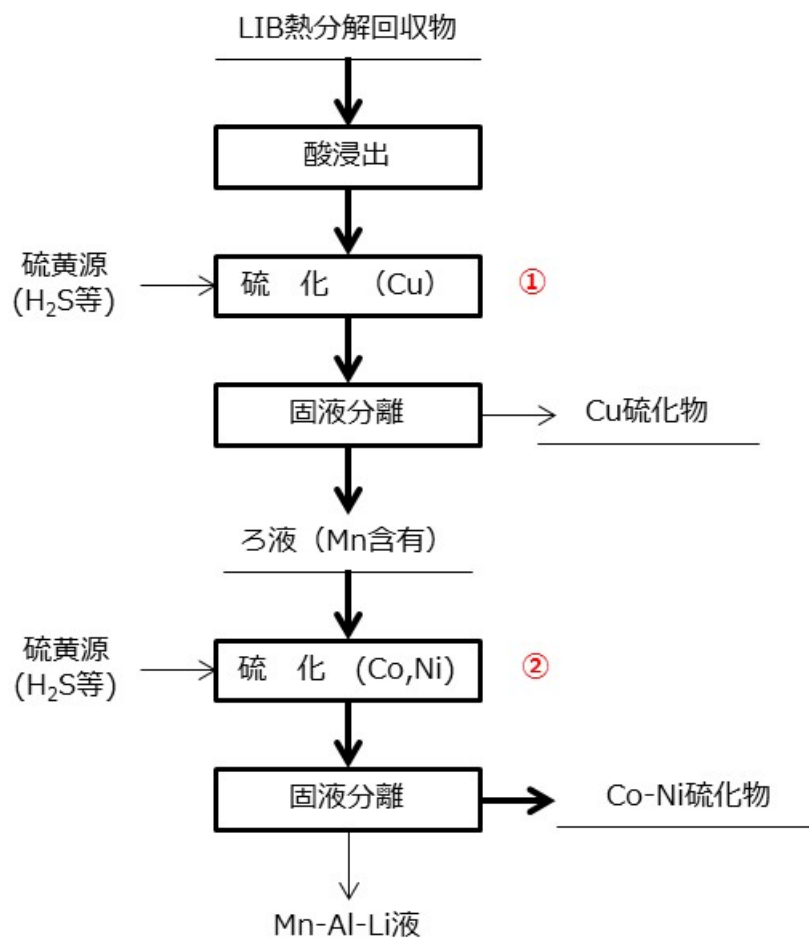


図 1.4-6 Co-Ni 硫化物合成による原料化



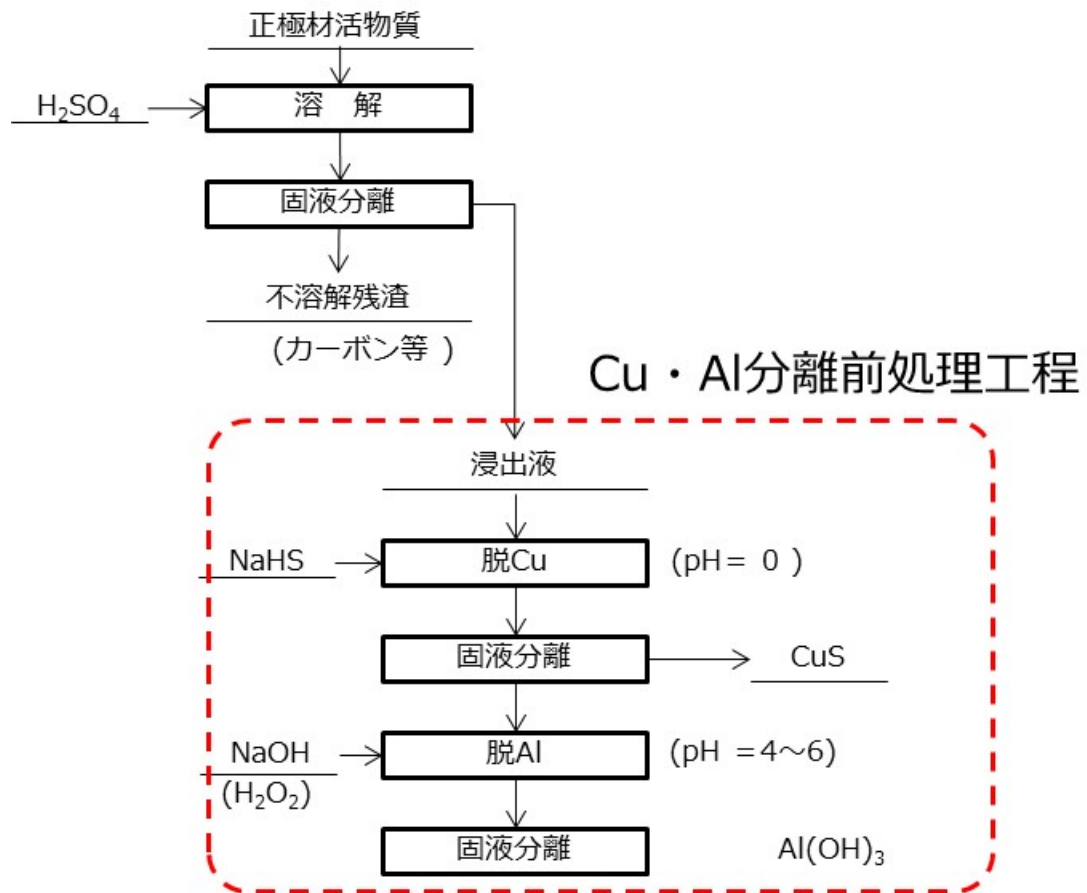


図 1.4-7 溶媒抽出のための前処理方法

#### 1. 4. 5 まとめ

Co、Ni、特に Co は世界的にも遍在しており、希少な原料であるため、使用済みの LIB を処理した際に回収される回収物から、なんらかの方法で Co を回収し、利用する事が必要となってくる。また、その際、可能であれば、再び電池材料の原料とすることが出来れば、大きなマテリアルフローの中にリサイクル材を投入する事が可能となる。

