



セメント製造工程を活用した 車載リチウムイオン電池のリサイクル技術

石 田 泰 之・田 村 典 敏・本 多 威 暁

ハイブリッド自動車等に搭載されて使用済みとなったリチウムイオン電池のリサイクル技術を、貴金属リサイクルを手がける松田産業(株) (以下「共同研究会社」という) と共同実施。本技術は以下の特徴を持つ。

- ・セメント製造プロセスの排熱を熱源に利用，燃料，CO₂ 排出量の大幅な削減が見込める。
- ・焙焼排ガスのフッ素等をセメント原料中のカルシウムにより吸収・固定化，排ガス処理コストが低減できる。
- ・自由度の高い内部バスケットを持つ二重構造の焙焼炉で対象物に応じた処理が可能。
破砕・物理選別との組合せで，従来の大規模熱処理で未回収であった銅，アルミ，レアメタル等の効率的回収が可能。
- ・カーボン等の残渣もセメント原燃料化で 100% のリサイクルが可能。

キーワード：リチウムイオン電池，焙焼処理，フッ化水素，無害化，セメント製造プロセス，物理選別，金属回収

1. はじめに

ハイブリッド自動車や電気自動車の普及により使用済みリチウムイオン電池（以下，使用済 LIB と略）の排出量の増加が予測されている。資源有効活用の観点からリサイクルが重要であり，使用済 LIB に含まれるレアメタルや銅電極，アルミニウム電極などを適正に資源循環させ，大量廃棄を避ける必要がある。当社はこの使用済 LIB のリサイクル技術について，金属資源のリサイクルに実績を持つ共同研究会社と共同で 2011 年度より研究開発を行い，現在，実機実証設備を用いた実証事業の段階まで開発を進めている。

本リサイクルシステムは，専用の焙焼炉で使用済 LIB の無害化を行い，破砕・物理選別により，ベースメタル，レアメタルを回収する。システムの特徴は以下の通りである。

- ①セメント製造プロセスとの併設により排熱となる高温ガスを熱源に利用，燃料，CO₂ 排出量の大幅な削減が見込め，セメント製造プロセスへ焙焼排ガスを戻す事でセメント原料中のカルシウムによりフッ化水素等を吸収・固定化，排ガス処理コストが低減できる。
- ②設計・運用の自由度の高い内部バスケットを持つ二重構造の焙焼炉とすることで，処理対象物に応じた条件設定ができ，破砕・物理選別と組合せることで，

従来の大規模熱処理で未回収であった銅，アルミニウム等のベースメタル，レアメタルの効率的な回収が可能となる。

- ③カーボン等の選別残渣もセメント原燃料化することで，100% のリサイクルフローを確立できる。

2. 使用済 LIB の排出予想

経済産業省「自動車産業戦略 2014」によると，ハイブリット車に加え，プラグインハイブリット車や電気自動車の普及もあり，2030 年におけるリチウムイオン電池搭載車の割合は新車販売台数中の 30 ～ 40% まで増加すると見込まれている（表—1）。リチウム

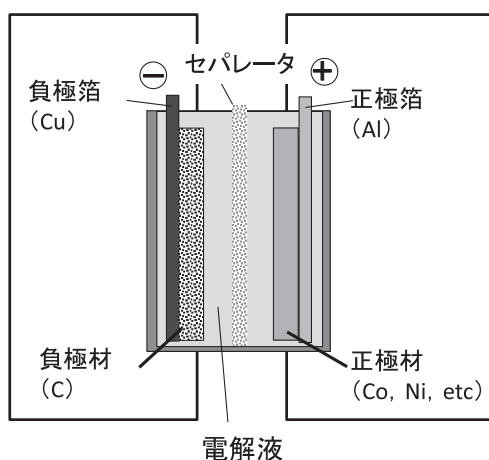
表—1 次世代自動車の普及目標（出展：自動車産業戦略 2014，経済産業省）

	2020 年	2030 年
次世代自動車	20 ～ 50%	50 ～ 70%
ハイブリッド自動車	20 ～ 30%	30 ～ 40%
電気自動車 プラグイン・ハイブリッド自動車	15 ～ 20%	20 ～ 30%
燃料電池自動車	～ 1%	～ 3%
クリーンディーゼル自動車	～ 5%	5 ～ 10%

