

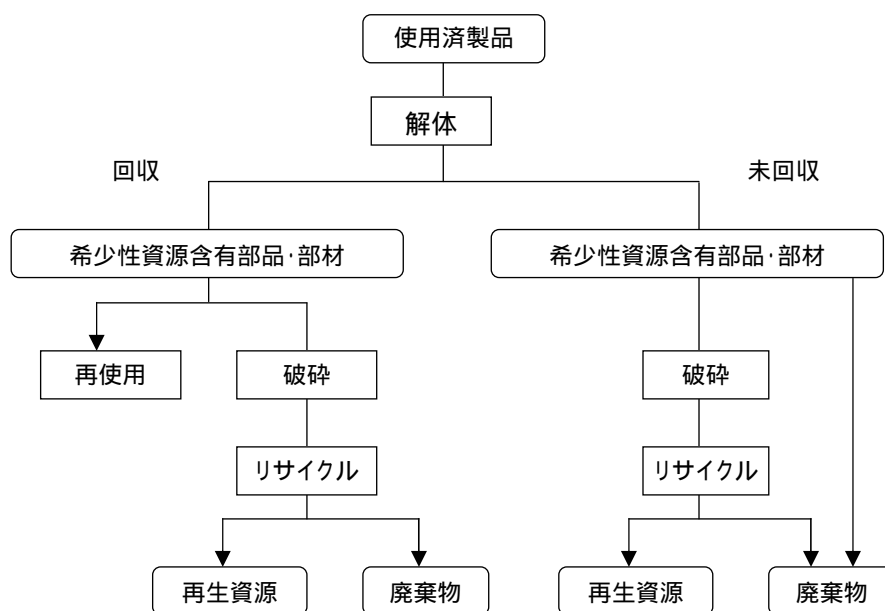
3. 希少性資源のリユース、リサイクル

3 - 1. 使用済製品からの部品・部材のリユース、リサイクルの現状

希少性資源では、80%近いリサイクル率を示すニッケルからほとんどリサイクルされていないものまでであるが、使用済製品から回収が進んでいるのは、触媒として用いられた白金、パラジウム、レニウム、タングステン、モリブデン等と工具としてのタングステン、タンタルであり、高価な金属であるとともに、製造ノウハウ流出抑制の観点から回収率が高くなっている。そのほかにゲルマニウム、ガリウム、インジウムなどの半導体材料は、製品の歩留りが低く、多くの部品が自家発生くずとして循環使用されており、その例としてベリリウム銅からのベリリウム、ヒータ材からのタンタル、合金くずからのチタンやハウニウムなどが挙げられる。一方で、少量のためにセシウム、テルルのようにリサイクルルートも確立されておらず、ほとんどリサイクルされていないものもあるが、バリウム、ストロンチウムのように比較的多量に使用されていながらも、ほとんどリサイクルされていない金属元素もある。これらの金属の主な用途はブラウン管の蛍光体や塗料であるが、今後増加すると予測される電子製品廃棄物の回収が重要となる。また、電子機器のコンデンサーに多量に使用されているタンタルについてもほとんどリサイクルされていない状況である。

このような状況から、使用済家電製品、電子・情報関連製品や使用済自動車からの希少性資源の回収時の問題点を把握するために、現状の回収技術状況を把握することが重要である。

図3 - 1 使用済製品からの希少性資源含有部品・部材の回収



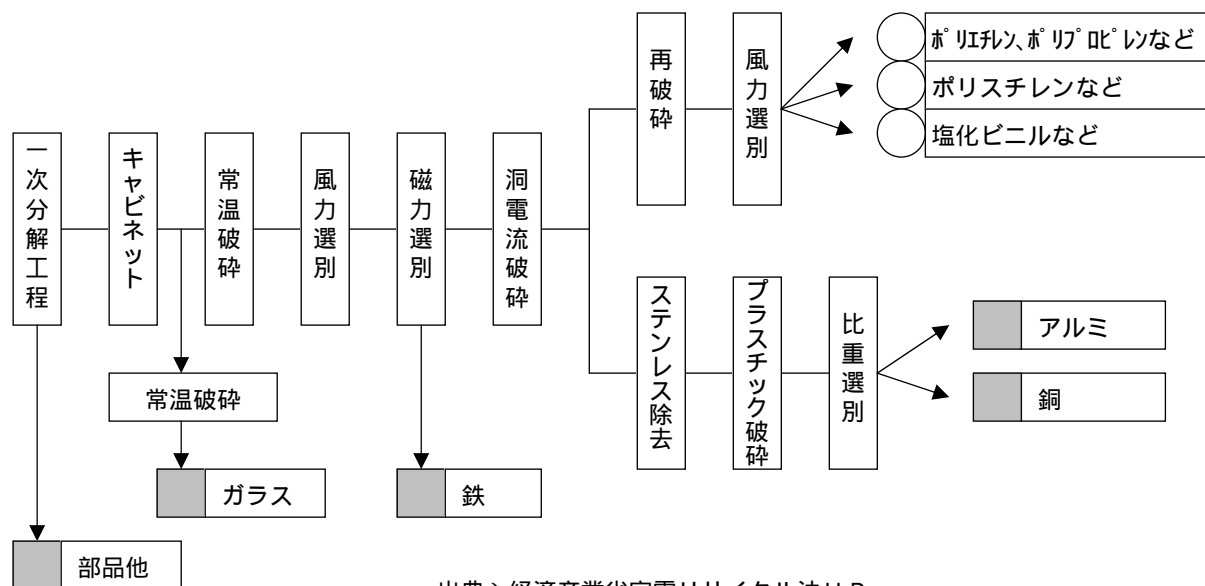
使用済製品のリサイクルでは、はじめに手解体によって再使用可能なものや素材として回収可能なもの、すなわちその状態で売却可能なものと、売却はできないがこの段階で取り出せば、以降の処理が容易になるものが回収されている。再使用可能なものは、中古品として

国内市場で販売されるか、もしくは輸出業者に販売され、海外で再使用される。素材回収目的のものは、さらに手分解により、また破碎後に機械的に素材毎に分別され、再生資源に生まれ変わる。一方、希少性資源含有部品・部材回収後の躯体は、シュレッダー処理され破碎物から機械的に素材別に選別され、再生資源原料として利用される。なお、破碎によって発生するシュレッダーダストは、熱回収か焼却・埋立処分される。

(1) 家電製品・情報機器

平成13年4月より施行された家電リサイクル法のもとで、テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機、エアコンがリサイクル処理されている。処理プロセスはリサイクルプラント（指定処理工場）によって少しずつ異なるが、基本的には図3-2のようになっている。一次分解工程では、手解体にて電源コード（大部分は指定処理工場に入荷する前に回収されている）、ハーネス類（内部配線）、ブラウン管、基板類、モーター、コンプレッサー、プラスチックケース、ホースなど種々のパーツが回収される。その後、破碎（シュレッダー）処理され、磁力選別で鉄を回収し、さらなる処理でステンレス、アルミ、銅、プラスチック類が回収されている（下図）。

図3-2 処理プロセスの例（常温破碎工程）



出典) 経済産業省家電リサイクル法HP

代表的な処理工場のプロセスを次に示す。

図3-3は、家電製品に加えてコピー機、パソコン、ファックス、プリンターなどのOA機器のリサイクルを行っている大手処理企業の処理プロセスと回収物を示したものであり、図3-4は同処理プラントから回収されるものと再資源化処理企業との関係を示したものである。基本的には主要構成素材別に回収されているが、具体的には写真3-1～3-28で示すように、種々の部品、素材が回収されている。

このなかで希少性資源が素材として回収される部品としては、貴金属（金、銀、パラジウムなど）が回収されるプリント基板、コネクタ（金メッキ）が挙げられる。また、感光ド

ラムのテルルについては、所定のルートにのってリサイクル処理されている。同じようにセレンも毒性があることから、所定ルートにて回収、リサイクルされている。蛍光灯や液晶バックライトからレアメタルを回収するために専門処理業者にて処理されている。また、ブラウン管シャドーマスクは、機種が限定されるが、Ni を 20~30% を含むものがあり、Ni 回収用として分別回収している。同様に電子銃においても Ni-Cr があり、ステンレス鋼原料の成分調整用としてリサイクルされている。これらはステンレス材料源であるが、Ni や Cr 単独での回収はない。ニッケル等が含まれるステンレスはステンレス原料として回収されている。各種電池も別々に回収されている。コンデンサーなども回収されているが、銅やアルミの回収目的で輸出されることもある。

偏向ヨークも銅回収目的で中国に輸出されることがあるが、フェライトがフェライト素材として回収されているかは不明である。

プリント基板上の電子部品中のその他の希少性資源や、各部品、素材に含まれている希少性資源は、続く再資源化処理では元素として回収されていない。貴金属以外の希少性資源も回収素材中の含有された状態では回収されているものの、希少性資源の存在や特性は考慮されていない。しかし、モーター類に使用されている磁石のように、輸出先(中国等)で解体、取り出されて、磁石素材としてリサイクルされるものもある。

なお、プリント基板においては、一部の処理企業から有価物に混入した状態で輸出され、電子パーツが取り出されていることも指摘されており、その場合、希少性資源は部品に含まれて再利用されている。

図 3 - 3 使用済家電製品・OA機器の破砕・選別プロセス

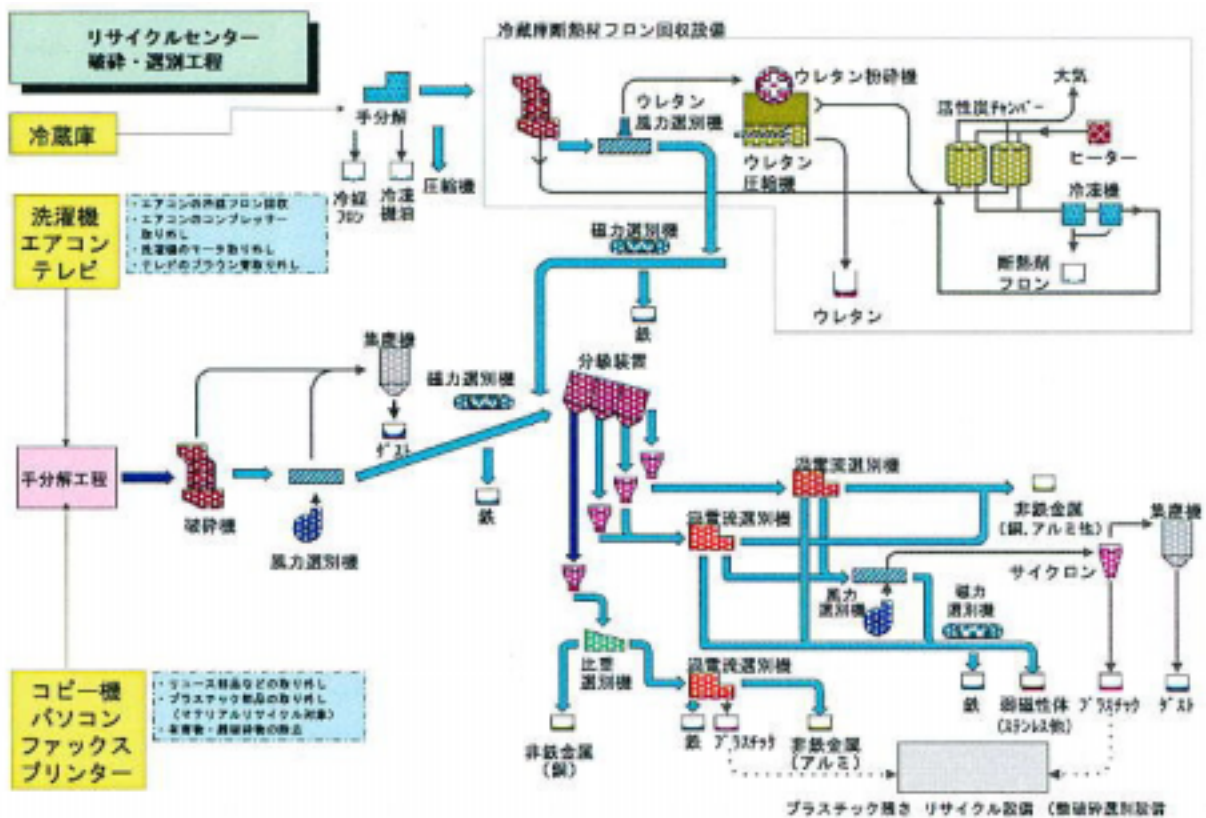


図3 - 4 リサイクル処理マテリアルフロー

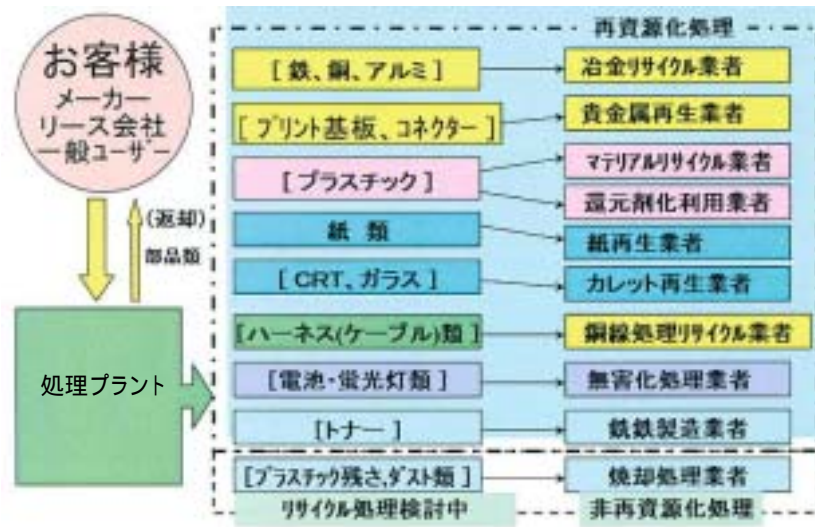


写真3 - 1 冷蔵庫のコンプレッサーほか



写真3 - 2 冷蔵庫のプリント基板



写真3 - 3 冷蔵庫のプラスチックケース



写真3 - 4 冷蔵庫のドア磁石



写真3 - 5 エアコンの熱交換器



写真3 - 6 エアコンの基板ほか



写真3 - 7 エアコンのコンプレッサー



写真3 - 8 エアコンからの各種回収部



写真3 - 9 洗濯機のモーター



写真3 - 10 洗濯機の給水ホース



写真3 - 11 洗濯機の排水ホース



写真3 - 12 回収したトランス類



写真3 - 13 ハーネス（内部配線）



写真3 - 14 液晶パネル



写真3 - 15 液晶バックライト



写真3 - 16 感光ドラム

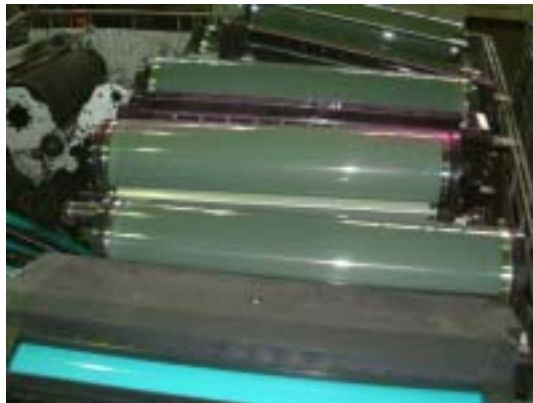


写真3 - 17 OA機器の蛍光管



写真3 - 18 カラープリンターのトナー



写真3 - 19 OA機器のプリント基板



写真3 - 20 パソコンのマザーボード



写真3 - 2 1 OA機器のプリント基板



写真3 - 2 2 パソコンの外部記憶装置



写真3 - 2 3 OA機器の外箱(プラスチック)