とは言え、現状の課題としては、これらの大きな流れを作る車載用 LIB が、まだ使用される側に留まっており、回収の仕組み、ルートが見えないため、どの程度の量が、どういうルートで回収されるのかが分からない点にある。

また、もう一つの問題点は、LIB とは言え、年代、型式、メーカー、車種により、使われている正極材の組成が異なる。今回、1.4.3 で用いた原料は、HV 用で比較的、Co が多く含まれているが、C 社の電池では、回収した正・負極材中の Co 濃度が 3%未満のものも存在しており、また同様の形状で今後、車載の次に排出が増えたと予想される家庭用の蓄電池の LIB では、Co が使われていない物もある。これらを全て一つのリサイクル工場で処理するのか、ある程度、Co 濃度に応じた処理方法を適用するのか、それもまた議論が必要である。

我々の考え方として、どのような処理システムが望ましいかは、後段の 3 章で詳細に述べる事とするが、種々の Co 濃度の LIB を適正に回収し、電池材料へ戻すためには、まだまだ多くの課題と、回収と処理の効率化が必要であると考えている。

## 2. 環境負荷低減効果の検討

### 2. 1 CO<sub>2</sub> 排出量削減効果の検討

#### 2. 1. 1 解体によるリサイクル率向上の検証

まず、前提条件であるが、今回は車体から取り出された LIB ユニットのまま電炉で処理した場合との比較を行った。電炉で処理した場合、基本的にはリサイクルされる原料は鉄のみであり、他の金属は有効利用されていないと仮定した。電炉による LIB の処理においても、LIB をそのまま埋め立て処分したと仮定した場合に比しては、鉄をリサイクルすることにより CO<sub>2</sub> 削減効果がある。しかし、現状、危険物である LIB を埋立処分する事は考えにくいいため、基本のプロセスを電炉とし、これを今回の実証試験の様に、解体し、有用な部品を回収した後、モジュール部分をリユース、あるいは熱分解処理による処理をすることにより、どの程度、CO<sub>2</sub> 削減効果が有るかを検証した。

検証したモジュールは、表 1.2-2 でまとめたもののうち、代表的なモジュール 13 種に絞った。

表 2.1-1 にまずリサイクル率（元は表 1.2-2）についてまとめた結果を示す。ここでは、リサイクル率の定義を、回収した物（部品、処理物）が有価で売却が可能な状態であれば、それを持って有価物とカウントする事とする。解体時に回収される部品の内、有価での売却が現状では難しいと思われるのは樹脂部品である。これらはある程度の量が集まれば、有価での販売が可能となる可能性があるが、2018 年現在、日本国内での樹脂のリサイクルは、中国市場への輸出ができなくなっている状況から、国内にリサイクル樹脂が余っている状況であり、有価での販売は難しいと判断した。また、ここでの鉄のみとの比較という意味で、解体を実施した場合の回収物を売却することによるリサイクル率の向上と、最終的にモジュールがリユースできた場合（この場合、モジュールの重量比率をそのままリサイクル率にカウント）の 2 つのリサイクル率を示した。

この結果から、解体により部品を回収するだけでも、リサイクル率で約 20% 向上し、さらにモジュールの重量がユニット全体の約 50% を占めるため、LIB ユニットの解体し、部品を回収した後、モジュールを再利用した場合は、70% 以上のリサイクル率の向上を図ることが出来る。

表 2.1-1 解体とモジュールのリユースによるリサイクル率

車種名	鉄の割合 ①	有価性の部 品割合②	樹脂の 割合③	モジュール の割合④	合計	鉄のみの リサイクル率 ⑤=①	解体による リサイクル率 ⑥=①+②	解体+リユース のリサイクル率 ⑦=①+②+④	比較 ⑦-⑤
A	6.8%	27.7%	1.9%	63.6%	100.0%	6.8%	34.6%	98.1%	91.3%
B	30.5%	13.2%	4.9%	51.3%	100.0%	30.5%	43.7%	95.1%	64.6%
D	21.5%	14.8%	3.0%	60.7%	100.0%	21.5%	36.3%	97.0%	75.5%
E	34.6%	12.7%	7.5%	45.3%	100.0%	34.6%	47.3%	92.5%	58.0%
F	25.7%	24.0%	7.6%	42.6%	100.0%	25.7%	49.8%	92.4%	66.6%
H	30.2%	18.0%	7.2%	44.7%	100.0%	30.2%	48.1%	92.8%	62.7%
K	22.3%	22.4%	9.9%	45.4%	100.0%	22.3%	44.8%	90.1%	67.8%
L	38.9%	20.5%	2.6%	38.1%	100.0%	38.9%	59.3%	97.4%	58.5%
M	27.7%	13.6%	2.7%	56.0%	100.0%	27.7%	41.3%	97.3%	69.6%
N	7.4%	17.4%	3.4%	71.8%	100.0%	7.4%	24.7%	96.6%	89.2%
O	15.2%	13.4%	13.8%	57.6%	100.0%	15.2%	28.6%	86.2%	71.0%
P	17.7%	15.9%	5.6%	60.7%	100.0%	17.7%	33.7%	94.4%	76.6%
Q	30.1%	18.7%	8.2%	43.0%	100.0%	30.1%	48.8%	91.8%	61.7%
B~Q 平均	25.1%	17.1%	6.4%	51.4%	100.0%	25.1%	42.2%	93.6%	68.5%