イオン電池搭載車の増加に伴い、その廃棄台数も急速に増え始め、2030年には10万台分の電池が廃棄されると推計されている。

3. リチウムイオン電池の構造と開発課題

一般的にリチウムイオン電池は、正極側にアルミニウム箔、負極側に銅箔が使用され、正極材にはコバルトをはじめとするレアメタルが含まれている。また、電池のカバーには、鉄、アルミニウムやSUS（ステンレス鋼）等の金属が含まれるなど、資源価値が高い材質を多く含んでいる（図－1）。適正な資源循環の



図－1 リチウムイオン電池のモデル図

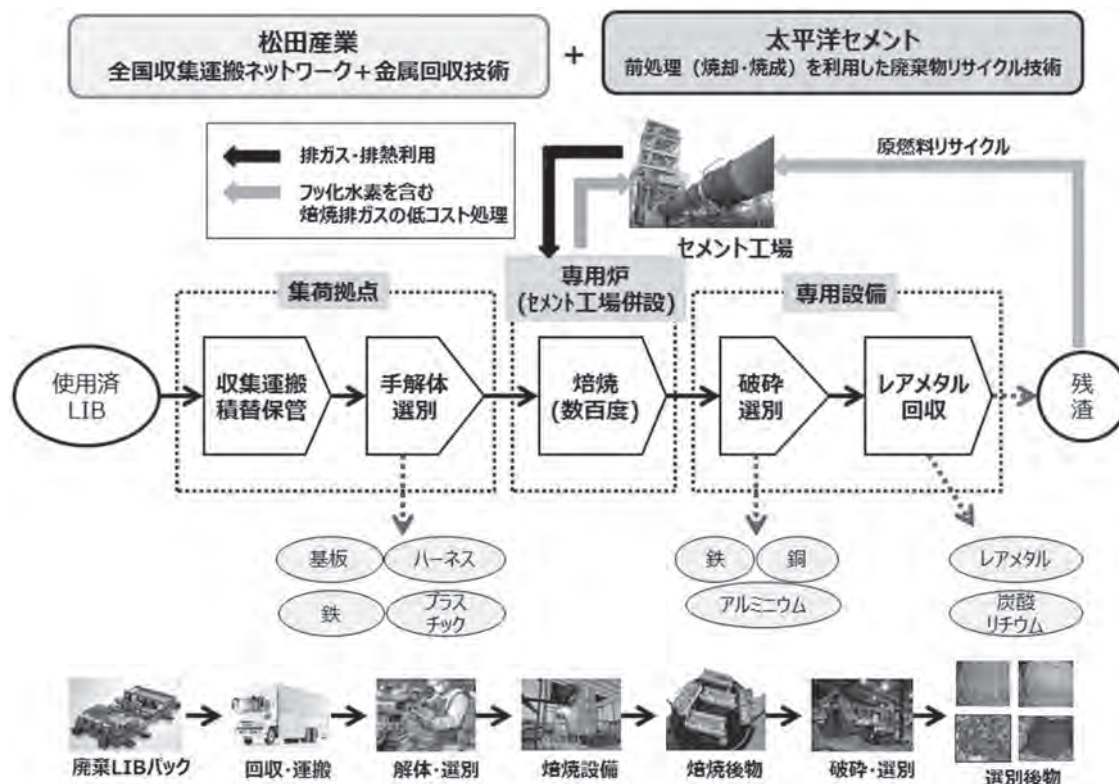
ためには、リチウムイオン電池の廃棄量が急増する前にリサイクルシステムを構築しておくことが重要となる。