写真3 - 2 4 IT機器(ルーター)



写真3 - 2 5 ミックスメタル(輸出)



写真3 - 2 6 アルミ主体のメタル(輸出)



写真3 - 2 7 破砕プラスチック(高炉還元剤)



写真3 - 2 8 シュレッダー後の銅主体の金属

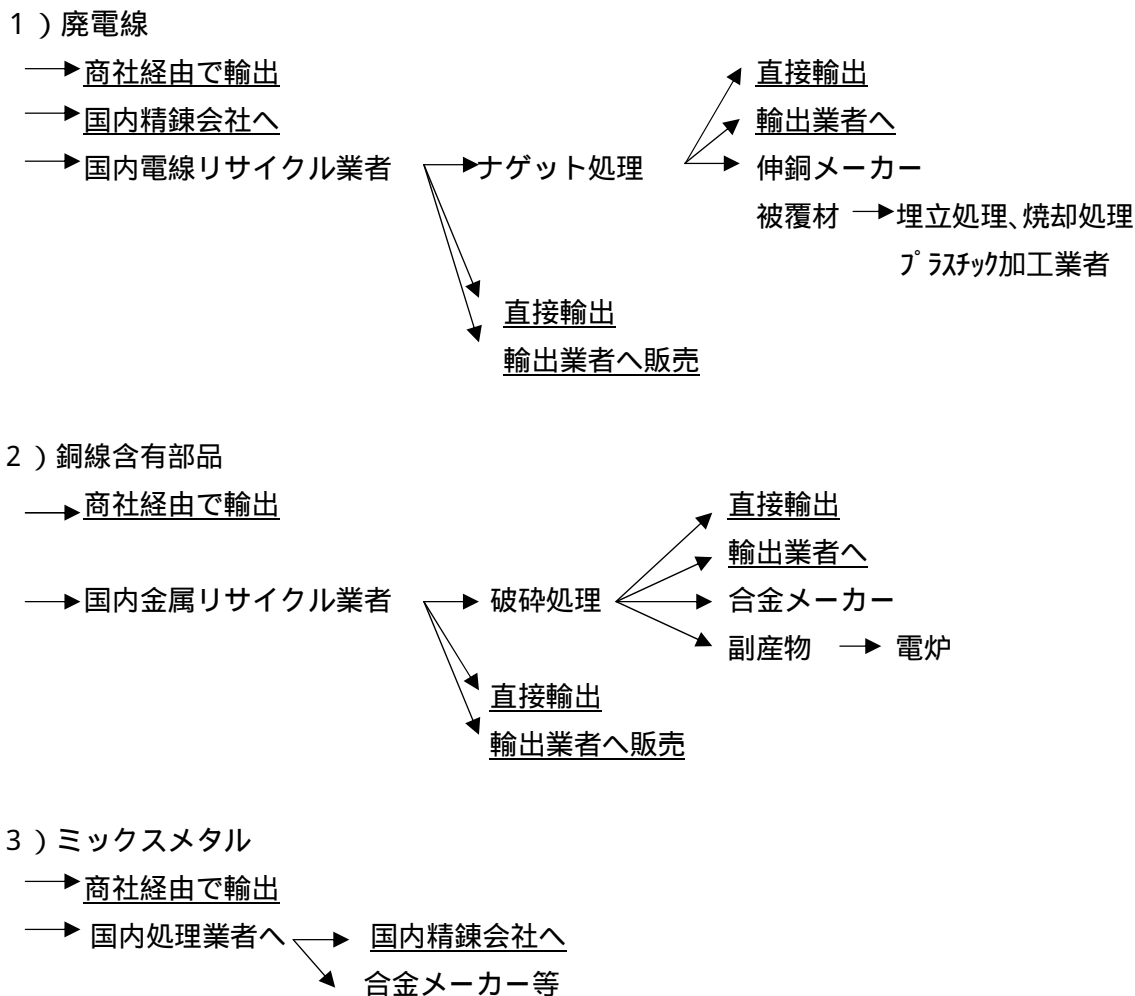


解体からの回収物、回収後残渣のシュレッダー後のミックスメタルが、どのようなルートで処理されているのか。使用済家電製品より回収された廃電線（内部配線と電源コード類）は、国内の電線リサイクル業者（ナゲット業者）や大手商社や金属専門業者に販売されたり、輸出されている。

一方、コンプレッサー、モーターやトランスなどの銅線含有部品も、廃電線同様に大手商社、専門業者へ販売し、その後輸出されるケースがある。また、国内金属リサイクル業者への販売される場合がある。金属リサイクル業者では、破碎処理した後に、合金メーカーに販売する場合や輸出業者に販売する場合があります。副産物である回収鉄は、商社を通じて電炉メーカー等に販売されている。

ミックスメタルについては、大手商社や金属専門商社に販売する場合、また国内金属専門処理業者（分別処理業者）に販売する場合があります。金属処理業者においては、分別した銅分を伸銅メーカー、合金メーカーに直に、商社経由で販売する。

図3 - 5 使用済家電製品解体からの回収物の処理ルート



家電リサイクルプラントへの聞き取り及びHPの調査結果の概略を、表に示した。なお、テレビのブラウン管、エアコン・冷蔵庫のコンプレッサーは100%回収している。

表3 - 1 解体後に回収される部品等の処理ルート・処理方法

企業	品目	銅線および銅線含有部品の回収状況	回収物の行き先	行き先での処理
1	テレビ	電線、偏向ヨーク、消磁コイル、トランス等(約13%)	電線類：電線処理業者	電線類：ナゲット処理
	冷蔵庫	電線、コンプレッサー	その他：専門処理業者 コンプレッサー、モーター：専門処理業者	その他：処理後一部は中国へ輸出
	洗濯機	電線、ハーネス、モーター		
	エアコン	コンプレッサー、ファンモーター等 電線		コンプレッサー、モーター：中国へ輸出し、手分解で資源化
2	テレビ	電線、偏向ヨーク、消磁コイル、電源トランス(大型)	電線類(1~2%)：電線処理業者	電線類：一部ナゲット処理で、一部輸出
	冷蔵庫	電線、コンプレッサー	偏向ヨーク：専門処理業者	コンプレッサー：電極類を破壊して輸出して資源化 モーター：恐らく輸出
	洗濯機	電線、ハーネス、モーター	コンプレッサー：専門処理業者	
	エアコン	電線、コンプレッサー	モーター：専門処理業者数社	
3	テレビ	電線、偏向ヨーク、消磁コイル	電線類：商社	電線類：精錬
	洗濯機	塩水除去後シュレッダー処理	ミックスメタル：国内処理業者	ミックスメタル：台湾で処理(実際は中国で処理)
	エアコン	フロン回収後シュレッダー処理		
4	テレビ	電線、偏向ヨーク、消磁コイル、トランス	電線類：電線処理業者、商社、精錬業者	電源コード：ナゲット処理
	洗濯機	電線、シュレッダー後被覆線、モーター等を回収	その他：精錬業者	その他：精錬
	エアコン	電線 シュレッダー後ミックスメタル	ミックスメタル10mmアンダー(貴金属が多い)：精錬業者 ミックスメタル大：国内処理業者(6~7割)、貿易業者(3~4割)	トランス：精錬 ミックスメタル10mmアンダー ミックスメタル大： 国内処理業者で重液選別。貿易は中国へ輸出
5		電線 コンプレッサー解体物 ミックスメタル	金属処理業者へ 電源コード コンプレッサー解体物 ミックスメタル	
6		電源コードなどの被覆線 モーター、コンプレッサー 冷蔵庫内部の配線類はダストへ。	以前は輸出していたが、現在は待ちの状態。モーターコアは中国に輸出 電炉メーカーによっては、銅分の一切だめと言われているが、実際には入っている。冷蔵庫内部のファン用モーターがはいる。 銅付鉄(モーターコア)の取引がある。電炉では、それを調査するため。	
7	テレビ	電線、偏向ヨーク、消磁コイル	非鉄の回収量は4品目で2%	
	冷蔵庫	電線、コンプレッサー	シュレッダーダスト発生量：27%	
	洗濯機	電線、モーター、電解コンデンサー	廃電線：精錬業者	
	エアコン	電線、コンプレッサー、モーター、トランス	トランス 偏向ヨーク	
8	テレビ	電線、偏向ヨーク、消磁コイル、内部配線(ほとんどない)	内部配線	コンプレッサー：商社経由で輸出(中国) ミックスメタル：輸出
	冷蔵庫	電線、コンプレッサー	コンプレッサー：商社へ(その後輸出)	
	洗濯機	電線、モーター、コンデンサー、トランス	モーターコア：輸出	
	エアコン	電線、コンプレッサー、モーター、トランスなど		
9	テレビ	偏向ヨーク、配線、消磁コイル、トランス、基板	配線、偏向ヨーク：専門処理業者	電線類：ナゲット処理 一部の内部配線：国内精錬企業 コンプレッサー、モーター：輸出
	冷蔵庫	電線、コンプレッサー、基板	コンプレッサー：専門処理業者	
	洗濯機	電線、アース線、モーター、基板	モーター：専門処理業者	
	エアコン	コンプレッサー、ファンモーター、配線、基板		
10	4品目	上記と同じものを回収	非鉄発生量2,500~3,000トン/月 価格不明 大手商社へ販売	大手商社経由では国内。輸出していないが、別ルートで輸出の可能性あり。

一般に、家電処理プラント側の意識として、レアメタル回収の考えを持っているところは少ない。ブラウン管のファンネルには酸化鉛(PbO)が 20~30%含まれている。これについては量が限定されるが、鉛の選鉱過程(鉛 60~70%)から精錬の過程で利用している。同和鉱業の小坂精錬、三井の神岡で進行中であり、神岡においてもある程度のカレットを鉛回収として精製工程に利用している。金、銀、パラジウム、白金は回収しているが、タンタルは回収していない。その他の金属としては銅、鉛、鉄くらいである。アルミ箔はスラグとなる。アルミについては手選別のみである。

液晶や PDP も精錬業者に流れているが、どの程度まで回収しているか不明である。キーデバイスにレアメタルが入っていることは間違いないが、メーカーモリサイクルにおいては今の段階では特に回収を考えていない。

エアコンの軸流ファンモーターにはネオ磁石が使われている可能性がある。輸出されているものでレアメタルがあると思われるものとしては、端子付きワイヤ(金)、ミックスメタル(磁石)、プリント基板(これは輸出していないことになっている)が挙げられる。

シュレッダーダストの樹脂中には塩ビ、微細な銅、アルミ箔が混入している。鉄は純度が高く上の中か下のクラスと評価されており、電炉メーカーでは純度を高めるのに使用されている。エアコンのアルミ、銅は高く売却できる。このため分解してアルミ、銅だけ回収し、樹脂は埋立に回すルートがあるようだ。OA 機器からはワイヤーハーネス、モーター、トランスを取り外す。蛍光灯は全数お金を払って処理業者に引き取ってもらう。二次電池はメーカーへ送る。(Li 電池は有価で売れる)一次電池は処理業者に引き取ってもらう。基板は処理業者が回収している。OA 機器、エアコンの基板は貴金属を多く含むので高く売却できるが、テレビ、洗濯機の基板は貴金属が少ないために価格は抑えられている。

(2) 使用済自動車

使用済自動車の解体工程も、基本的には家電製品と同じであるが、家電製品と異なる点として、自動車から取り出したパーツが中古パーツとして流通可能なものがある点を挙げることができる。それ以外は売却可能な部品と素材回収目的のものに分かれる。

使用済自動車の処理は、通常、解体業者による前処理及び部品取りを主とする解体がなされ、続いてシュレッダー業者による破碎・選別が行われる。それぞれの工程で回収されたものが部品あるいは素材としてリサイクルされ、残るシュレッダーダスト（自動車リサイクル法でいう「自動車破碎残さ」）が最終処理される。「ガラ」のプレスものの輸出、あるいは電炉への直接投入も行われている。シュレッダーダストをガス化溶融炉によるサーマルリサイクル等の処理が行われている。

この状況を大まかに示したものが図3-6である。「ガラ」を電炉原料として用いる場合は、ガラに含まれる銅分量は極力少ないことが望ましく、0.3%との基準となっている。高炉法において特に防錆性を高めるために銅分を添加するケースがあるが、この場合の銅分はマテリアルリサイクルされていると言えよう。