\*：ここで言うリサイクル率とは、回収された部材が有価である事と同義とし、その全てがマテリアルリサイクルされるという意味ではない。

## 2. 1. 2 解体による CO2 削減効果の検証

解体による CO2 削減効果の検証について、図 2.1-1 にその概念図を示す。

比較として電炉での鉄再生をベースとするため、このプロセスに対し、どの程度、CO2 削減効果があるかの結果を表す。したがって、図 2.1-1 における CO2 削減効果①においては、鉄の再生による CO2 削減効果は、比較プロセス中の鉄再生と同等と捉え、削減効果の差にはカウントしていない。非鉄材料（銅、アルミ）分のみである。

CO2 削減効果に用いた原単位をまとめたものを表 2.1-2 に示す。データの出典はエコリーフ等による。

これらの原単位を用い、今回、解体した LIB ユニット毎に、まず、解体による CO2 削減効果を計算した。CO2 削減効果は、自工会の資料（p6、図 1.1-4 参照）から、2025 年に排出が予想されている 50 万台、2030 年に排出が予想されている 100 万台ベースで計算を行った。結果を表 2.1-3 に記す。

また、A は旧タイプの LIB で重量が大きい、他はほぼ同形、同時代の車種であるため、それらを平均した値を一番下の行にまとめた。

この時の、回収物の品位等の前提条件は以下の通りである。

- ・ 回収部品中のバスバー、ケーブル：銅品位 80wt% として計算
- ・ 制御ユニット：銅の品位を 20wt% として計算。
- ・ 機器類（インバーター）：銅品位を 17wt% としてカウント。残材は鉄だが銅利用をメインと考え、この鉄は算入せず。

計算は、

削減される CO2 (t) =

$$\text{銅の重量} \times (2.31 - 0.74) \times \text{歩留まり (95\%)} \times \text{台数} / 1000 \quad \dots (式 1)$$

となる。

これに対し、熱分解した時は、モジュールを熱分解した時に回収される Cu 重量をモジュールの重量  $\times 0.099$ 、回収される Al の重量をモジュールの重量  $\times 0.186$ （実験値より）と簡易的に設定し、回収できる Cu、Al の重量を求めた。この重量から上記の式 1 と同様にリサイクルの際に CO2 の排出抑制効果を算出するが、熱分解の時は、熱分解時に CO2 を排出するため、過去の試験での実績から、投入するモジュールに対し、0.55 (CO2t/t) であるため、この値を投入するモジュールの重量に対し乗じた値を引いて、CO2 排出削減効果とした。

熱分解時の CO2 削減効果を計算した結果を表 2.1-4 に示す。CO2 削減効果は、表 2.1-3 と同様、50 万台、100 万台ベースで計算を行った。

また、A は旧タイプの LIB で重量が大きい、他はほぼ同形、同時代の車種であ

るため、それらを平均した値を一番下の行にまとめた。

表 2.1-3、4 の結果から、様々なタイプの LIB ユニットに対しても、充分効果的な CO<sub>2</sub> 削減効果が認められる事が分かる。A タイプのユニットを除いて、B～Q の平均した効果で見ると、①解体のみを行った場合でも、50 万台ベースで、平均約 1,700t、100 万台ベースで約 3,700t の CO<sub>2</sub> 削減効果がある事が分かる。また、熱分解後、Cu、Al のみをリサイクルした場合でも、50 万台ベースで、平均約 15,000t、100 万台ベースで、平均約 30,000t の CO<sub>2</sub> 削減効果がある事が分かった。熱分解で回収される、Cu、Al (特に Al) の効果で、熱分解をすることによる CO<sub>2</sub> 排出量を加味しても大きな効果が得られる事が分かる。

また当然、解体、熱分解の両方の効果が加味されるため、その効果は、50 万台ベースで、約 16,700t、100 万台ベースで、33,700t の CO<sub>2</sub> 削減効果が得られる。

今回は、詳細なデータ (原単位等) が無い事と、プロセスが確定していないため、詳細な計算はしていないが、これに Co、Ni をリサイクルする効果が加わるため、その効果はさらに大きくなる事が予想される。

