

冷蔵庫、洗濯機、エアコンおよびテレビは、2001年4月から家電メーカーなどの責任で再商品化(リサイクル)しなければならない。これまで当社でも、家電リサイクルのための検討を行ってきており、現在は施設建設の段階へと進んでいる。

それと併行して、各種リサイクルでの資源のリサイクル割合の増大とその作業効率の向上、あるいは廃電気品の安定化のために、さまざまな技術開発を行っている。ここで述べる微粉砕機およびLiイオン電池と回路基板のリサイクル技術は、単に家電リサイクルにとどまらず、近い将来における各種廃棄物の高度の材料リサイクルを可能にする技術である。

Refrigerators, washing machines air conditioners and television sets must be properly recycled by electric appliance manufacturers from April 2001. Toshiba has been investigating technologies and plants for recycling home appliances, and is about to construct a plant for such recycling.

In addition, Toshiba has been investigating advanced treatment technologies in order to improve the recycling efficiency and properties of waste materials. These recycling technologies, a lithium-ion secondary battery recycling method, a printed circuit board recycling method, and a microgrinder, are expected to contribute not only to the recycling of home appliances, but also to the realization of advanced recycling systems for various wastes in the near future.

1 まえがき

特定家庭用機器(冷蔵庫、洗濯機、エアコンおよびテレビ)は、2001年4月に施行される「特定家庭用機器再商品化法案」に基づいて、「小売り業者及び製造業者等」によりリサイクルが行われなければならない。

これまで当社でも、既存の廃棄物処理技術の調査、(財)家電製品協会および社内における研究開発結果などを反映して、家電リサイクル施設の検討を行ってきており、現在はリサイクル施設建設の段階へと進んでいる。

それと併行して、廃家電からリサイクルする資源の割合(リサイクル率)の向上、リサイクルのための工程やエネルギーの節約(リサイクル効率の向上)、あるいは発生する廃棄物の安定化を目ざして、いっそうの技術開発を行っている。

ここでは、微粉砕機による高度分別リサイクル技術およびリチウム(Li)イオン二次電池と回路基板の材料リサイクル技術についての取組みを述べる。これらの技術は、単に家電リサイクルだけでなく、各種廃棄物に対して高度の材料リサイクルの達成を可能とする技術として期待される。

2 微粉砕機による高度分別リサイクル技術

家電製品では、回路基板、細電線などのように、プラスチックと金属から構成される複合材料が多く使用されてい

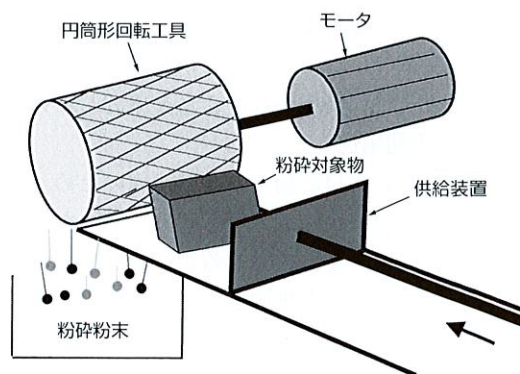


図1. 微粉砕機の構造 円筒形回転工具に粉碎対象物を押しつけて微粉末化する。

Structure of microgrinder

る。これらの複合材料からなる廃棄物は、各材料ごとにリサイクルしようとする場合、微細に粉碎すればするほど、その後の分別によって個別の材料として高い純度で回収できる。また、リサイクル物を新規材料に混合して再利用する場合にも、微粉砕することが多くの場合有効な手段となる。

一方、数10cmを超える粉碎対象物を1mm以下の微粉末にまで粉碎しようとする場合、通常は何段かの破砕機あるいは粉砕機による多段処理が必要となり、設備費およ

び処理時間を増大させることからリサイクルコストに大きな影響を与える。

ここで述べる微粉砕機 POWDERMAN™ は、数 10 cm を超える粉砕対象物を、微粉砕前に数 cm まで粗破砕するといった前処理工程を必要とせず、この装置の一工程だけで微粉砕することができる。

POWDERMAN™ は、当初廃回路基板から構成素材を分別回収することを目的として開発を開始した。しかし、その特性から回路基板に限らず、各種材料リサイクルのための微粉砕への適用が期待できる。

図 1 に微粉砕機 POWDERMAN™ の構造を示す。モータによって回転する超硬焼結合金カッタを備えた円筒形回転工具に粉砕対象物を直接押しつけて、微粉末化する。超硬焼結合金カッタを採用することにより、これまではカッタの損傷が激しくて微粉砕が困難であったガラスなどの硬い材料も粉砕できる。また、カッタ形状および粉砕対象物の投入方式の選択によって、それぞれの粉砕対象物に対して最適な条件となるように装置を設計できる。