車載用リチウムイオン電池は、携帯電話等に使用されている小型リチウムイオン電池より高い電気容量であり、引火性のある溶媒である電解液が含まれていることから、そのまま破碎処理を行うと発熱・発火の危険性を有している。また電解液には人体に有害なフッ素を含む化合物も用いられており、前述の発熱・発火に伴ったフッ素化合物の発生危険性も有している。これらのことから、自動車リサイクル法において「事前取外し物品」に指定されている使用済LIBには、安全性の高い回収・リサイクルの仕組みが求められている。

開発の課題は、電池に含まれる電解液の可燃物とフッ化物を適切に加熱処理することであり、加熱処理の際に電池を構成する金属部品に回収不能となるダメージを与えないことである。特にフッ化物を含む排ガスの解決は、セメント原料に大量に存在するカルシウムと反応させることで安価に処理する方法を模索した。

4. LIB リサイクルシステムの概要

本リサイクルシステムを図－2に示す。共同研究会社が保有する全国収集運搬ネットワークを利用して薄く広く分布する使用済LIBの収集を可能とした点



図－2 使用済 LIB リサイクルシステムモデル

と、当社のセメント製造プロセスを利用した廃棄物リサイクル技術と組み合わせた点が特徴となる。共同研究会社が使用済 LIB 収集と金属回収を担当し、当社が焙焼、無害化を担当する。

リサイクルは次の手順で行う。全国から収集した使用済 LIB (ユニット) を手解体で外装 (樹脂・金属)、ハーネス、電子基板等を取り外す。取り外した外装やハーネスは、有価物として売却する。

次に使用済 LIB (ユニット) から取り出した使用済 LIB (モジュール) は、600℃以下の温度で加熱処理 (焙焼) して、内部の電解液や被覆しているプラスチックなどを分解・蒸発させる。

焙焼後の使用済 LIB (モジュール) は破砕機で細かく破砕して、篩選別、磁力選別、比重選別等の物理選別処理で銅、アルミニウム、鉄、極材粉に選別する。銅やアルミニウムなどの金属は売却し、最終的には製鉄会社や製錬会社等でリサイクルされる。極材粉はカーボンを多く含むため、セメント原燃料としてリサイクルする。極材粉は粉中のコバルト濃度が評価基準を満たす場合、製錬会社に売却する。

焙焼時の排ガスは、セメント製造プロセスに送ることによって安価な処理を可能とする。電解液中のフッ素化合物は排ガス中に腐食性の高いフッ化水素を生成させるが、セメント原料中に多量に含まれるカルシウムと反応させることで無害にすることができる。また焙焼処理の熱源にはセメント製造プロセスの排熱を利用してコストの低減も図れる。

5. 技術開発の経緯と進捗

研究開発は2011年度より着手し、2013年度以降は経済産業省の補助を受けて検討を進めた。研究開発当初は小型の焙焼炉で種々のデータとノウハウを蓄積し、これを基に2014年に処理能力3トン/日の焙焼実証設備を製作、エンジニアリング会社の敷地に設置した。2015年1月より運転を開始し、焙焼処理条件の最適化と能力アップを繰り返し、2015年10月には、24時間連続運転で目標の3トンの処理能力を確認した。ベース金属の回収のための焙焼条件としては、電極のアルミニウム箔を溶融、酸化させない状態を維持させることが必要となるが、条件の最適化で目標を達成した。