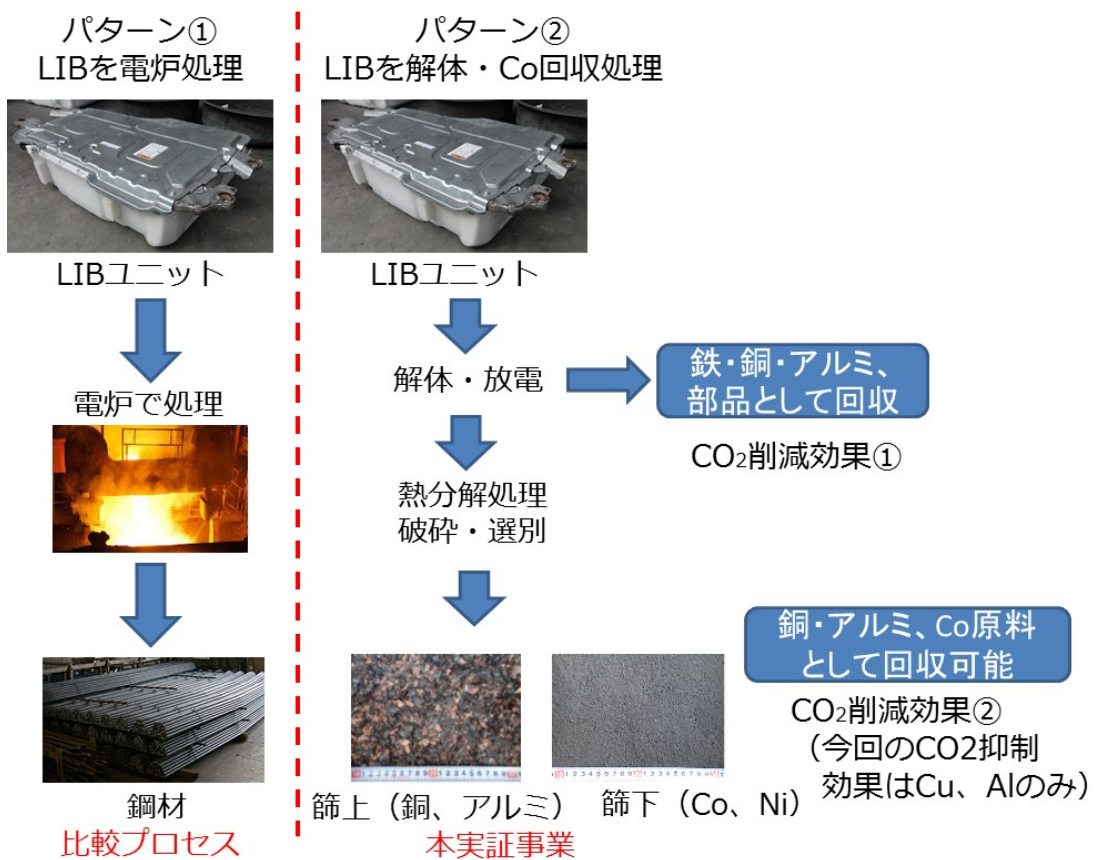


図 2.1-1 解体による CO<sub>2</sub> 削減効果の考え方 (概念図)

(ただし、②について Co は再生方法が未定のため CO<sub>2</sub> 削減効果は算入せず)

表 2.1-2 使用した原単位 (単位: CO<sub>2</sub>-t/t)

	天然資源から製造の際のCO <sub>2</sub> 排出量 (採掘含む)	リサイクル材から製錬所等で再生する場合のCO <sub>2</sub> 排出量	リサイクルプロセスの歩留り
銅	2.31	0.741	95%
アルミ	9.22	0.157	95%



表 2.1-3 CO2 削減効果 (①は解体のみした場合、回収した Cu の CO2 削減効果)

車種名	鉄のみの リサイクル率 ⑤=①	解体による リサイクル率 ⑥=①+②	熱分解による リサイクル率 ⑧	差異 ⑧-⑤	⑤で回収される 部品中の銅分 (kg)	回収した銅の効果 (tCO2/50万台)	回収した銅の効果 (tCO2/100万台)
A	6.8%	34.6%	84.6%	77.8%	7.2	5,336	10,672
B	30.5%	43.7%	84.1%	53.7%	2.1	1,573	3,147
D	21.5%	36.3%	84.1%	62.6%	1.9	1,427	2,855
E	34.6%	47.3%	82.9%	48.3%	3.7	2,788	5,575
F	25.7%	49.8%	83.3%	57.6%	2.1	1,602	3,204
H	30.2%	48.1%	83.3%	53.2%	2.3	1,727	3,454
K	22.3%	44.8%	80.5%	58.1%	2.3	1,733	3,465
L	38.9%	59.3%	89.3%	50.4%	2.5	1,867	3,734
M	27.7%	41.3%	85.4%	57.7%	2.0	1,484	2,969
N	7.4%	24.7%	81.3%	73.9%	1.2	922	1,843
O	15.2%	28.6%	74.0%	58.7%	2.3	1,737	3,473
P	17.7%	33.7%	81.5%	63.7%	2.2	1,672	3,345
Q	30.1%	48.8%	82.7%	52.6%	2.0	1,469	2,938
B~Q 平均	25.1%	42.2%	82.7%	57.5%	2.3	1,733	3,701

\* : ここで言うリサイクル率とは、回収された部材が有価である事と同義とし、その全てがマテリアルリサイクルされるという意味ではない。



表 2.1-4 CO2 削減効果（熱分解後、Cu、Al をリサイクルした場合）

車種名	モジュールからの銅の回収量 (kg)	モジュールからのAlの回収量 (kg)	回収した銅の効果 (tCO2/50万台)	回収したAlの効果 (tCO2/50万台)	熱分解時のCO2発生量 (tCO2/50万台)	熱分解による* CO2削減効果 (tCO2/50万台)	熱分解による CO2削減効果 (tCO2/100万台)
A	9.0	17.0	6,737	73,147	25,260	54,624	109,247
B	2.2	4.1	1,627	17,663	6,100	13,190	26,380
D	2.7	5.0	1,989	21,598	7,459	16,129	32,258
E	2.9	5.4	2,140	23,230	8,022	17,348	34,695
F	1.6	3.0	1,208	13,119	4,531	9,797	19,594
H	1.8	3.4	1,341	14,559	5,028	10,872	21,744
K	1.5	2.8	1,108	12,031	4,155	8,984	17,969
L	1.8	3.3	1,323	14,367	4,961	10,729	21,458
M	2.7	5.1	2,003	21,742	7,508	16,237	32,473
N	2.1	4.0	1,586	17,215	5,945	12,855	25,711
O	2.5	4.7	1,874	20,351	7,028	15,197	30,394
P	2.2	4.1	1,630	17,695	6,111	13,214	26,428
Q	1.8	3.3	1,326	14,399	4,973	10,753	21,505
B~Q 平均	2.5	4.7	1,849	20,080	6,934	14,995	29,990