図 2 に代表的なやすり型およびインサート型のカッタを示す。カッタの種類およびその仕様は、粉砕対象物の材質と目標とする粉砕物の粒径から選択する。粘りのある材料では、インサート型が選択されることが多い。また、一般的にはやすり型の方が微粉末になりやすく、インサート型のほうが細長い形状の粗目の粉末となる。

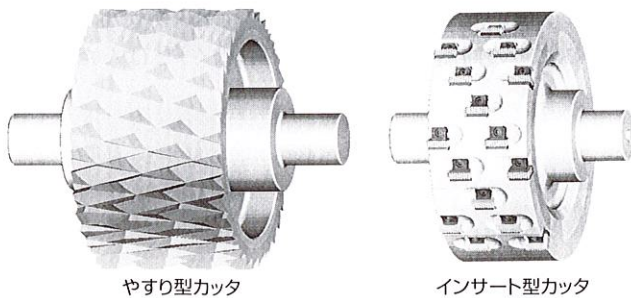


図 2 やすり型カッタとインサート型カッタ やすり型カッタは回転工具全体にやすり目があり、主に 1 mm 以下の粉砕に利用する。インサート型カッタは刃を決められたパターンで埋め込んでおり、主に 1 mm 以上の粉砕に利用する。

Aspects of roll rasp type cutter and insert type cutter

図 3 にやすり型のカッタによって得られた粉砕粉末の典型的な粒径分布を示す。図から明らかなように、やすりのピッチを変えることで異なる粒径分布が得られる。

粉砕粉末の粒径は、カッタ形状のほかに、粉砕対象物を押しつける力、回転工具の回転数でも変化する。なかでも、粉砕対象物自身の性状がもっとも大きな影響がある。例えば、ガラス繊維を含有するプラスチックでは、粉砕方

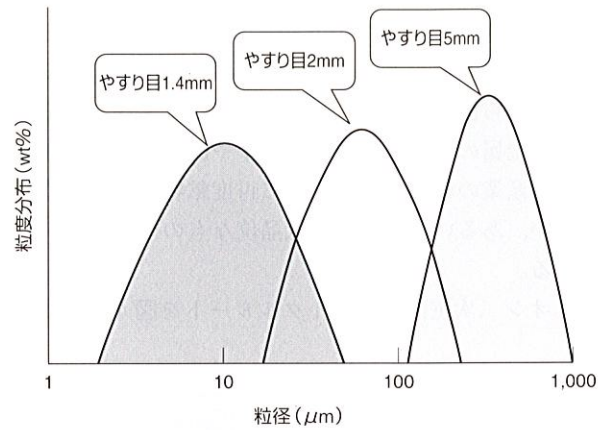


図 3. 微粉砕機の粉砕特性 やすり目の大きさを変えることで異なる粒度分布の粉砕粉末が得られる。

Rasping characteristics of microgrinder

向がガラス繊維の方向に平行であるか、あるいは垂直であるかで、得られる粉体の粒径は異なる。

この微粉砕機で廃回路基板を粉砕し、粉砕物を静電分離でプラスチックと分別して金属を回収する試験を進めている。廃回路基板を微細に粉砕するほど、基板のプラスチックと金属を精度よく分離できるが、粉砕に要する時間および静電分離での取扱いを考慮し、100~200 μm に粉砕している。基板プラスチックと銅(Cu)だけの非実装回路基板での試験では、この方法により 95% 以上の純度で Cu を回収できる。

POWDERMAN™ は、一工程で 1 mm 以下の粉末が得られることから、さまざまな材料のリサイクルへの適用に可能性が広がっている。マテリアルリサイクルにおいては、廃材料を微粉砕して新規材料に混合したり、新規材料で挟み込むなどの方法が多く採用されることから、この目的にも微粉砕機 POWDERMAN™ は適している。これまでも、プラスチックメーカーにおいて工場内で発生する熱硬化性樹脂成形品の端材および不良品を、50 μm 以下に微粉砕し、新規材料に混入することでリサイクルできることを確認している。今後、同様の応用が発展していくものと予測される。

3 Li イオン二次電池のリサイクル技術

将来の循環型社会に対応するため、電気・電子機器類のリサイクル技術の開発が不可欠となってきており、急速に普及が進んできたパソコン(PC)についても主要部品・材料のリサイクル技術の開発を進めている。ここでは、PC の小型化とモバイル化が進むなかで生産が急拡大している Li イオン二次電池のリサイクル技術について述べる。

Li イオン二次電池には正極材としてコバルト酸リチウ

ム(LiCoO₂)が用いられているが、Coは希少金属であるとともにその埋蔵量も海外に偏在しており資源枯渇、安定供給の観点から国内におけるリサイクルが望まれている。一般に有用金属のリサイクルは含有率や品位が低い場合は従来の素材産業の精錬・精製工程に再度鉱物資源として用いられるか、あるいは別用途の低品位なものへの利用が行われている。