図3-6 使用済自動車の処理及び回収部品を含むものの流れの概略

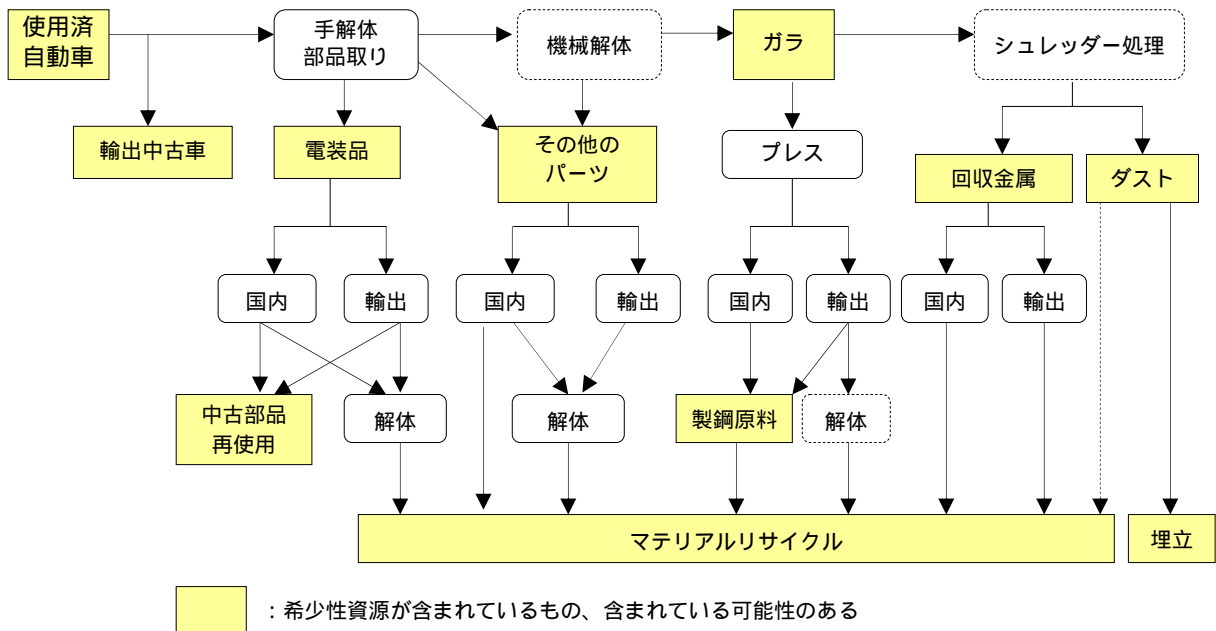


図3-6は、使用済自動車の解体以降の概略を示したものであり、回収・取り外し部品の性状や回収方法・量（発生量）は、解体業者及びシュレッダー業者の処理方法、処理設備・付帯設備の有無、経営方針の違いにより異なる。が、平成17年4月より自動車リサイクル法が施行されたことによって回収部品点数は多くなっている。（図3-7～3-10、表3-2参照）。

また、中古車として輸出されているものも多いが、リサイクル面で各種素材の高騰もあって順調になされている状況である。

図3 - 7 ~ 3 - 10、表3 - 2の出所) 2004年の廃車処理状況(第4回循環型社会構築のための鉄スクラップ資源利用における環境負荷最小化モデルの構築研究会配布資料

図3 - 7 2004年の廃車処理状況

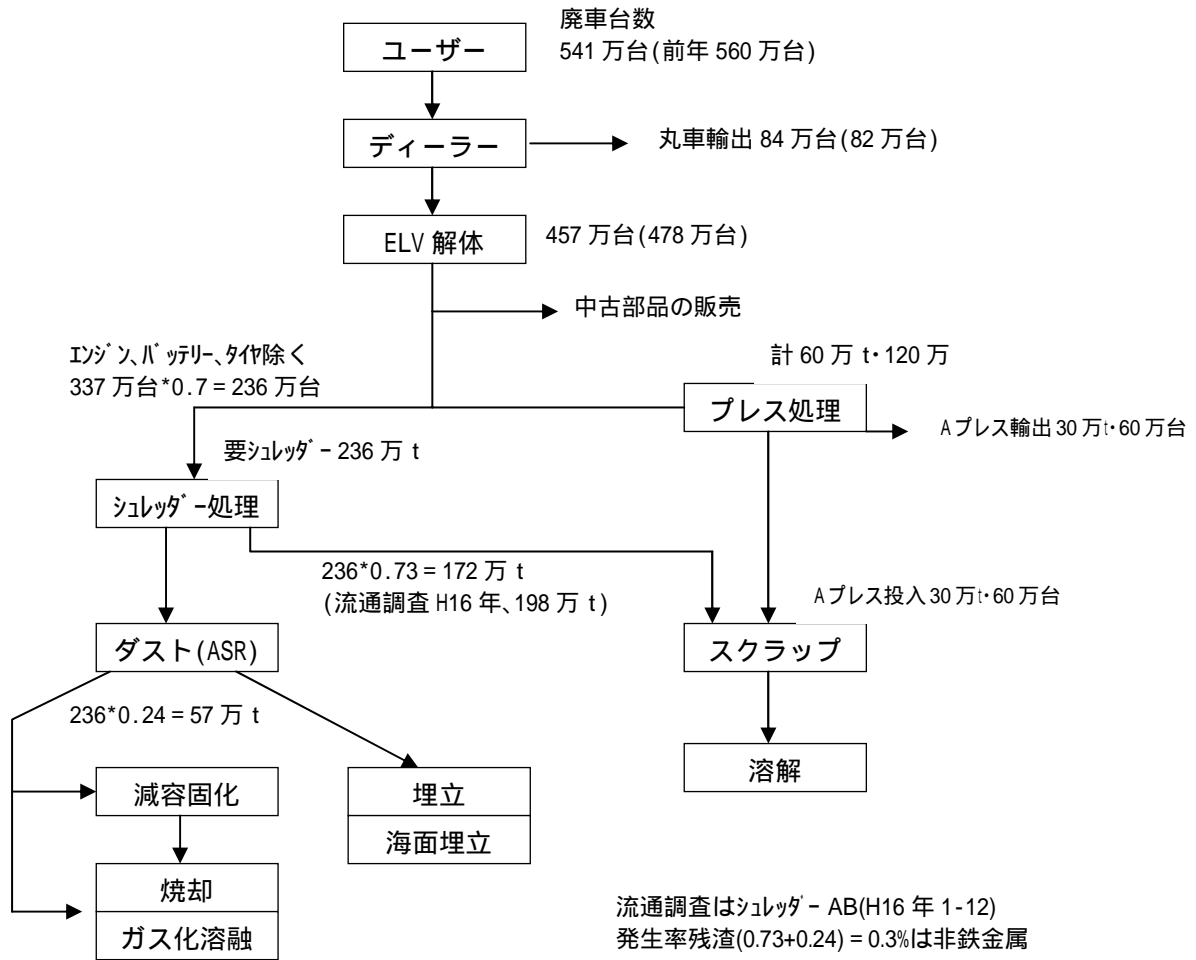


図3 - 8 2005年(自り法施行後)の動き - 輸出増加、新流通出現から国内処理減少

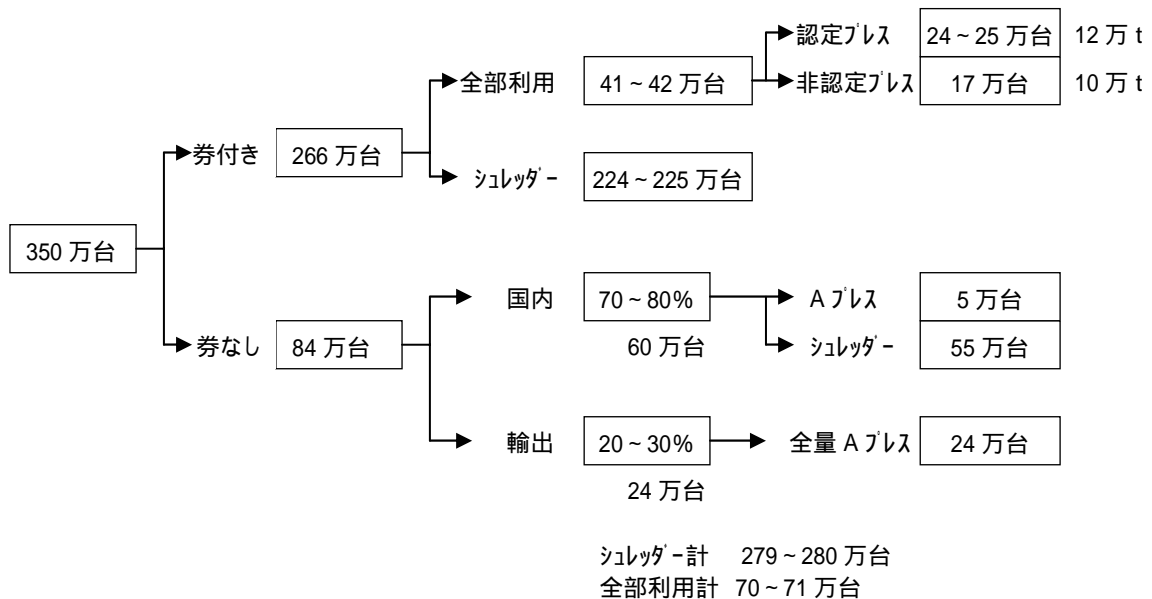


図 3 - 9 軽自動車・Cu 関連採取部品状況

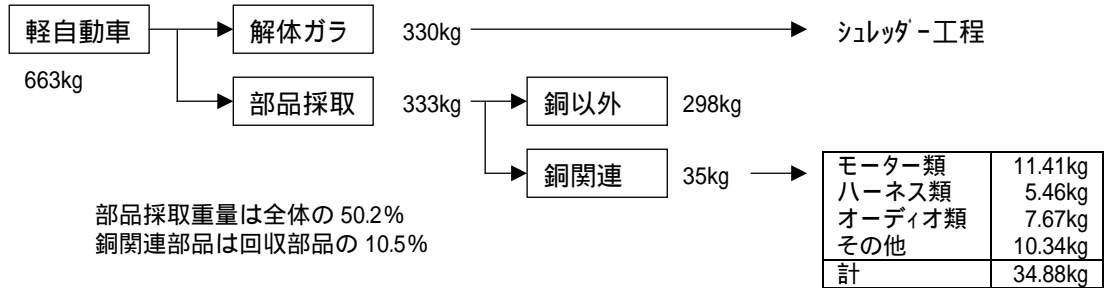


図 3 - 10 普通自動車(1,000~1,500cc)・Cu 関連採取部品状況

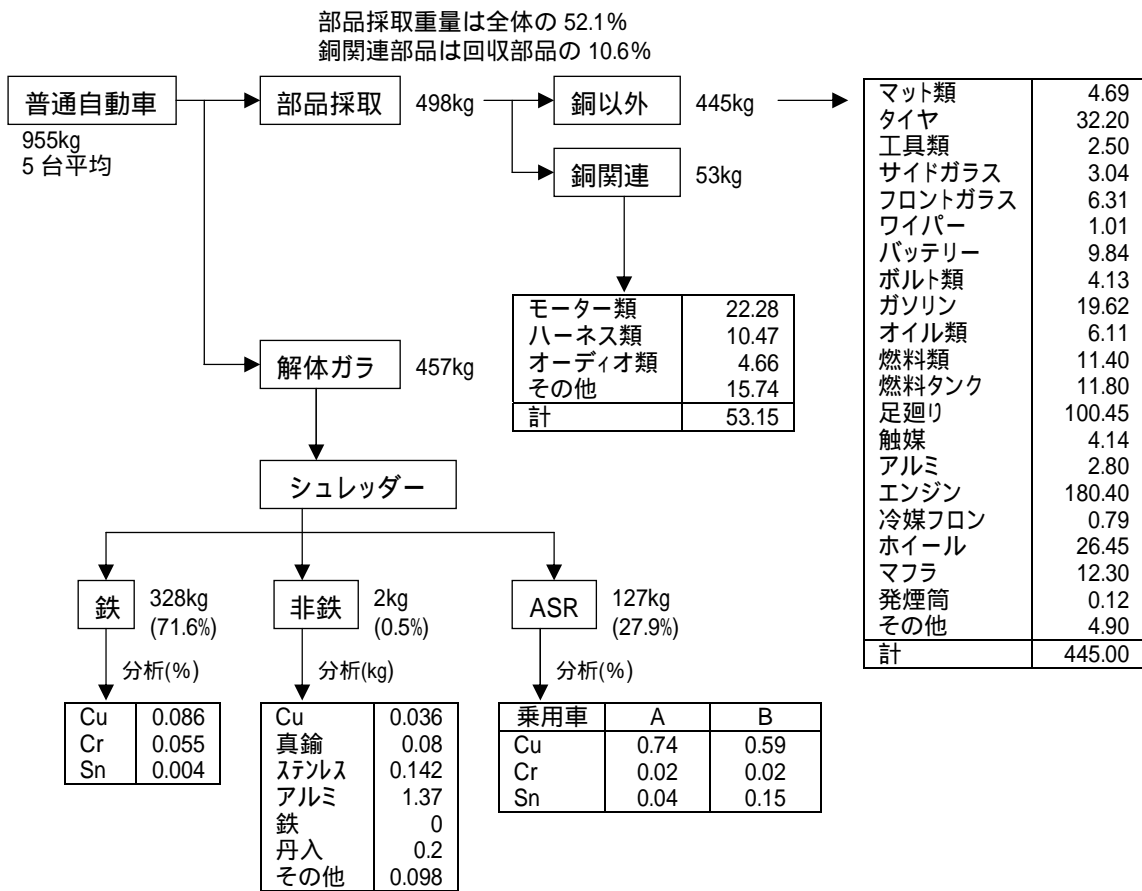


表 3 - 2 普通乗用車(1,000~1,500cc)の Cu 関連取り外し部品の詳細

回収部品	回収重量(kg)	取り出した部材	重量(kg)	取り出し方法(%)	
				人手	ニブラ
ハーネス類	10.47	フロア	1.01	20	80
		トランク内	0.56	100	0
		ドア	1.00	100	0
		リアトレイ	0.13	100	0
		ダッシュボード	4.57	0	100
		E / G	1.58	10	90
		E / Gルーム	1.62	0	100

モーター類	22.28	ドアモーター	5.68	100	0
		ワイパー	2.08	100	0
		コンプレッサー	5.41	100	0
		プロア	1.33	10	90
		ダイナモ・セル	7.78	100	100
オーディオ類	4.66	ステレオ・スピーカー	4.66	100	0
その他	15.74	ドアスイッチ	0.37	100	0
		シガーライター	0.03	100	0
		ホーン	0.30	100	0
		ヒューズボックス	0.94	100	0
		燃料ポンプ	1.38	100	0
		ラジエター	5.93	10	90
		A/C コンデンサー	3.48	10	90
		メーター	0.72	0	100
		エバポレーター	1.85	0	100
		ヒータコア	0.74	0	100
合計	53.15		53.15		
天井のハーネス、座席の移動モーター、サイドミラーのモーターはシュレッダー処理					