\*：熱分解時のCO2削減効果には、Co、Niの回収によるCO2削減効果は含まれていない。Cu、Alのみである。

### 2. 1. 3 輸送方法による CO2 削減効果の検証

輸送における CO2 削減効果は、まず、今回輸送した距離とほぼ同等の 1,200km を輸送する場合を考え、出発点（想定は LIB ユニットの回収場所、場合によってはここでの解体を行う）から、途中の中継地点（ここで解体を行い、モジュールの状態にする）を出発地点から、50、100、200、300、600km の地点とした。比較として、ユニットのまま 1,200km を送るパターンも比較した。

この輸送を今回の実証試験の結果から、適正なトラックとその荷姿を検討すると、図 2.1-2 の様になる。

この想定で、解体したモジュールは 10 トン車で 960 個運べるとする。10 トン車は 16 パレット搭載可能で、1 パレット当たり 60 個のモジュールを積載する事が可能であるからである（実証試験では最大で 64 個積載実績有り）。

HV 車の場合、車載の LIB ユニットの 4 モジュールを搭載している場合が多いため、960 個のモジュールは、ユニットにすると 240 車分のユニットとなる。ユニットは 1 パレットに 2 個（今回の試験実績より）、4 トン車では 10 パレットが搭載可能なため、2 個×10 パレットで、20 個/4 トン車となり、4 トン車は全部で 12 車（12×20=240 個）必要となる。

この仮定から、CO2 排出量の計算を、改良トンキロ法を用いて行った。

改良トンキロ法の説明を図 2.1-3 に示す。

軽油の単位発熱量は 38.2GJ/kl、排出係数は 0.0187t-C/GJ（これより CO2 排出係数は図 2.1-3 に当てはめて、2.62tCO2/kl となる）。

この数値を用いて、CO2 排出量を計算した。

結果を表 2.1-4 に示す。効果が分かりやすいように、240 車分を運んだ場合のみだけでなく、この様な輸送方法で 1 万台のユニット、あるいは 1 万台から解体したモジュールを運んだ場合の、効果も算出した。

輸送であるので、発生地域から最寄りの中継集荷場所（＝ここで解体する事を想定）に集め、そこから最終のリサイクル工場への輸送を考えている。日本国内で、全体として発生する廃 LIB の量が少ない間は、経済合理性の観点から、全国にリサイクル工場が多数存在し、発生場所とリサイクル工場の距離が短いというパターンはなかなか想定しづらいため、この様な、解体の仕組みを構築し、モジュールで運べる事がトータルの CO2 削減に大きく寄与する可能性が高い。



- ①ユニット（重量45kg）での輸送  
 パレット、ロールボックスともに2個/台（パレット10kg）  
 4トン車10パレット： 2×10パレット=20ユニット（1,300kg）
- ②モジュール（重量4kg）  
 パレット60個/台（実績では63～64個）（パレット10kg）  
 4トン車10パレット： 60×10パレット=600モジュール（2,600kg）  
 10トン車16パレット： 60×16パレット=960個モジュール（4,160kg）  
 （有機溶剤は50ml/セル、12セル/モジュールとすると、1,666個で  
 指定数量の1,000リットル相当のため、960個は指定数量未滿）
- ③10トン車で960個運ぶ=ユニットは240個、4トン車で12車

図 2.1-2 輸送における CO2 削減効果の検討のための輸送パターン

抜粋元：経済産業省・国土交通省共同ガイドライン  
 物流分野の CO<sub>2</sub> 排出量に関する算定方法ガイドライン

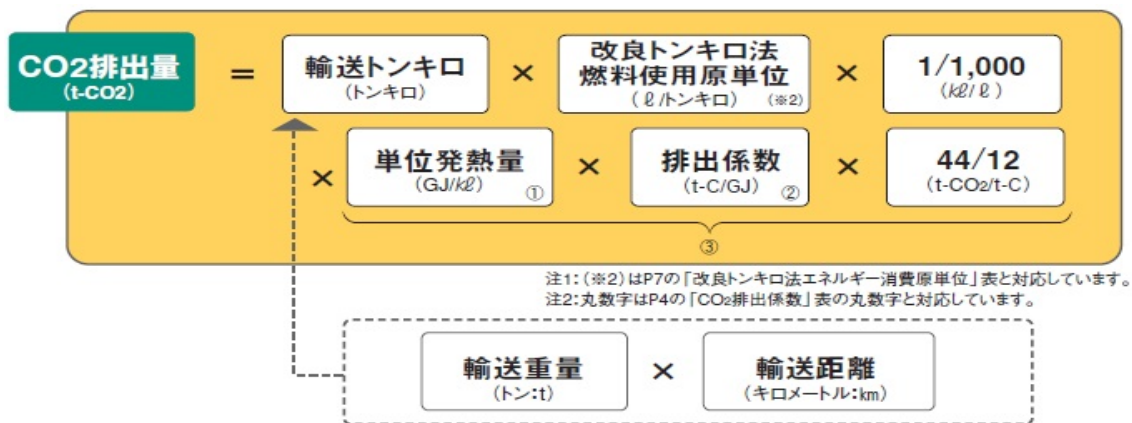


図 2.1-3 改良トンキロ法の説明

表 2.1-5 輸送による CO2 排出量と輸送方法による削減効果

	ユニットで運ぶ 距離 (km)	モジュールで運ぶ 距離 (km)	CO2排出量 (t-CO2/240車 台)	削減効果 (1万車台ベース) (t-CO2)
1	0	1,200	1.81	163.6
2	50	1,150	1.81	156.8
2	100	1,100	1.82	150.0
3	200	1,000	1.82	136.3
4	300	900	1.83	122.7
5	600	600	1.86	81.8
5	1,200	0	1.91	0.0