Liイオン二次電池のリサイクルルートを図4に示す。

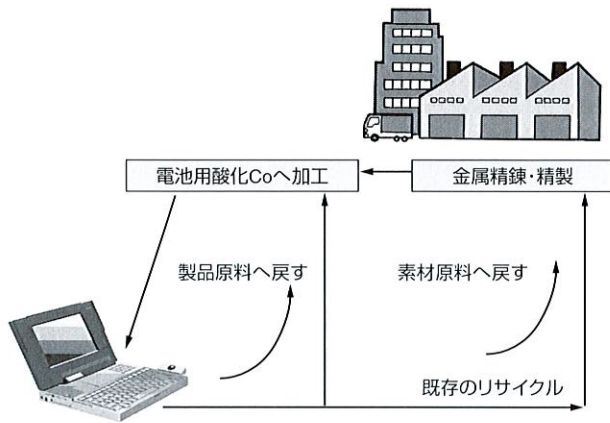


図4 Liイオン二次電池のリサイクルルート 製品原料へ直接に戻すためリサイクルルートが短い。

Recycling loop for lithium-ion secondary batteries

Liイオン二次電池の場合も、現状では使用済みの電池を焙(ばい)焼した後、炉で溶融して金属インゴットとし、既存の金属精錬・精製工程を経てCoの汎(はん)用金属素

材としてリサイクルすることが試みられている。このような方法は既存の設備を使えるメリットがあるものの酸化物として使用しているCoを再度、材料流通の最上流側の金属まで戻して汎用品化するため、必要以上にエネルギーが消費されるとともに、施設が設置されている場所がきわめて限られている。

当社では将来の循環型社会に備えて、リサイクル工程が元の製品の製造工程に直結するインバースマニュファチャリング(将来の循環型製造)技術として、廃棄Liイオン二次電池から電池材料としてCo酸化物を再生する技術開発を進めている。

図4にCo酸化物のリサイクルルートをこれまでのリサイクルルートと併せて示す。

廃棄Liイオン二次電池から電池材料としてのCo酸化物を再生するプロセスの概要を図5に示す。

電池はバッテリーパックとして回収し、放電後解体する。解体物から、磁力、比重およびふるいを用いて選別して得られた電極部位を酸で溶解し、Coを電極から溶出させる。Coが溶解している溶液から不純物を除去した後、CoおよびLiを沈殿回収する。

この方法は、Liイオン二次電池の主要資源であるCoとLiの両者を高純度で回収してそのまま電池材料の原料とするため、リサイクルのループが短いという特長がある。

4 回路基板のリサイクル技術

ほとんどの電気・電子機器類には回路基板が使用されている。これらの回路基板には、Cu箔(はく)とはんだが配

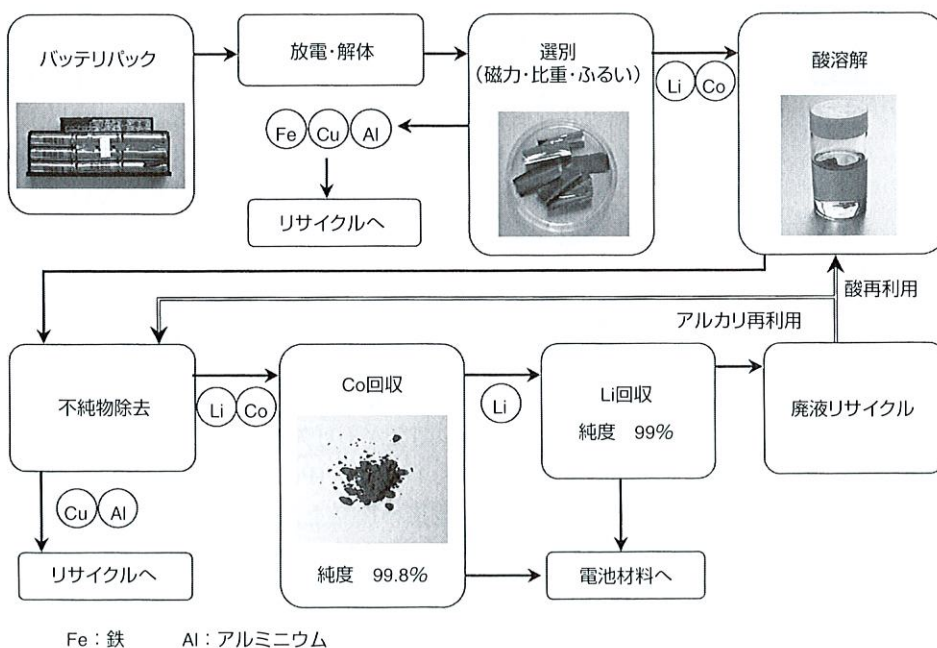


図5 Liイオン二次電池のリサイクル処理フロー CoとLiを高純度で回収して電池材料に用いる。

Flowchart of lithium-ion secondary battery recycling

線材として用いられており、それらを回収してリサイクルすることによって資源の有効利用が図れる。

そこで、当社では回路基板から金属類を回収する方法として、真空加熱技術の開発を進めている。真空加熱法は、比較的蒸気圧が高い金属類を真空下で回収する技術であり、基板に含まれるはんだから鉛(Pb)を蒸発分離回収できるといふ特長がある。