シュレッダー工程内で回収された非鉄金属の分類は、銅、真鍮、アルミ、ステンレス、丹入（亜鉛ダイカスト）、その他（ガラスが主）の6分類となっている。

- 1．色による選別
- 2．赤銅色：銅、 黄金色：真鍮
- 3．光沢の有無による選別 光沢がある：ステンレス
- 4．重さによる選別 軽い：アルミ、重い：丹入（亜鉛と鉛）

以下に、精緻な解体を行っている事業場で回収されて部品の写真を示した。

写真3 - 29 SRS バック (表)



写真3 - 30 SRS バック (裏)



写真3 - 31 エアコンのコンプレッサー



写真3 - 32 エアコンの送風ファン



写真3 - 33 ラジエター



写真3 - 34 自動車のコンピューター



写真3 - 35 オーディオ機器



写真3 - 36 カーオーディオ類



写真3 - 37 自動車の制御機器



写真3 - 38 オーディオスピーカー



写真3 - 39 ハンドル



写真3 - 40 ハンドルのイグニッション部



写真3 - 41 シートベルト



写真3 - 42 各種モーター



写真3 - 43 オルタネーター(ダイナモ)



写真3 - 44 ディストリビューター



写真3 - 45 サスペンション



写真3 - 46 ドライブシャフト



写真3 - 47 ドアミラー



写真3 - 48 リアバンパー



写真3 - 49 ライト類



写真3 - 50 ラジエーターファン



写真3 - 51 燃料タンク



写真3 - 52 マニホールド(左)



写真3 - 53 排ガス浄化触媒



写真3 - 54 排ガス浄化触媒



写真3 - 55 ワイヤーハーネス



写真3 - 56 解体後の室内(運転席側)



写真3 - 57 エアコン配管類



写真3 - 58 その他の配管類



リユースされるものはオーディオ製品、アルミホイール、足回りなどである。ハーネス類は、解体業者が自ら輸出する場合、大手商社や輸出専門業者に販売する場合、国内精錬会社へ販売する場合、国内電線リサイクル業者（収集業者）に販売する場合、一部であるが自社設備で処理する場合がある。

一方、各種モーター（ドアミラー用、ドア窓開閉用、ワイパー用、シートアジャスター用など）、ダイナモや各種のコンピューターなどの電装部品等は、直接輸出、あるいは輸出業者へ販売（間接輸出）、あるいは国内金属リサイクル業者へ販売されている。金属リサイクル業

者（大手の解体業者ではシュレッダー業を兼ねているところもある）で破碎された後に、国内の合金メーカーや金属製錬業者に販売する場合、輸出業者に販売される場合がある。なお、選別により回収された鉄分は、商社を経由してあるいは直接、電炉メーカー等に販売されている。

金属精錬リサイクル業者において希少性資源が回収されているものは、自動車特有の三元触媒（貴金属回収）と電子部品である。マフラー等のステンレス部品や各種の非鉄合金は、それぞれステンレス原料や非鉄合金原料として、再生原料にリサイクルされ、一部は輸出されてリサイクルされている。特殊鋼からなる部品の多くは、輸出されるか、鉄スクラップとして電炉原料としてリサイクルされているが、特殊鋼に含まれる希少性資源の特性が活かされていない。例えば、特殊鋼が多いサスペンションなどの足回りは、リビルト用（リユース部品）として国内に流通するもののほかに、輸出されるものもあり、この場合は特殊鋼部品として価値を温存したままで循環されていると言える。また、自動車「足回り」部品として電炉メーカー（特殊鋼メーカー）に販売されている場合、希少性資源を含有している利点を活かして、添加元素原料として利用しているものと考えられ、マンガンなど価格高騰を受けて、実際に希少性金属源として活用している（図3 - 11参照）。

「ガラ」については、シュレッダー処理される場合、シュレッダーされずにプレスされた後に、輸出される場合と電炉に投入される場合とがある。

ガラのシュレッダー後に選別回収されるミックスメタルについては、シュレッダー業者が直接輸出する場合、大手商社や金属輸出専門業者に販売する場合、また国内金属専門処理業者（分別処理業者）に販売する場合がある。金属処理業者においては、分別した銅分を伸銅メーカー、合金メーカーに直に、商社経由で販売する。輸出されたものは、例えば中国では20種前後に分別して、再生金属原料としてそれぞれの金属、合金にリサイクルされている。

なお、解体業者・シュレッダー業者により、自社での処理範囲が異なり、ミックスメタルから銅分などを選別回収している業者もいる。

図3 - 11 自動車解体物の流れの分類

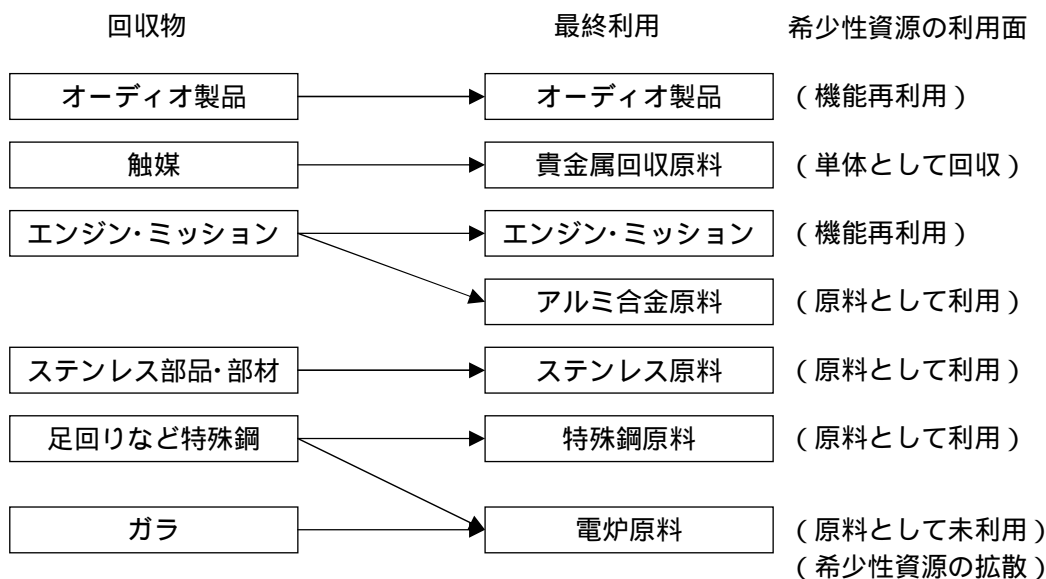


表3-3 自動車解体業者及びシュレッダー業者における使用済自動車の処理

企業	処理量	処理対象 車種	回収部品の回収状況	回収物の行き先	行き先での処理
1	18,000台/年	乗用車、商用車	<ul style="list-style-type: none"> カーノックダウンでの取引（輸出） 解体からの回収物 <ul style="list-style-type: none"> セルモーター、ダイナモ、コンプレッサー エンジンに付いているハーネス 解体時にワイヤハーネス （参考） <ul style="list-style-type: none"> その他パーツ：解体車両の4割から回収（残り6割からはパーツ類は一切回収しない） ヒータコア、エバポレーター、コンデンサー、モーター類 噴射ポンプ、ドアミラー、 国内向け：約1割、海外向け：約3割 	<p>エンジンの輸出時にはセルモーター、ダイナモ、コンプレッサーが付ける。 輸出されないモーター類の約3割：専門処理業者（リビルト業者）へ売却 輸出されないモーター類の約7割：商社経由で非鉄金属業者へ売却</p> <p>ワイヤハーネス：ナゲット処理</p> <p>ガラ：平均450～500kg/台</p>	<p>輸出されないモーター類の約7割：輸出かどうか不明</p> <p>ワイヤハーネス由来銅：売却 ナゲット残渣：埋立</p> <p>ガラ：高炉</p>
2	12万～13万台/年	乗用車 95%	<ul style="list-style-type: none"> エンジンを外した後（2～3割）に、シュレッダー処理 エンジンつき（7～8割）でシュレッダー処理 <p>従って、ハーネス、部品としての回収される解体物はない。ただし、事前に外国人バイヤー（中国、ロシア、マレーシアなど）が工場内で輸出向けに部品を取り外す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ミックスメタルは発生しない。（重液選別で徹底して分別） 	<p>回収エンジンの大部分は輸出</p> <p>ハーネス、モーター、ドア内部の小型モーターなどからの銅線類：精錬業者（発生量：約480トン/年、一部タイヤのスチールコードも）</p>	
3	48,000トン/年	自動車の割合80%	<p>基本的に自動車の解体は行っていない。（ただし、別の解体工場ではハーネスは回収）</p> <p>ガラの処理が専門</p> <ul style="list-style-type: none"> エンジン（銅線類つき）銅 ミックスメタル（銅は少なく、ステン、亜鉛合金が多い） 	<ul style="list-style-type: none"> エンジン（銅線類つき）：アルミ溶解業者 ハーネス：ナゲット処理業者（ただ同様の価格） 銅：商社経由銅合金メーカー ミックスメタル：国内処理業者、商社 	<ul style="list-style-type: none"> エンジンの銅線類：アルミ溶解業者で分別後はわからない。 ミックスメタル：国内処理業者。商社経由で中国へ輸出（価格は亜鉛の市場価格程度）
4			<p>エンジン等を外した後は、シュレッダー処理</p> <ul style="list-style-type: none"> ハーネスとしての回収なし。 ミックスメタル（発生量1.5%） ダスト（発生量約30%） 	<ul style="list-style-type: none"> ミックスメタル：国内処理業者、輸出業者 ダスト：焼却処理 	<p>ミックスメタル：国内処理業者：重液選別 輸出業者：中国へ輸出。</p>
5	24,000台/年	乗用車 95%	<p>仕入車種は、バッテリー、バンパー、フロム、燃料等を回収した後、外国人貿易業者が直接、場内で必要なパーツ、部品を回収。その後シュレッダー処理。前段階でもハーネスの回収はしない。</p> <ul style="list-style-type: none"> エンジン（回収率は5割～6割） <p>シュレッダー後に非鉄を3段階の選別で回収</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉄スクラップ（約70%、銅含量若干ついている） 非鉄（5～6%） 銅線（被覆線込みで30kg）（ベルコンでの手選別も含める） ダスト（20%以下、銅線くずもある） 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄スクラップ：電炉 非鉄：商社（売却） ダスト：焼却、埋立 	<p>銅線：銅合金メーカー？</p>
6	2,000台/年	乗用車	<p>部品取り専門</p> <ul style="list-style-type: none"> エンジン、ミッション（1m程度のコードあり） セルモーター、ダイナモ ガラ（エンジンつき、エンジンなし） 	<p>輸出用エンジン（約2割）ではセルモーター、ダイナモをつける。</p> <p>モーター類：部品メーカー、中古部品ネットワーク ダイナモ</p> <p>ガラ：シュレッダー業者（エンジンつき、エンジンなしで異なる。）</p>	<p>モーター類：部品メーカー リビルト部品</p>
7			<p>中国人が場内で解体している。中国市場で売却可能なものを回収しており、その後シュレッダー処理。</p> <ul style="list-style-type: none"> スターター、ダイナモ、コンプレッサー、被覆太物電線 鉄スクラップ（銅0.1%程度） ミックスメタル ダスト 	<ul style="list-style-type: none"> モーター類：売却（商社） 剥線処理銅：商社 ミックスメタル：商社経由で中国に輸出（鉄スクラップの輸出） 	<ul style="list-style-type: none"> 剥線処理銅：銅製品
8	50,000台/年	乗用車、トラック、商用車、バス	<p>丸車（解体処理していない）の輸出なし。</p> <ul style="list-style-type: none"> エンジン、ミッション、足回りをとったガラのみを処理 ガラ重量：約500kg ハーネス由来の銅分：10kg～20kg/台 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄は電炉メーカーか、輸出。 ヤードを借りている。 	<ul style="list-style-type: none"> 輸出は中国か韓国。最近韓国減少。

9	8,000台/年		<ul style="list-style-type: none"> ・エンジン、ミッション、足回り、タイヤは100%回収。 ・結果としてダイナモ、セルモーター、コンプレッサーは100%回収。 ・ハーネス回収量：10～13kg/台(700～800kg/月) ・ヘッドランプ、テールランプなどもカプラー付きで2割程度回収。テールランプよりヘッドランプの方が多く(事故の関係から) ・シートの回収は年間でも100台未満 ・ドアのパーツとしての市場は解体車輛の3%程度。 ・フェンダーの回収は全体の2割。 ・ドアミラーの回収は全体の3%。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイナモ：商社で輸出。 ・ハーネスは国内ナゲット処理業者 ・8000台のエンジンのうち、840個は国内にリユース(1割)(ただし、付属品なし)、ミッションも同数販売。 2,500個は海外向け(付属品込み)(約3割)輸出先はロシア、マレーシア、豪州。直販が3割、バイヤー経由7割。 残りは、マテリアルリサイクルで販売(モーター類込み) 国内業者 	<ul style="list-style-type: none"> ・エンジン(付属品込み)の国内販売先では、分別して輸出。
10	14～16万台/年		<ul style="list-style-type: none"> ・モーター類、ハーネス、各種パーツの回収。 ・2種のミックスメタル。非鉄90～93%のものが100～150トン/月。銅分不明のもの(量的に少ない)が毎月270～300トン発生。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ミックスメタル：一部商社経由で輸出。実際には、受入業者が直接コンテナを工場に横付けしている。中国、韓国への輸出。また台湾の業者では、中国に工場がある。 ・銅分の多いミックスメタル、銅分の少ないミックスメタル ・モーター、ハーネス ・モーター類は、専門業者に販売。専門業者は中国に輸出。 	
11	12,000～13,000台/年		<ul style="list-style-type: none"> ・一般の解体業者と異なり、ダイナモ、セルモーターの一部のみ回収 ・ガラ重量：約500kg ・非鉄の回収量：10kg以下/台 ・ハーネス ・ダスト：25% 	<ul style="list-style-type: none"> ・ミックスメタル(非鉄ほか)の行方は有価物の量をマーケットの状況を見て2つに分ける。 1)有価物多い：自社処理ラインにてステンレス、銅、アルミ、真鍮を回収。 2)少ない：商社に販売(自動車由来のものが多い)。商社は中国に販売。(販売理由：高い買値。ミックスメタルはプラスチックもあるが、分別可能だから) 商社：日本の商社以外に、中国人バイヤーにも 	
12	12,000台/年	乗用車、商用車	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラ重量約500kg ・ワイヤハーネス ・モーター類 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラ輸出 ・香港へのソフトプレスの荷降ろし ・ワイヤハーネス：中国人バイヤー(商社)に販売 ・モーター類はリビルト部品(国内向け)として販売するが、それ以外のは外国人バイヤーに。 	
13	14～15万台/年	乗用車のシュレッダー	<ul style="list-style-type: none"> ・回収有価部品：オーディオ、電装部品、バンパー、フェンダー、ドライブシャフトなど ・有価材料：エンジンミッション付き(ほぼ100%)足回り、触媒コンバーター ・ガラ重量：525kg ・鉄回収356kg(67.8%)うち、銅分0.1%以下。 ・ASR発生量160kg(30%)(ハーネスが含まれている) 	<ul style="list-style-type: none"> ・非鉄回収量：9kg/台 ・シュレッダーダストに含まれる銅分 自動車メーカーに販売：アルミ鋳物向け強化材にマテリアルリサイクル ・回収ハーネス：商社経由で山元へ。 ・ASRから回収される銅：約2kg/台(ASRの半分のみ)(240トン/年) ・残り半分のASRはそのまま埋立。(240トン/年以上) 	