## 2. 2 Co、Ni の回収による環境負荷低減効果の検証

今回のCO<sub>2</sub>削減効果の計算において、Co、Niのリサイクルによる効果については、その再生方法、①電池材料として利用できるように既存プロセスに戻すか、②溶媒抽出法を用いて、単独プロセスで高品位の化成品を作るか、③合金原料として、Coを添加元素として利用するか等、利用方法について明確な方向性と、その①～③の環境負荷についてデータが揃っていないためである。

しかし、Coは1.4で述べたように、鉱物としては副産物として産出され、また埋蔵量も限られている事から、今後の世界的なLIBの需要の伸びに対し、価格の高騰、原料の困り込み等が予想される。現在、日本においては、携帯電話やパソコン、工具等に使用されている小型のLIB、そして、近年、EV、HV等で使用量が急増している車載用LIB、また家庭用蓄電池として太陽光発電システムと販売されている家庭用蓄電池等で、Coを使ったLIBの普及が進んでおり、これらを都市鉱山と考え、使用済みになったこれらのLIBから適正な方法で、Coを回収し、リサイクルする仕組み作りが必要である。

### 3. 事業実現可能性の検証

車載用 LIB リサイクルは、これまで述べたように、資源の循環という観点から、必ず行わなければならない。現行の家電リサイクル法（特定家電用機器再商品化法）が処分場の逼迫とリサイクルの必要性から施行され、海外に例をみないほど、適正に処理が進んでいるが、LIB のリサイクルが法制化されるかは不明だが、この様なリサイクルの仕組みを作り上げる事が重要である。家電リサイクル法では、家電を処理するプラント（リサイクル工場）と、物流網（ストックヤード等）、そして処理責任者である家電メーカーが一体となって、その仕組みを動かしている。今回の LIB リサイクルの検討においても、これまであまり議論されてこなかった、輸送を含め検討を行った。

将来的な LIB の排出は 2025 年頃から排出量が増え、それ以降は指数関数的に増大すると予想されている。20 年～30 年後にはある程度の回収量に落ち着き、それまでの間には LIB そのものも、現行の LIB から全固体電池へと変遷を重ねる可能性も高く、将来的なスキームや全体像を見通す事は難しい。しかし、2030 年頃には、図 1.1-4 で示されているように全国的に 100 万台の LIB が排出される可能性がある。

100 万台の廃棄がなされた場合、対象車種が EV、HV、PHEV によって、車載 LIB の重量は大きく異なるが、2020 年～2030 年では、初期に売られた EV 車の比率も多いため、平均重量を 50kg と仮定すると、約 50,000 トンの LIB が廃棄される。廃棄された LIB がどの程度リサイクル（処理）され、どの程度リユースされ、どの程度海外へ輸出されるかが不明だが、それぞれ 30% とすると、15,000 トンを処理する設備が必要となる。我々がこれまで検討しているプラントの規模から新たな設備（2030 年対応）を検討する場合でも、全国的に発生する 15,000 トンを 1 プラントで処理するというよりは、発生量の多い、関東、関西地区で、それぞれ 30,000～50,000 トンの設備を検討し、地域毎に処理を検討する方が、今回、検討した輸送の面から考えても、効率的である。車の台数にすると 8,000～10,000 台/年の処理である。年間 10,000 台の処理台数は、現在、業として自動車解体事業を行っている事業者の処理台数にほぼ匹敵する。既存の自動車とは異なるコンセプトの解体処理ラインを構築し、次世代自動車を専門に、LIB の取出しから LIB の解体、LIB の処理まで行える一環処理工場の成立も可能であると考えられる。

以下、今回実証した試験の内容から、個々の内容について、今後の LIB リサイクルの方向性について検討する。

### 3. 1 解体による車載用 LIB リサイクルの事業可能性及び経済性

車載用 LIB 処理において、モジュールまでの解体は適正なりサイクルを行う上では必須である。本実証事業では、CO<sub>2</sub> 排出量削減という観点から、この点についてその効果をまとめたが、車載用 LIB をユニットのまま処理し、処理後、破碎・選別するという方法では、対象物に対し、処理設備を過剰に大きく設定する必要がある。特に EV の車載用 LIB がこれにあたる。

また車載用 LIB のリユースという観点からも、ユニットそのままを利用するのではなく、カスケード利用的に、家庭用の蓄電池等に利用する方法が検討されている様であり、電池をモジュール、あるいは場合によっては、セル単位に分解後、再度、必要に応じて、ユニットまで組み直す必要がある。

解体を安全かつ効率的に行う事により、より高度なりサイクルが可能となる。しかし、これには適切な解体方法（保護具、作業マニュアル等）が必要であり、これらを整備できない工場では、労災発生の危険性が高い。

今回の実証試験では、適正な保護具を設定し、電気的な知識を有する者の指導の下、解体を実施した。また、解体後のモジュールについても、輸送試験に向け、放電を行い、危険性を下げ、端子部を絶縁テープで保護し、感電の危険性を下げる対策を実施した。

車載用 LIB ユニットに使われている、配線、バスバー、基板等を適切に回収し、非鉄製錬炉等で銅及び金銀等の貴金属を回収するシステムを構築する事は、今後、電動化が進む次世代自動車のリサイクルにおいて重要であると考えられる。

コスト的な評価を検討すると、リサイクルのコスト評価においては、トータルの考えが必要であるが、現状の様に、Co の資源価値が上がっている状況においては、後段の Co 回収、あるいは回収できなくとも、合金原料の添加剤としての利用等、Co を活かした利用を行う事で、前段の解体・放電の部分のコストをある程度補いながら、処理費をどこまで低コスト化できるかが今後の鍵となる。