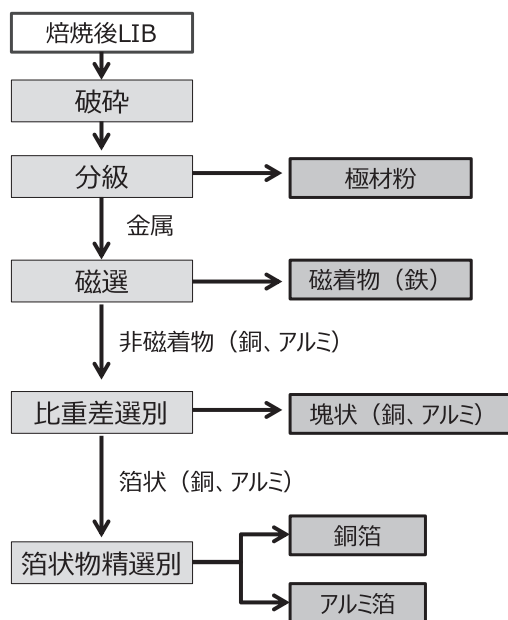
また24時間連続運転時の排ガスを用いて、セメント製造プロセスでのフッ素の無害化を模擬した検証を実施。焙焼により発生した排ガスを一部抽気してセメント原料を充填したカラムを通過させることで、排ガ

ス中のフッ化物が吸着できることを確認した。カラム通過前にフッ化物濃度が210 mg/m³Nであった排ガスは、通過後は0.9 mg/m³Nまで低減し、排出基準 (1 mg/m³N以下) を達成して排ガス処理の基礎となるデータを得た。想定している実プロセスは今回の検証実験と比較してはるかに多量のセメント原料と接触させることとなり、さらなる低減が期待できるものと考ええる。

焙焼後の使用済 LIB は共同研究会社に設置した破砕・選別の実証設備で金属の回収を行った (写真—1, 図—3)。



写真—1 破砕・選別設備の外観



図—3 破砕選別フロー

リチウムイオン電池は、正極にアルミニウム箔とリチウムやコバルトおよびニッケルなどのレア金属の化合物を用いており、負極に銅箔とカーボンを使用している。メーカーによって材料の構成は異なるが、銅やアルミニウムがいずれも2～3割、鉄が1割前後含

まれている。

破碎・選別設備では、まず焙焼した処理物を破碎機で細かく破碎し、次に篩による分級で、リチウム、コバルト、ニッケル等が含まれる極材粉とアルミニウム箔、銅箔、鉄などの金属類に分離する。極材粉からは、非鉄製錬会社でコバルト等のレア金属の回収を行い、回収後の残渣はセメントの原燃料となる。金属類は、磁力選別により鉄と非磁着物である銅、アルミニウムなどを含むミックスメタルに分離される。ミックスメタルはさらに比重選別機で塊状のものと箔状のものに分離され、箔状のものは箔状物精選別機で銅箔とアルミニウム箔に分離される。鉄は、くず鉄として売却する。

これらの回収物は実証試験の結果、銅、アルミニウムで80%以上の品位となり、極材粉は事前に使用済LIBの選別を行う事で、コバルト濃度が評価基準を達成して売却が可能であることを確認している。焙焼条件や破碎分級設備の運転条件を最適化することで、極材粉の回収率は95%以上を達成できた。極材粉からレア金属を回収した残渣はセメント原燃料に十分な品位であった。

6. おわりに

2017年3月に焙焼実証設備を移設させ、セメント製造設備に併設した（写真—2）。今後は事業化に近い形での検証を進める。焙焼によって発生する排ガスをセメント製造プロセスで処理し、低コストでの処理を可能とするシステムを、より実操業に近い運転によって実証を行い、再資源化技術の確立と使用済LIB収集ネットワークの整備を進め、本格的に使用済LIBが排出される時代に備えたいと考えている。



写真—2 焙焼実証設備の外観

J C M A

〔筆者紹介〕

石田 泰之（いしだ やすゆき）
太平洋セメント㈱
中央研究所 第3研究部 分離技術チーム
チームリーダー 工学博士



田村 典敏（たむら のりとし）
太平洋セメント㈱
中央研究所 第3研究部 分離技術チーム
主任研究員 技術士（衛生工学部門）



本多 威暁（ほんだ たけあき）
松田産業㈱
生産統括本部 技術開発部
次長