3 - 2 . 希少性資源の単体元素回収技術動向

前述したように希少性資源として最も有効活用できるものは、希少性資源のもつ機能を活用することであり、電子部品は電子部品として、合金はその合金として再利用することが望ましい。

しかし、使用済製品からの電子部品より希少性資源を取り出すことができれば、再度、希少性資源の「希少性」を活用できる。しかし、最近になって希少性資源の価格が上昇し、改めて回収、リサイクルの必要性が出てきているが、鋼材の添加元素のように少量であっても大量生産される場合はともかく、電子部品のように少量の場合、経済的理由からリサイクルに関する研究は限定的であったといえる。

本項では、使用済製品中の希少性資源の単体としての回収技術動向について記した。

鉄スクラップからの希少性資源の回収

日本の鉄鋼生産は年間約 1 億 ~ 1 億 1,000 万トン前後であり、概ね 7 割が鉄鉱石から、3 割が鉄スクラップを原料としている。鉄スクラップについては、自家発生くずが 1,100 万トン前後、使用済自動車や使用済家電製品あるいは建築解体物などからのいわゆる市中くずが約 3,200 万トンである。鉄スクラップが最近中国や韓国への輸出量が増加しているが、市中くずの大部分は電炉で原料として用いられており、リサイクルシステム・処理プロセス技術は現状では確立し、リサイクルが進んでいる資源である。特に使用済自動車からの鉄くずについては、自動車リサイクル法施行後、自動車解体業者の努力もあって銅分の低下など品質の向上が進んできている。

しかし、これらは鉄としてのリサイクルであり、各部材に微量に含まれている希少性資源からその特性が必ずしも活かされたシステムではない。

鉄鋼の社会への蓄積が進むとともに、下図に示すように市中くずの発生量が増加すると予測されており、建築解体物、使用済自動車・機械などからの鉄くずの割合が高まるものとの予想がある。

図3 - 11 日本における鉄スクラップ発生量予測

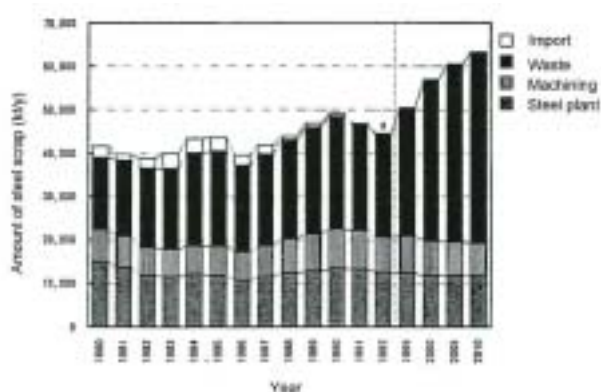
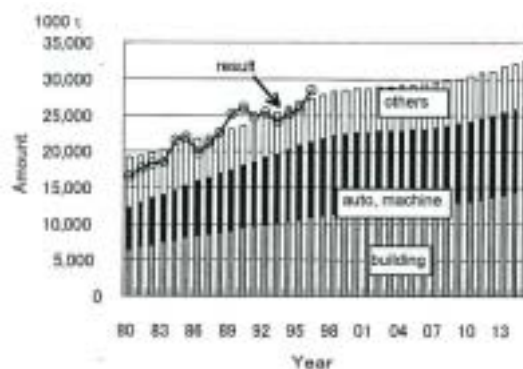


図3 - 13 日本の鉄スクラップの内訳の推移

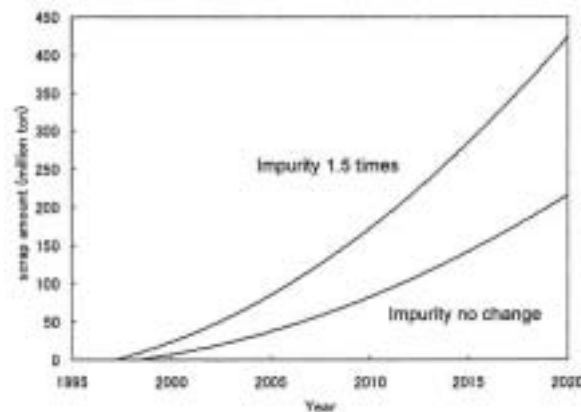


出所) 月橋文孝; 材料とプロセス, Vol. 17, No. 6, p. 1460-1463(2004)

ところが、市中から回収される鉄スクラップには、種々の合金や不純物元素が混ざっているために、溶解すると不純物元素は鉄鋼製品中に混入する。銅、亜鉛、鉛、スズ、ヒ素、アンチモン(Sb)、ビスマス(Bi)などのトランプエレメント（循環性元素）のなかには、除去されずに、言い換えれば単体として回収されずに、鋼中に蓄積されていく。その結果、次第に鉄以外の不要な成分濃度が高くなり、鉄鋼の強度、加工性などの性質が低下するばかりか、希少性資源については、容易に回収できなくなる。自動車リサイクル法において、精錬操作では除去困難であり、熱間加工性を著しく低下させる銅については、0.3%という基準を設け、各種モーター類やハーネスの混入を防ぐための努力がなされている。

それでも鉄をリサイクルしていくと、銅に限らず、トランプエレメントの蓄積が続いていく。最終的には、希少性資源などの元素が回収できないばかりか、数億トンの鉄スクラップもリサイクルできないと予測されている（下図）。

図3 - 14 鉄スクラップの発生量予測



出所) 川人健二; 第6回土木鋼構造シンポジウム、2002年3月

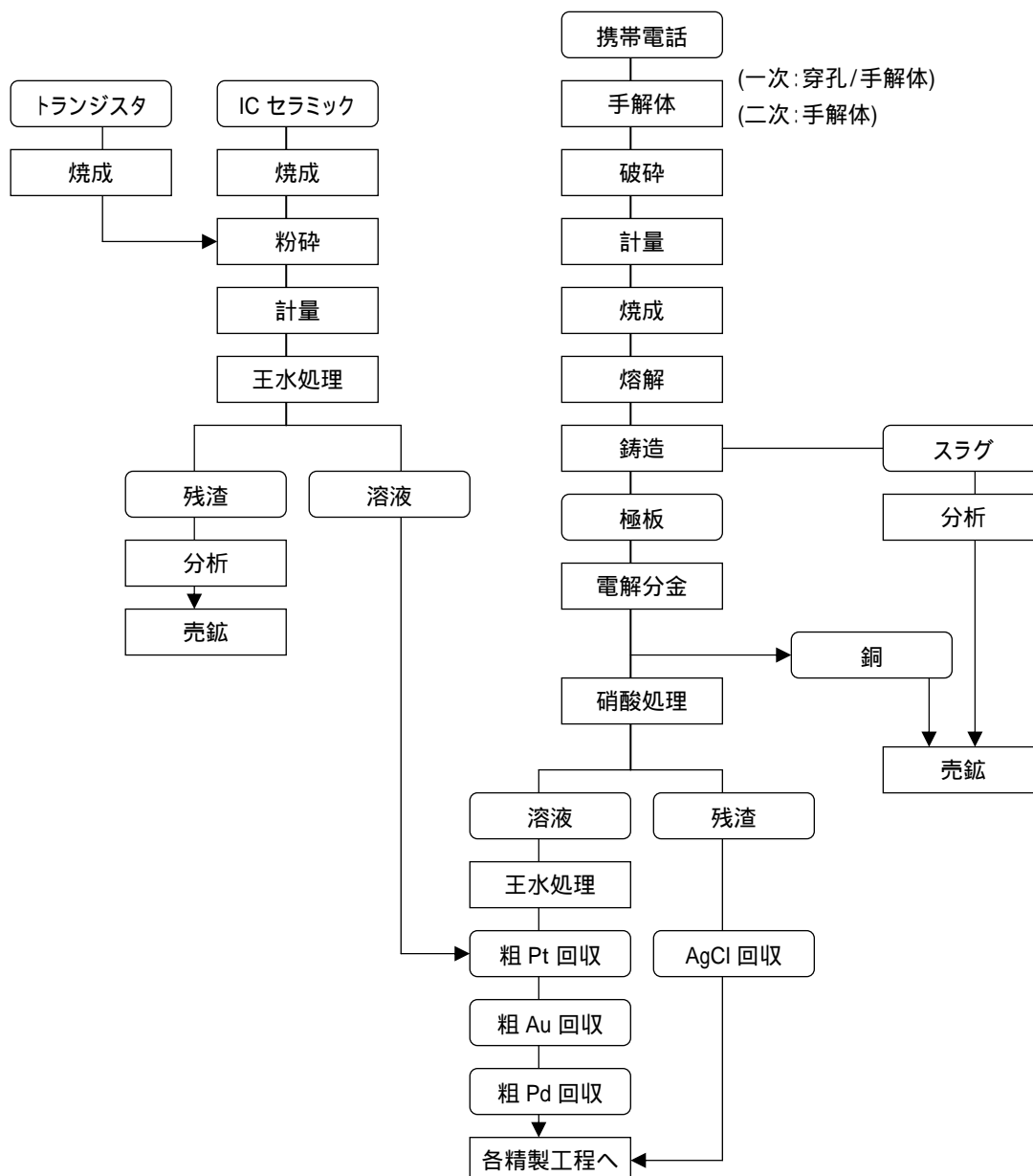
溶鋼から除去が容易な亜鉛などを除き、希少性資源であるアンチモン、ビスマスは、ヒ素や鉛と同じように、酸化精錬法では鉄も同時に酸化されるために、製鋼プロセスにおける溶鋼の精錬のようにはできない。これらの元素を除去するにはカルシウムのような強力な還元剤を用いた還元精錬プロセスが検討されている。カルシウム、カルシウム - 金属ハロゲン化物フラックスを用いた還元反応によるリンなどの不純物除去法により、循環性元素を低下できることが報告されている（下記文献）。カルシウム系フラックスを用いた溶鉄からのヒ素、アンチモン、ビスマス、鉛等のトランプエレメントは熱力学的に非常に低濃度まで除去できることが測定されているが、実際にはレアメタルの回収を目的としたプロセスが溶鉄に適用されてはいないのが現状である（出所）月橋文孝；材料とプロセス, Vol. 17, No. 6, p.1460-1463(2004)。文献) Y.Nakamura et al.; Trans. Iron Steel Inst. Japan, 16(1976), 623
徳光直樹ほか：鉄と鋼, Vol. 63, p.2127(1977)

すなわち、希少性資源の多くは、鉄の添加元素として特殊鋼に溶解している場合は、単体としての回収は技術的、経済的にみて困難である。従って、希少性資源が使われている鉄鋼製品や特殊鋼は、その組成を活用することが肝要であり、そのためにはある化学組成を有する鉄スクラップのみを分別回収することが求められる。

電子部品・触媒からの貴金属の回収技術

図3-15に示すように、湿式法において、硝酸、王水、硫酸、塩酸、シアン等を使用して貴金属と不純物金属他との分離が行われている。横浜金属(株)では、回収貴金属の純度が、Ag : 99.99%以上、Au : 99.99%以上、プラチナ(Pt) : 99.95%以上、パラジウム(Pd) : 99.95%以上を得ており、自動車触媒も含めて、年間、Ag 地金 120t、Pt 地金 1,440kg、Pd 地金 720kg、Pd 地金 1,090kg、Pd 化成品 900kg、Rh 化成品 240kg を生産している。

図3-15 電子部品からの貴金属の回収フロー



出所)高橋國彦;資源・素材,Vol.2000,No.S1/S2,p.31-33(2000)

コンデンサーからのパラジウム回収においては、同じ湿式でも安価な硫酸と亜硝酸ナトリウムを用いてパラジウム、銀ともに99%以上の溶解率を得ている(鎌田啓嗣ほか;資源・素材学会北海道支部春季講演会講演要旨集 Vol.2001,p.38-39(2001))。

NdFeB 焼結磁石のリサイクル

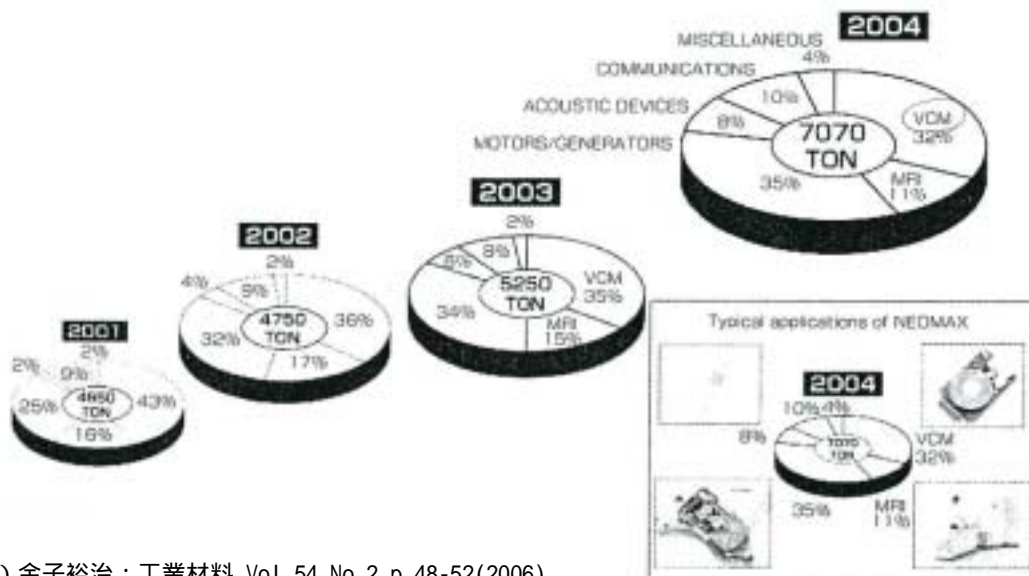
現在量産されている永久磁石材料の中で、最高の磁気性能を有し、飛躍的に市場が拡大している NdFeB 磁石について、あらためて概要を触れつつ、リサイクルの状況について述べる。