図6にPbとCuの蒸気圧と温度の関係を示す。図に示したように、PbはCuに比較してはるかに蒸発しやすい。

図7に回路基板のリサイクルフローの概要を示す。

回路基板は樹脂と金属類が複合しており、そのまま加熱すると樹脂類からガスが発生して真空にすることが困難である。そこで、まず回路基板を乾留して樹脂類から燃料と

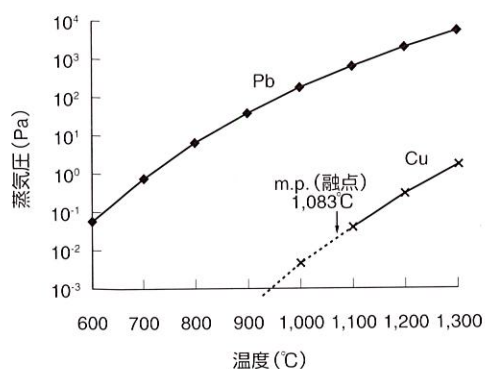


図6. PbとCuの蒸気圧 PbはCuに比較してはるかに蒸気圧が高いため分離回収できる。

Vapor pressures of lead and copper

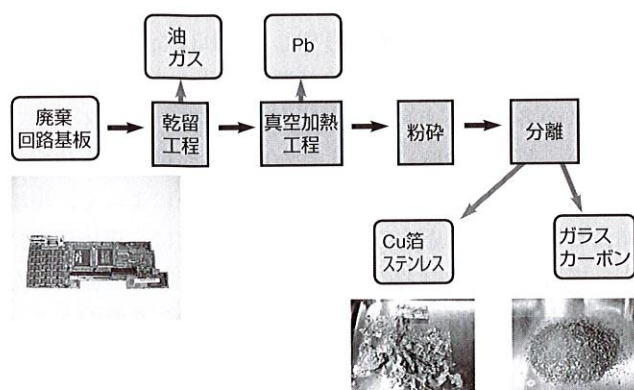


図7. 回路基板のリサイクル処理フロー 回路基板からPb, Cu, 燃料などを回収できる。

Flowchart of printed circuit board recycling

して有機物を回収するとともに樹脂類を炭化させて、次の真空加熱工程でのガス発生がないようにする。真空加熱工程では、乾留後の回路基板からはんだ中のPbを蒸発させて除去し、装置内のトラップで再度固化して回収する。真空加熱処理した回路基板は、炭化が進んでいるため簡単な粉碎および金属分離操作でCu箔を回収することができる。

この方法は、回路基板からPb, Cuなどの金属を回収することができるとともに、残ったガラス、カーボン類からPbが溶出しないという特長がある。

5 あとがき

2001年4月の法施行に向けて、家電リサイクル施設の検討・建設が進められており、同時にリサイクル率およびリサイクル効率の向上、廃電気品の安定化などのためのいっそうの技術開発が求められている。

微粉碎機により、これまで未利用であった廃材などが少ない工程と設備で微粉碎できることにより、高度な分離の達成や新規材料への混入などのリサイクルが可能になるものと期待される。Liイオン二次電池から、電池材料としてのCo酸化物を再生することにより、リサイクル効率の向上が図れる。また、回路基板から金属類を回収する真空加熱技術は、資源の有効利用とともに、残ったガラス、カーボン類からPbが溶出しないように安定化することができる。

今後も、より以上のリサイクル技術の高度化とその適用の拡大に向けて、研究開発を行っていく所存である。

文 献

- (1) 中西清隆. 東芝, 複合材料のリサイクル用に微粉碎機を開発. 日経メカニカル. 532, 1999, p.45.
- (2) 手塚史展. 他. "リチウムイオン二次電池のリサイクル技術の提案". 第8回廃棄物学会研究発表論文集. 1997-10, 廃棄物学会. 1997. p.480-482.



日下 謙一 HINOSHITA Kenichi

環境事業推進本部 環境システム技術部主務
環境設備のシステム設計に従事。
Environmental Management Business Group.



古屋 富明 FURUYA Tomiaki

研究開発センター 環境技術研究所部長。
環境保全技術の開発に従事。触媒学会会員。
Environmental Engineering Lab.