車載用 LIB の場合、Co の価格が高騰しているとはいえ、処理費をトータルで考えるとマイナス、すなわち廃棄物としての価値しかない。現状、電炉等で処理されているコストに対し、リサイクルをすることにより、Co を再利用し、より高付加価値な原料（例えば、電池の原材料）として利用する事により、廃棄物処理費を下回る可能性は十分に考えられる。ただし、個々の解体工場で回収される Co の総量は 2030 年前までは多くないため、Co の回収・再利用においては、ある程度、集約的に行う必要があると思われる。

### 3. 2 LIBの広域輸送における高度リサイクルの可能性及び経済性

2.1.2の輸送におけるCO<sub>2</sub>削減効果のところでは検証した結果からも、車載用LIBをユニットで運ぶよりも、モジュールまで解体して運ぶことにより多くのメリットが出る事が分かった。しかし、現状、ユニットでしか運ばれていないのは、それぞれの形態で運ぶことのメリット・デメリットがあるためである。表3.2-1にその内容をまとめた。

この内容を踏まえ、モジュールでの輸送を検討し、LIBモジュールの性状（正極材の材質・組成、Co回収の可能性）に応じて、モジュールの状態、リサイクル工場を振り分ける事が出来れば、解体場所としての1次処理場所と、Co回収としてのリサイクル工場の分業化が可能となる。

またコストの面からも、2.1.2ではCO<sub>2</sub>のみの結果を示したが、車載からLIBを取り出す場所＝ユニットの解体場所とリサイクルプラント、距離が1,200 km離れている2か所を、ユニットで運ぶ場合と、モジュールまで解体して運ぶ場合の費用を概略まとめると、表3.2-2となる。

前提は、2.1.2のCO<sub>2</sub>の計算のところを使った前提条件で、1,200 kmを全行程、ユニットで運んだ場合とモジュールで運んだ場合の2ケース（最も差が大きい）を選んで、価格比較したものである。

この結果、ユニットの状態に運ぶより、モジュールの状態に運んだ方が、約8倍、コストを下げる事ができる。

これはモジュールでの輸送効率を最大にした場合の、ユニットで運んだ場合の比較パターンであり、現状はその差はもう少し小さくなると予想されるが、モジュールでの最大効率を考えた場合であり、4トン車、10トン車とも約100円/kgの輸送費用で、関東（栃木県小山市）から北九州までの輸送が可能となる事が分かる。

輸送費を処理費並みに抑える事により、広域での輸送を可能とし、高度なリサイクル、Coが回収可能な処理プラントでの処理を行うため、広域で高Coの使用済みLIBを回収する事が可能であると考えられる。



表 3.2-1 ユニット、モジュールによる輸送のメリット・デメリット


輸送形態	メリット	デメリット
<p data-bbox="240 371 360 398">ユニット</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車体に搭載されたままの状態 で人手をかけずに、そのまま輸送できる。</li> <li>・車体に搭載されていた時のまま状態であり、制御はかかっていないものの、危険性が増す要素が少ない。</li> <li>・解体時のデータがトレースしやすい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車種によって、ユニットの形状は異なるため、輸送効率が悪い。</li> <li>・筐体や、バスバー、配線、基板等、近隣で処理できる部品も遠地まで運ぶこととなる（効率が悪い）。</li> <li>・特に EV の場合、筐体の重量も大きいため、重ねての輸送が難しい可能性がある。 (平置き、もしくは専用のコンテナが必要。)</li> </ul>
<p data-bbox="240 947 392 974">モジュール</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モジュールの形状はほぼ同形（車種、製造メーカーによる違いが小さい）であるため、輸送効率が高い。</li> <li>・モジュールに分解し、性能をチェックすれば、そこで、リサイクル品、リユース品への選別が可能となる。</li> <li>・解体により取りだした部品を遠くに運ぶ必要がなく、性状に応じて、近隣で売買が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解体する時、作業手順、保護具等を用いないと感電の危険がある。</li> <li>・モジュールまで解体することにより安全性が低下するわけではないが、衝撃等については、筐体がないため、ユニットの状態よりも耐衝撃性が落ちる可能性がある。梱包が必要か。</li> <li>・モジュールで運ぶ際の安全性の考え方が明確でなく。事故発生の場合、責任が明確でない。</li> </ul>

表 3.2-2 ユニットでの輸送とモジュールでの輸送のコスト比較 (3.84 トンを輸送)

輸送形態	輸送形態	個数	車数と価格	価格 (円/kg)
ユニット 	4 トン車 10 パレット 2 個/パレット	ユニット(HV) : 240 個 (モジュールに して 960 個)	12 車 239,000 円/車×12 =2,868,000 円	747 円/kg
	10 トン車 16 パレット 2 個/パレット	ユニット(HV) : 240 個 (モジュールに して 960 個)	7.5 車≒8 車 364,000 円/車×8 =2,912,000 円	758 円/kg
モジュール 	10 トン車 16 パレット 60 個/パレット	モジュール : 960 個	1 車 364,000 円/車	95 円/kg
	参考 : 4 トン車 10 パレット 60 個/パレット	モジュール : 600 個 (=2.4 トン)	1 車 239,000 円/車	100 円/kg

### 3. 3 Co、Ni の高効率回収による資源循環の可能性

Co、Ni の回収については、そのプロセスとコスト的な検討がまだ十分ではない。これは処理の対象とする回収物の量を設定する事がまだ難しいというのが最大の理由である。

材料のリサイクルは量の効果が働くため、ある一定量の原料が、一定品質で集荷が可能であれば、それに見合うプロセスを構築する事は難しい事ではない。特に Co のような付加価値の高い、希少金属のリサイクルの場合は尚のことである。