永久磁石の開発では日本は先陣を切ってきた(出所:ふえらむ, Vol. 9, No. 8, p. 532-536 (2004/08/01))。アルニコ磁石の原型 MK 鋼は 1932 年に、フェライト磁石の原型 OP 磁石も同じ頃に開発された。一方、1969 年代からは希土類元素と鉄、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)系の磁石の開発が行われ、1967 年にサマコバ磁石(サマリウム Sm、コバルト Co)が開発された。その後、サマリウムとコバルト使用の代替磁石の開発が行われ、1983 年に日米同時にネオジム磁石が開発された。日本は焼結磁石、米国はボンド磁石であった。ネオジム磁石は比較的資源が豊富なネオジムと鉄を主原料としているため安価であり、サマコバ磁石よりも比重が 10%以上低く、小型化・軽量化のニーズに適用している。さらに機械的強度が高く、欠けや割れが少なく、機械加工等の取扱いが優れている。希土類磁石のほとんどはネオジム磁石となっている。

代表的な用途が、コンピューターのハードディスクドライブ用ヘッドリニア・アクチュエータ(VCM:ボイスコイルモーター)である。ハードディスクは、従来の 3.5 インチから 2.5 インチ、1.8 インチと小型・薄型化が進み、携帯電話、携帯オーディオ、ビデオ、ナビゲーションシステム、デジカメ用に最近では 1.0 インチに加えて、0.85 インチなどの超小型ハードディスクが開発された。それに伴って VCM の開発も行われている。さらに、永久磁石式磁気共鳴診断装置(MRI)、また携帯電話のマイクロスピーカ、振動モーター、各種光学ピックアップ用などをはじめとする情報関連機器、液晶テレビ、車載用フルレンジ・スピーカ用などの音響機器など、その応用は多岐にわたっている。特に最近は各種回転機器への応用が進んでいる。

図 3 - 1 6 に磁石の生産推移を示す。2004 年には国内生産量が 7,000 トンを超え、2005 年度も増産が予想されている。

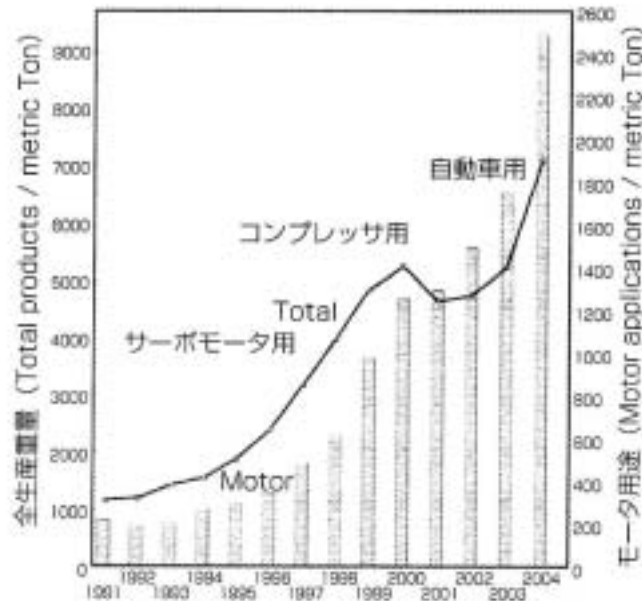
図 3 - 1 6 NdFeB 焼結磁石の生産動向



出所) 金子裕治; 工業材料, Vol. 54, No. 2, p. 48-52(2006)

図3 - 17には、モーター用ネオ磁石の生産状況を示した。2004年にはネオ磁石全体の35%、約2,500トンに達している。モーター用としては、ローター表面に弓形磁石などを配置した通常のSPMタイプがFA用モーターで開発が進み、平板状の磁石をローターコア内に挿入するIPMタイプが開発されて、1995年頃よりエアコンのコンプレッサー・モーターへの応用が本格化した。近年では、自動車用モーターへの応用が進み、ネオ磁石全体の生産量増加を加速させている。

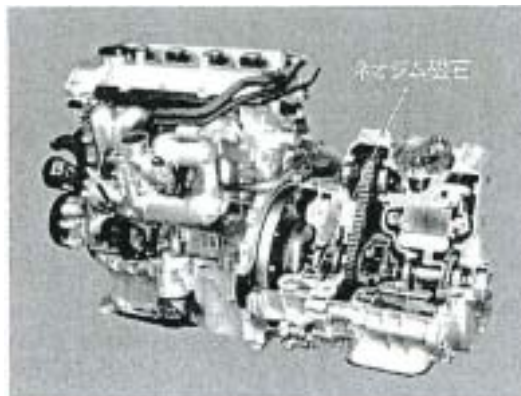
図3 - 17 モーター用NdFeB焼結磁石の需要動向



出所) 金子裕治; 工業材料, Vol. 54, No. 2, p. 48-52 (2006)

今では、ハイブリッド車用の駆動モーターならびに発電機用に、年間 300 トンを越えるネオ磁石が使用されている(図3 - 18)。今後、ハイブリッド車の需要増加に伴って磁石の需要が増加するために、希少性資源の確保が益々重要になると考えられる。

図3 - 18 ハイブリッドカーの駆動モーターや発電機中のネオジム磁石



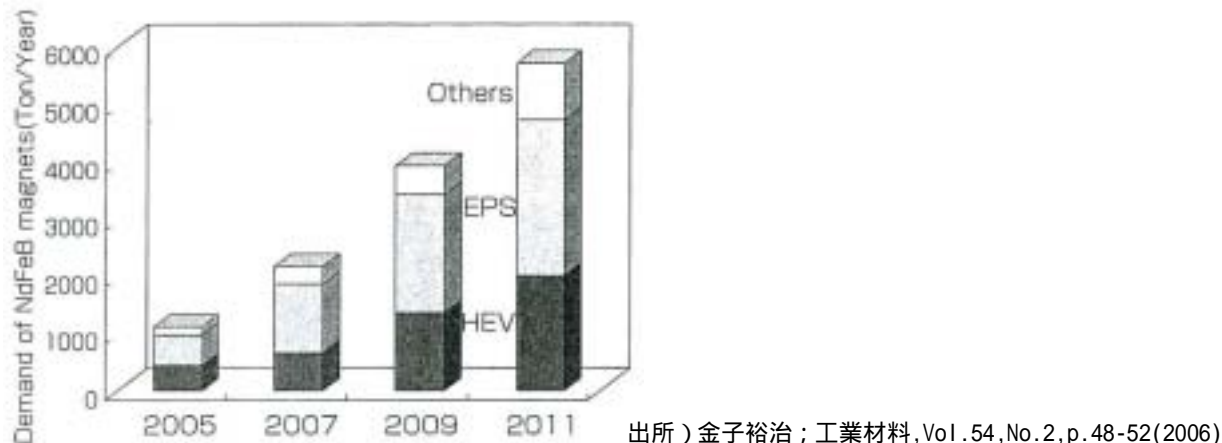
出所: ふえらむ, Vol. 9, No. 8, p. 532-536 (2004/08/01)

ハイブリッド車に限らず、自動車においては電動パワーステアリング（EPS）にも、磁石をローター表面に配置した SPM タイプが用いられている。車輪の軸荷重により、システムが使い分けられているが、モーターの小型・高出力に対応してネオ磁石への移行が進んでいる。

そのほか、自動車には永久磁石を用いたモーターが数多く搭載されており、高級車になると 80 個以上にもなる。現在はフェライト磁石が主流となっているが、次に示すように次第に希土類磁石が採用されはじめている。

金子は、自動車用ネオ磁石の市場に関する予測をまとめている。HEV や EPS の用途に加えて、10 年以上前から採用され、標準装備化が進んでいる ABS などの各種センサー用やトラックの補助ブレーキ・リダーダ（渦電流ブレーキ）、ディーゼル用の排気ガス清浄化に機能する EGR 用バルブ・アクチュエーター、カー・エアコンの電動化によるエンジン出力への負荷低減、さらには、電動ブレーキ化へのプログラムが進むものと期待され、2010 年頃には年間 3,500 トン以上の市場と予測される。

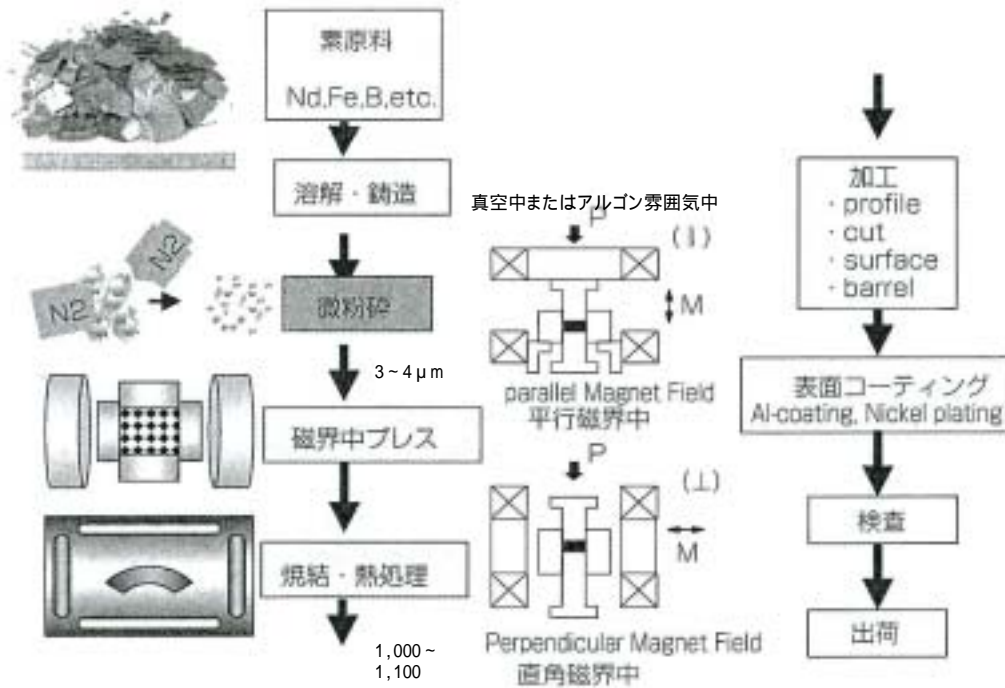
図 3 - 19 自動車用 NdFeB 焼結磁石の需要予測



ネオ磁石は、希土類元素として Nd（ネオジウム）、Pr（プラセオジウム）、Dy（ディスプロシウム）などを磁気特性レベルに応じて組合せ、Fe（鉄）と Fe-B（フェロボロン）を計量・配合し、真空中で高周波溶解した後、最近開発されたストリップキャスト法にて原料合金にする。

ストリップキャスト法とは合金溶湯を水冷したロールで急冷し、0.2~0.5mm の薄板形状の合金を溶製し、そのまま破碎して回収する方法で、微細な鑄造組織が得られる。この合金破碎物を機械的に粗粉碎した後、希土類元素の水素吸蔵性を利用して、水素処理を施し、数百 μm の粗粉末に調整、さらに不活性ガス気流粉碎装置（ジェットミル）で約 3 μm の微粉末に粉碎する。微粉末は磁界中成形装置により、各粒子の磁化容易軸方向を整列させながら所定の形状に圧縮成形する。成形体は真空、もしくは不活性ガス雰囲気中にて約 1050 の高温で焼結し、さらに熱処理を施し、機械加工、表面コーティングを経て製品になる（図 3 - 20 参照）。

図3 - 20 NdFeB 焼結磁石の製造工程



出所) 金子裕治; 工業材料, Vol. 54, No. 2, p. 48-52 (2006)

ネオ磁石の保磁力を高めるためには、Ndの一部をDyやTb(テルビウム)などの希土類元素と置換し、主相自身の異方性磁界を高めることが極めて有効である。しかし、DyやTbなどの重希土類は、その埋蔵量がNdの1/10~1/100以下と少なく、かつ鉱脈も局在しており、産出量も制限されている。

このように貴重な希少性資源を用いたネオ磁石のリサイクル技術はどうなっているのか。

自家発生屑については、(株)NEOMAXでは次のような技術を開発している。1)加工時に発生する切断スクラップ、アルミコーティング品スクラップやニッケルめっき品スクラップなどの発生量約5%の固形スクラップについては、アルゴンガス雰囲気中高周波溶解技術や溶解方法、溶解作業の改善し、一旦スクラップのみからなる母合金を溶解製造する。最終的にネオジム焼結磁石用合金の溶製時に添加使用し、リサイクル率は95%以上を可能にしている。2)磁石の研削加工時に発生する粉末状のスクラップなど発生量約20~30%の粉末スクラップについては、酸溶解した後、希土類フッ化物や希土類酸化物にする。最終的には電解工程を経て希土類金属にし、リサイクル率90%以上のリサイクルプロセスを可能にしている。

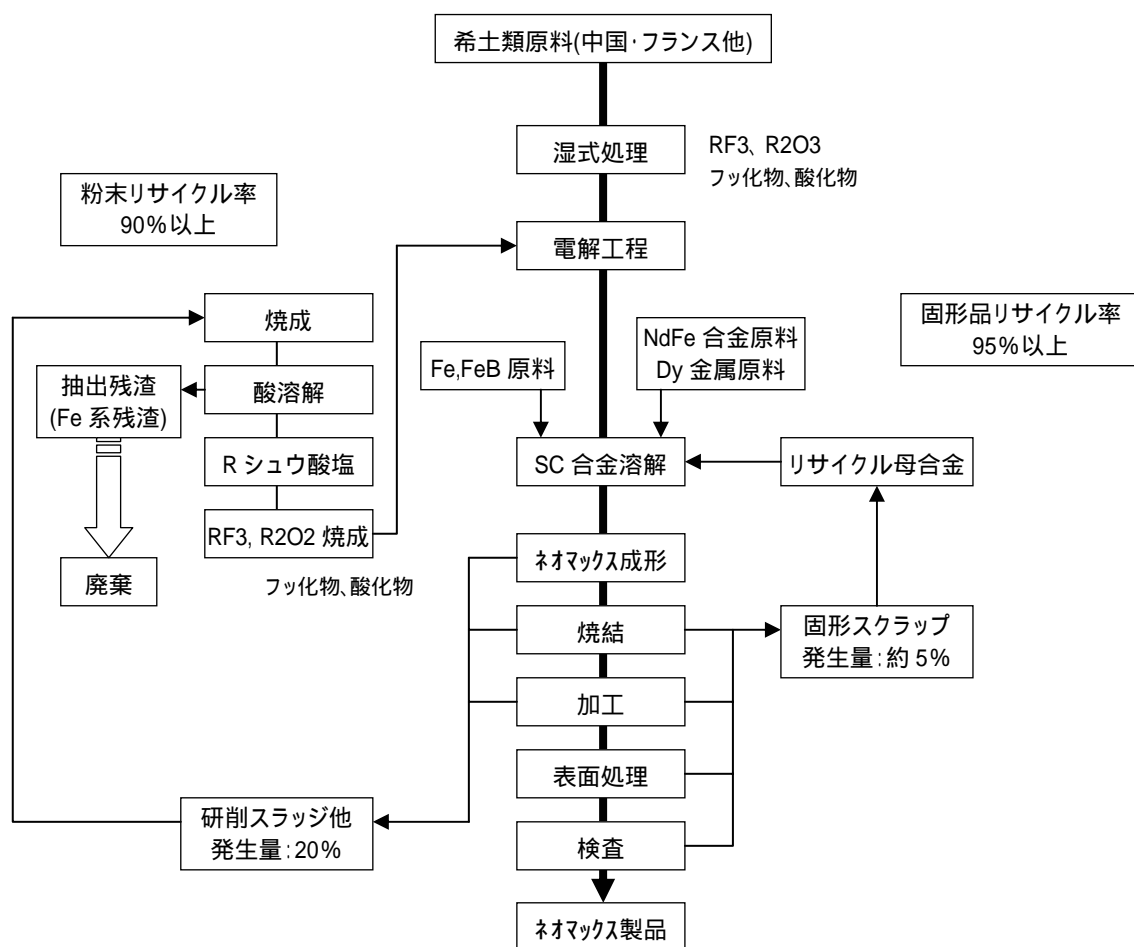
しかし、市中に出た最終製品中の焼結磁石のリサイクルについては、検討段階でリサイクルはされていない。

使用済製品等に由来するNd₂Fe₁₄B系焼結磁石スクラップは次第に排出される量が増加していると考えられるが、使用済製品から発生する磁石スクラップに対しては、効率的な分別・回収システムは確立されていないために、また、希土類磁石スクラップは、様々な製品仕様の磁石が混ざり合った状態だけでなく、磁石表面上のNiメッキ除去の問題もあって、リサイクルは困難な状況となっている。これに対して、町田らは市中屑を想定した固形のNdFeB系

焼結磁石スクラップ片を液体急冷法により、等方性の NdFeB 系磁石粉末として再生する技術
を確立している (町田憲一 ; 金属, Vol. 74, No. 4, p. 389-395(2004))

NdFeB 系磁石の場合は、主要成分である Fe が Co ほどの価値を有していないために、酸に
よる再生処理ではまだ採算のとれる処理プロセスとしては確立されていないが、磁石に数%
の Dy が使用されているために、気相錯体の形成を利用した化学輸送法 (足立、邑瀬、町田 ; 特開
平 6-207228)、Ca 金属による還元法 (西尾、原 ; 特開平 8-31624 または武谷、加瀬 ; 特開平 11-319752) など
が提案されている。なお、高価な Co を主要成分とする Sm-Co 系磁石では、酸により一度水
溶液とする湿式法が適用され、既に採算ベースにのったリサイクルプロセスとして確立して
いる。

図 3 - 2 1 ネオジム焼結磁石のリサイクルフロー



出所) 石垣尚幸ほか ; 希土類, No. 44, p. 128-129(2004)

液晶ITOのリサイクルの実験例 (1)

パソコンに多く使用されているアモルファスシリコンTFTは、表面に合成樹脂製偏光板を貼
り付け、裏側にはR,G,Bと黒のマトリクスカラーフィルターを形成させた上部ガラス基板と、
絶縁保護膜・半導体層・各種導電膜(電極)などTFTアレイ回路を形成した下部ガラス基板があ

る。この中間に液晶材が配向膜と、配向膜と対向電極とでサンドイッチされている。液晶材の周辺にはシール材がある。シール全体を通して、光が上下方向に通過できる構造になっており、カラーフィルタで色の選択がなされ、液晶層の状態により画素の濃淡が選択される。液晶層の状態は、TFTアレイで電氣的に制御される。

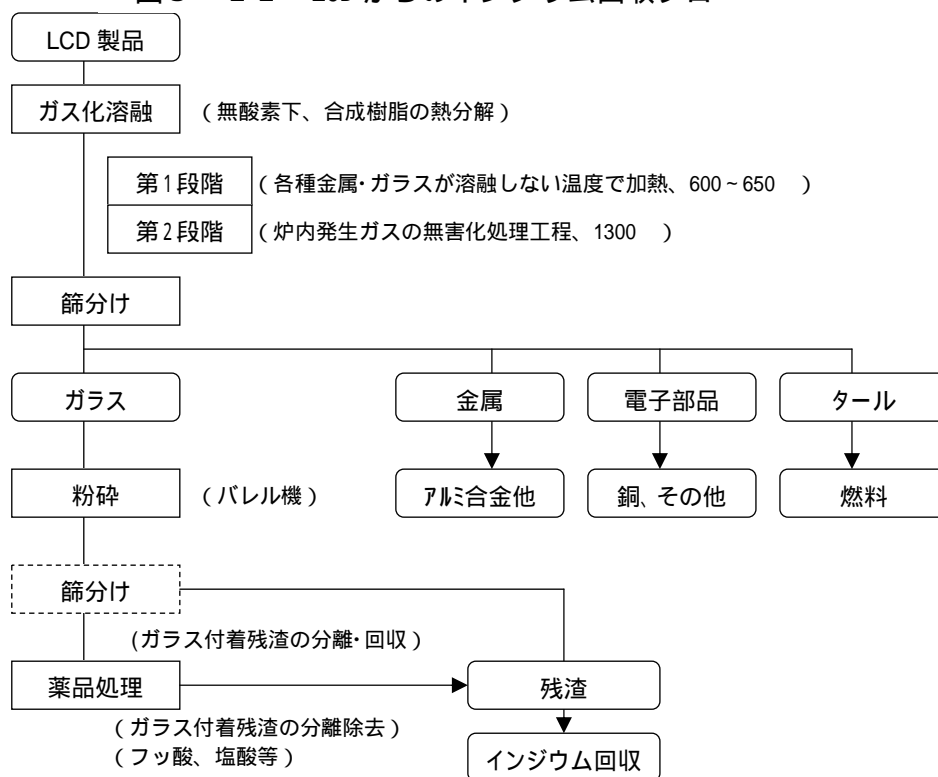
このようなLCDの構成材料は、重量比率でガラスが85%前後、偏光板が15%前後である。これ以外の液晶材料、シール樹脂、カラーフィルター層、TFT層などは、数千ppmと比率は低い。しかし、透明電極に使用されているインジウムが含まれているが、化学剤、塗料、TFT等については、重金属類も含まれており、適切なリサイクル処理が望まれる。

従来、一般的なLCDの処理方法としては、次のような方法があった。

- 1) 一般廃棄物処理業者が、パソコンなどのLCD装備製品を粉砕して埋立処分する。
- 2) パソコンを基板、キーボード、ディスプレイに大別し、プラスチックや貴金属等、リサイクルできるものはリサイクルし、他の部分、特にディスプレイ部分などは、粉砕して埋立処分する。
- 3) 基板、キーボードは従来通りであるが、ディスプレイ部分をさらに液晶モジュールとケースに分け、ケースはプラスチックとしてリサイクルし、液晶モジュールは廃棄ガラスとして粉砕して埋立処分する。

いずれにおいても、インジウムを含む液晶部分はリサイクルされていない。これまでに、いくつかの方法が提案されている。

図3 - 22 LCDからのインジウム回収フロー

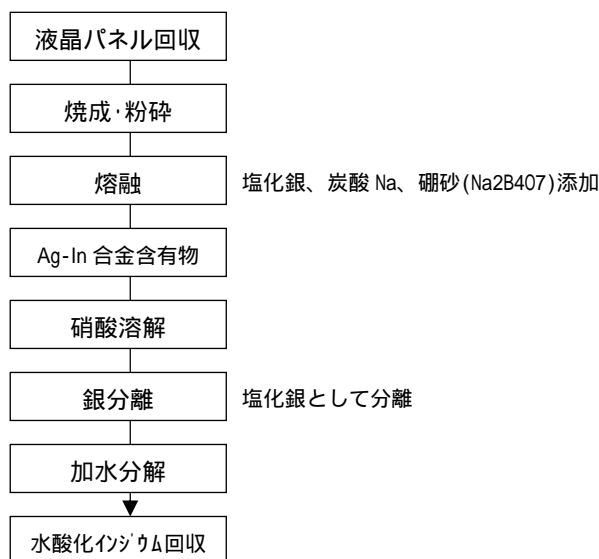


出所) 住母家岩夫；電気化学会技術・教育研究論文誌, Vol.12, No.2, p.33-38(2005)

液晶 IT0 のリサイクルの実験例 (2)

埼玉大学、横浜金属のグループでは、携帯電話液晶ディスプレイからインジウムを乾式製錬で回収することを試み、回収率約 50%を得ているが、湿式製錬時の 90%以上より低い値となっている。

図 3 - 2 3 インジウムの乾式回収フロー



液晶 IT0 のリサイクル

液晶ディスプレイ大手のシャープでは、液晶 IT0 のリサイクル研究を続けており、すでに実用化の段階に入った。以下にシャープの開発状況を示した (出所：本間隆道、村谷利明；シャープ技報, No. 92, p. 17-22(2005/08/10))。

従来のインジウムリサイクル技術は、IT0 ターゲット等を酸に溶出させた後、硫化物法、もしくは水酸化物法やキレート樹脂による夾雑金属イオンを除去、溶媒抽出することによって、インジウムを分離、回収し、さらに電界精錬法等によって精製される。

しかし、実際にはインジウム分離、回収時の pH 調整で多くのアルカリ剤が必要であること、また回収インジウムを精製する工程が必要であることに加えて、主に IT0 ターゲット等の未使用分やスパッタリング装置付着分を回収する技術が多く、使用後の製品や製造工程からの不良品等のガラス基板からの回収はほとんどなされていなかった。

シャープの回収方法は、インジウムを吸着させることができるインジウム吸着剤を用い、インジウム含有塩酸を主成分とする酸液から高純度のインジウムを分離回収する方法である。

すなわち、酸溶液をスチレンもしくはアクリルアミドとジビニルベンゼンとの共重合による架橋構造と 4 級アンモニウム基および 3 級アンモニウム基のうち、少なくともいずれか一方を有するとともに酸吸着性能を備えたアニオン交換樹脂に接触させることにより、インジウムを前記アニオン交換樹脂に吸着できることを利用している。

図 3 - 2 4、図 3 - 2 5 に示すようにインジウムは、塩酸を主成分とする酸液中において、

アニオンの特性をもったインジウムと塩素からなるインジウム塩素錯体 (Indium chloro complex) となり、前記アニオン交換樹脂に特異的に吸着することを導き出した。

図3 - 24 インジウムの吸着メカニズム

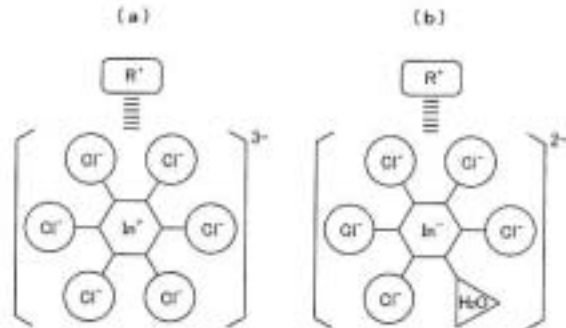
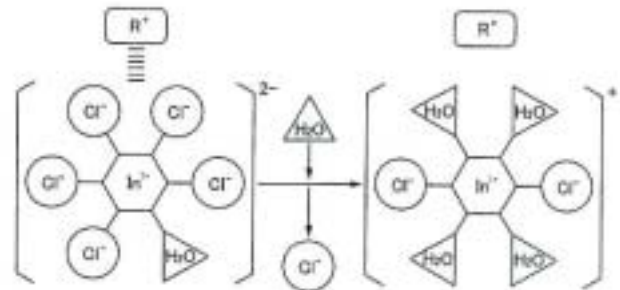


図3 - 25 インジウムの脱離メカニズム



さらに、インジウムが吸着したアニオン交換樹脂を水と接触させることにより、インジウムは脱離するが、上記のとおり、インジウムが塩素錯体として吸着しているため、まず強酸性の塩酸が脱離し、その後インジウムが脱離する。すなわち、インジウム塩素錯体は、図3に示すように塩酸の脱離に伴い、塩素濃度が低下することにより配位子が塩素イオンから水分子に置換され、インジウム・アクオ・クロロコンプレックス (Indium aqua chloro complex) となって、カチオン化し、アニオン交換樹脂と反発して (吸着能が低下して) 脱離する。このためインジウム及び酸が吸着したアニオン交換樹脂を接触させた後の水の酸濃度を連続的に測定し、その濃度変化値に基づいて酸濃度の高い酸回収液とインジウム濃度の高いインジウム回収液とを分別することが可能となる。