日本国内に既に販売された EV、HV の台数から、車載用として使われている Co、Ni の量を推定する事は容易であり、今後の車載用 LIB の販売予測から今後の排出量の予想を行っているが、これらが車載用として使用された後、国内で回収・処理されるのか、リユースされるのか、海外に輸出され、国内での処理が必要なくなるのか等、現状ではその方向性は明確ではない。

このため、Co・Ni の回収プロセスの構築を考えた場合、対象とする処理能力を設定するのが難しいのが現状である。しかし、本事業の前提でもあるが、資源量の少ない Co を用いなければならない現状を考えると、国内での循環システムを、LIB ユニットの回収から、Co の再資源化まで一貫したシステムを構築することが、今後ますます必要になってくると考えられる。

### 3. 4 残された課題

今回の実証事業においては、将来的に車載用 LIB を解体、処理し、回収物から Co を高度リサイクルするための前処理の方法について、課題となっている部分を抽出し、検討した。

解体・放電については、作業マニュアルの整備、保護具の着用等の対応で、リサイクルする側である程度対応が可能であるが、人手を介する作業となるため、今後、少子高齢化、人口労働の減少という別の側面の課題から、解体のコストアップ等も予想される。安全性という観点からは、解体・放電の自動化（ロボット等）を目指すべきであると思われる。

輸送についてであるが、これは解体・放電・リユースとも関係してくるが、廃棄される車載用 LIB の使用履歴、性状が、車メーカー側から必要な部分だけでも開示されることによって、安全性の基準の明確化、ある程度、劣化が少ない LIB の再利用、そして解体時の放電の解体と放電に関するデータの開示等を利用することによって、安全な輸送を行える可能性が高い。また、長距離を輸送する際に、JR コンテナや船等の利用も検討される必要があるが、それぞれの輸送方法においても、安全性をどう担保するかという課題は、トラックによる陸上輸送の場合と同様である。

Co、Ni の回収については、日本国内にあるインフラを活用し、回収物の品位、性状を見極めたうえで、適切な前処理を行う事により、再利用を積極的に行う必要がある。しかし、まだ車載用 LIB の発生量が少なく、使用年数も少ないため、LIB の正極材の劣化、熱分解による不純物の影響等が十分に評価できていないという課題がある。今後、発生量が増え、処理方法が確定した上で、最適な回収方法を確立する必要性がある。

#### 4. 総括

本事業は大きく、①解体・放電、②広域輸送、③Co、Niの高効率回収の3つの柱をもって事業を行った。

今回の検討において、

①解体・放電は、車載用LIBの場合、そのままの形状（ユニット）で処理するには、処理を対象とするモジュールに比して、ユニットそのものが大きいため、効率的でなく、ユニットの形状に対応できるリサイクル設備は限られている（既存の電炉等）ため、処理の観点から、どこかでの解体・放電は必須と考えられる。また輸送の効率の面からも同様である。

処理費用としては、モジュールに対し、熱分解・破碎・選別する費用に、これらの解体・放電を行う前処理の費用も必要となるが、これらは、今後、解体・放電の自動化、機械による分解（自動化）等を含め、効率化する事により、コストを下げる事を目指し、部品・材料の回収・売却益（Co、Ni、Cu等）の見合いから、電炉等での処理と同等、あるいはそれ以下に下げる事を目指し、環境面からもコスト面からも最善の方法を目指す事が重要であると考えられる。

②広域の輸送については、モジュールまで解体した状態で使用済みLIBを輸送する事は、そのモジュールの安全性を誰が、どうやって担保するのが不明なままであるため、輸送そのものが難しいのが現状である。輸送ができないと、現在、LIBの処理事業を検討した場合、廃棄量の少ない使用済みLIBを集荷する方法がないため、事業そのものが成り立たない可能性が高い。将来的には大量のLIBが全国で発生し、広域輸送の必要性は徐々に小さくなるが、それまでは広域の輸送システムが必要であり、今からLIBを安全に輸送するシステムを構築する事が、将来の大量廃棄時に備える方法でもある。したがって、安全な輸送をおこなうために、LIBの輸送における安全性の評価（特に、使用済みという事が重要）を、製造メーカー、車メーカー、輸送業者、処理プラント含め、相互の理解を深めながら、検討を継続する必要がある。

コストの面では、3.2で述べたように、ユニットとモジュールでは最大約8倍の価格差が生じる可能性があり、集約し、効率を高める事で輸送のコスト100円/kg程度まで下げる可能性がある事が分かった。

③Co、Niの高効率回収については、日本においてはCo、Niは海外の鉱山に頼っている資源であり、国内に蓄積されている使用済みLIBを都市鉱山と捉えれば、これらからCo、Niを回収し、可能な限り、電池材料として使用できる仕組みを構築することは元素戦略の面から非常に重要である。Co、Niの具体的な回収方法については、ある程度の量が集まり、そして回収し、処理した回収物が、LIBの組成の違いをどう調整するかも含め、一定の品位で回収できれば、それに応じた化学的処理によって、最適で、低コストのCo回収技術を構築する事が可能であると考えられる。LIBが使用中に劣化し、あるいは熱分解によって形成される化合物等の影響もあるため、詳細な検

討は、こちらにも継続する事が重要である。現状、2018年1月末現在で、Coの価格10,000円/kgまで高騰しているため、単独で溶媒抽出の設備を検討したとしても、年間約100トンのCo、Niを取り扱う設備であれば、投資に見合う処理が可能であると考えられる。これは今回、試験を行った車種（HV）で考えると、約63,000台/年の処理となり、モジュールに換算すると約1,010トンの処理が可能な設備に付随して、溶媒抽出の設備1基が稼働可能ということになる。

これらの数字は、Coの価格、Coの含有量が変化するため、大きく変動する可能性がある事に注意が必要である。