インジウム吸着剤を用いて、インジウムを分別する方法の一実施形態として、液晶パネルのITO導電膜からのインジウムを分離、回収する方法を説明する。

1) インジウム吸着工程

ITO導電膜からの溶出を促進させるために液晶パネルを10mm以下の大きさに破碎し(S1)、ITO導電膜を塩酸を主成分とする酸に溶出させる(S2)。さらに溶液中のガラス、フィルム等の不溶物は、ろ過等により除去する(S3)。ITOと夾雑金属を含有する酸性のろ液をアニオン交換樹脂を充填したカラムに通液する。インジウムは酸およびスズとともに吸着し、アルミニウム等の夾雑金属は金属塩としてカラムを通過する。この時点でインジウムとスズが分離できている。カラム通過液は、水酸化ナトリウムなどのアルカリを添加してpHを8程度に調整することにより(S4)、夾雑金属を水酸化物等のスラッジとして沈澱させる。固液分離(S5)後の溶液は放流か再利用できる(S6)。

2) インジウム回収工程

インジウムが吸着しているカラムに対して同方向に水を通し、吸着剤からの酸を溶出させる。この際にかラムを酸回収ラインに接続し、通過液中の酸濃度を電気伝導率計等で連続測定しながら、高濃度の酸を回収する(S7)。高濃度の酸は再利用する(S8)。酸濃度の変化値が一定の値より大きくなったところで、酸回収ラインからインジウム

回収ラインに切り替える。この場合で、インジウム濃度が低い液は別途分別回収し、カラムへの通水用としても使用できる。

インジウム回収液にはインジウムと錫が含まれている。そこで、pH を 1.5~2.5 程度に調整し(S9)、スズを水酸化スズに変えて沈澱させ、固液分離させる(S10)。次に分離液の pH を 4.5~5.5 に調整すると高純度の水酸化インジウムが沈殿する。得られた沈澱物を固液分離(S12)後に、洗浄水で洗浄、脱水後に乾燥させるか、再度酸に溶解して5%程度のインジウム溶液として回収する。

この回収プロセスにおいて、インジウムの吸着率は 100%、脱離率も 100%を示しており、良好な回収結果となっている。回収インジウム中のアルミニウム不純物も 0.3%以下となっている。経済性については、次のように試算している。

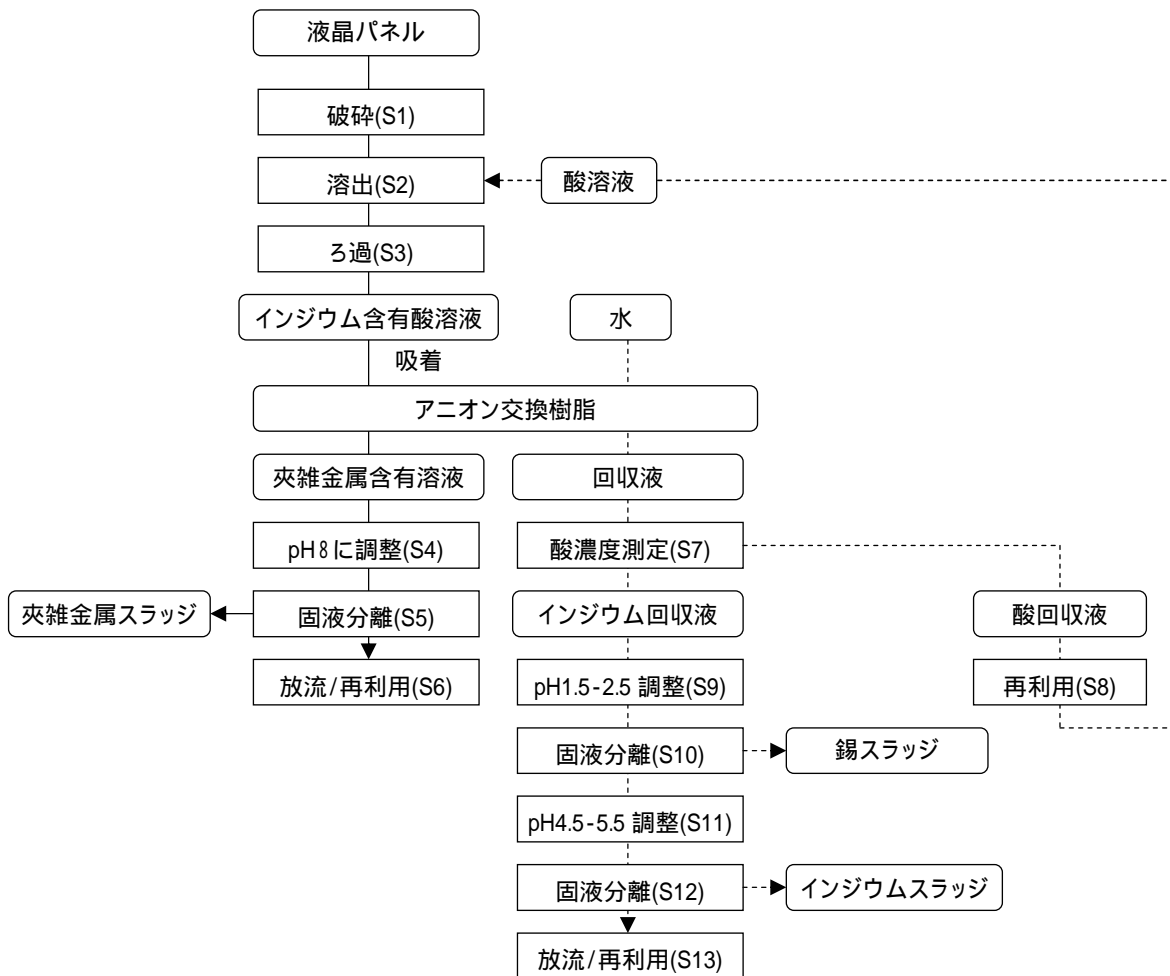
廃棄パネル：1トン/日

回収インジウム：250g (価格 1g=100円として、25,000円)

回収コスト：1,000円/トン - パネル

経済性：25,000円 - 1,000円 = 24,000円/トン - パネル

図3-26 インジウムの回収方法の一実施形態

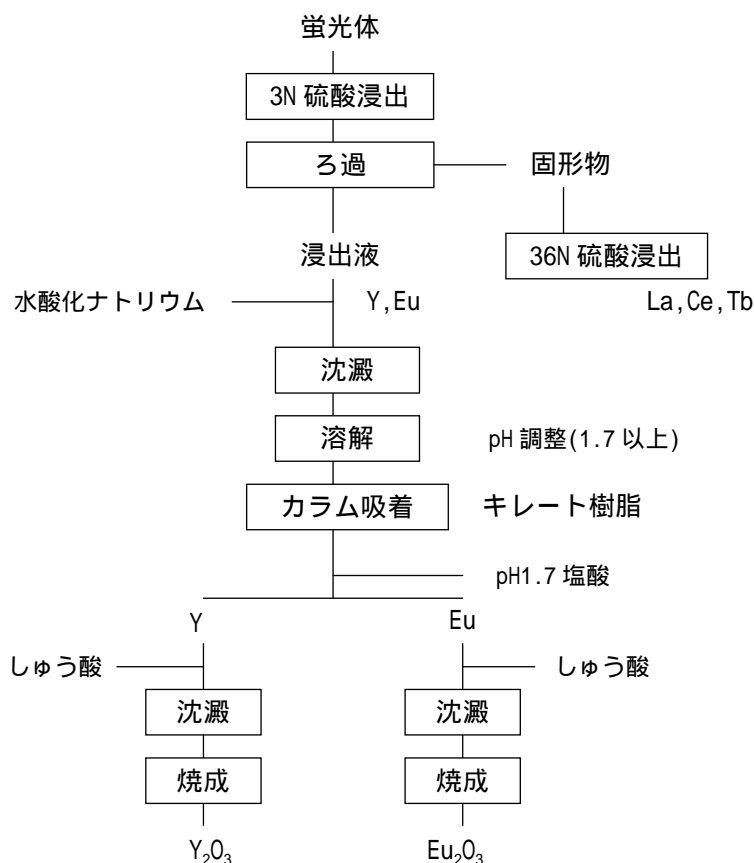


出所) 本間隆道、村谷利明; シャープ技報, No.92, p.17-22(2005/08/10)

廃蛍光管からのレアアースの分離回収実験例

廃蛍光管（三波長）から捕集した蛍光体から、硫酸とキレート樹脂を用いてイットリウム (Y_2O_3) とユーロビウム (Eu_2O_3) をそれぞれ純度 99.9%、98.5% で回収している。そのフローを 図 3 - 2 7 に示す。

図 3 - 2 7 蛍光体からのレアアースの分離回収フロー



出所) 高橋徹ほか; 日本化学会北海道支部研究発表会講演要旨集 Vol.1997, p.68(1997)

白金族のリサイクル

成田弘一; ペトロテック, Vol.28, No.1, p.33-37(2005)

白金族金属（パラジウム(Pd)、プラチナ(Pt)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、ルテニウム(Ru)、オスミウム(Os)）は、金(Au)、銀(Ag)とともに貴金属と称される。宝飾品をはじめ電子材料や自動車排ガス浄化用触媒、石油化学触媒等の工業材料として使用されている。

Johnson Matthey社のPlatinum2004によれば、白金族金属の総需要に対する自動車用触媒の割合は、プラチナで39%、パラジウムで59%、ロジウム86%となっている。しかしながら、自動車触媒への総需要がそれぞれ99トン、114.2トン、20.9トンであるのに対し、リサイクルから得られた分は20.2トン、12.8トン、3.7トンにすぎず、さらなるリサイクルの推進が求められている。

白金族金属の場合、互いに化学的・物理的性質が類似しているために、相互分離は極めて困難である。従来法の沈殿分離法は、貴金属を酸またはアルカリ溶液で溶解し、目的の貴金

属を溶解度の低い塩として沈殿させる方法であるが、高純度の金属を得るには溶解 - 沈澱晶析を繰り返す必要がある。そこで、塩素含有塩酸水溶液に金属を溶解し、溶媒抽出法により各元素に分離する方法にかわりつつある。

溶媒抽出法は、有機相、水相といった互いに交じらない2相間における物質の濃度勾配を利用した技術であり、次の特徴を有する。

- ・ 選択性が高く、最終産物の高付加価値化が図れる。
- ・ 抽出容量が大きく、濃縮操作が可能である。
- ・ 常温操作が可能であり、設備費の安価である。
- ・ 連続化が図れる。

このような特徴を引き出すためには、抽出剤の選択が鍵となるが、実際に工業的に使用されているものは、1970年代以降ほとんど変わっていない。

一般に貴金属リサイクルの手順は、回収物に含まれる貴金属含有量を決定する「評価」、回収物から貴金属を粗分離する「回収」、純度を上げる「精製」からなる。自動車排ガス浄化用触媒の場合、解体業者が解体して回収したコンバーター（触媒含む）を集荷業者が引き取る。コンバーターは切断機などで開き、触媒が取り出される。触媒は売却されるか、貴金属製錬会社に委託される。触媒からの白金族金属の回収は現在乾式製錬法が主流となっている。

(株)日本ピージーエムでは、銅・鉛製錬技術を応用した開発した白金族金属の乾式回収プロセスにより、白金族を回収している。白金族金属含有量に合わせてフラックスと酸化銅（溶媒用）、還元用コークスを混合、溶融して、白金族金属を溶媒金属（銅）中に吸収させる工程と、続いて溶媒金属を酸化して酸化銅として分離・除去し、白金族金属を銅合金として濃縮する工程からなる。回収させたものを溶媒抽出法で精製される。

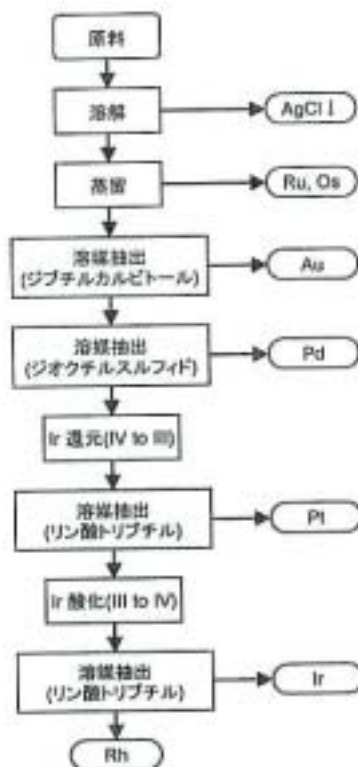
図3 - 28 (株)日本ピージーエムの回収フロー



出所) 成田弘一; ペトロテック, Vol. 28, No. 1, p. 33-37 (2005)

白金族金属の溶媒抽出する場合は、選択性、抽出速度、逆抽出が重要であり、鉱山会社における溶媒抽出法が貴金属のリサイクルにも用いられている。その一例としてINCO社のActon製錬所のプロセスを示す。

図3 - 29 INCO 社での貴金属の分離フロー



出所)成田弘一;ペトロテック, Vol. 28, No. 1, p. 33-37(2005)

カーバッテリーからのアンチモンの回収

以下は、鉛再生事業を専門としている細倉製錬(株)のフローである。

使用済バッテリーを上ケースと下ケースに分ける。下ケースから電解液と鉛極板(巣鉛)を取り出した後、上ケース、下ケースを別々に破碎・洗浄し、廃プラスチックとして販売する。電解液は沈降設備でペーストを回収し、残った硫酸溶液は炭酸カルシウムで中和する。

取り出した巣鉛は、鉛滓を加えてうえで、還元剤・熱源としてコークス、造鍍剤として溶剤(石灰・珪石・鉄くずなど)とともに溶鉱炉に装入、高温で還元熔解し、鉛品位 97~98%の粗鉛を得る。粗鉛はアノードに鑄造され、電解精製によりカソード種板上に高純度の鉛を析出させる。これを熔解して電気鉛インゴットを鑄造する。さらに電気鉛は合金炉にて錫・カルシウム・アルミニウムなどを添加し、バッテリー用鉛合金インゴットを生産し、圧延機で延ばして鉛シートの生産が行われている。

鉛滓は銅精錬所(三菱マテリアル(株)直島製錬所、小名浜製錬所)から受け入れているが、金・銀・ビスマス・アンチモン等が含まれており、これらは電解スライムに濃縮する。スライムを回転炉にて酸化・還元を繰り返し副産物として、粗銀・電気ビスマス・三酸化アンチモンを生産している。

