

金属資源のリサイクル

原 田 種 臣*

Recycle of Metallic Resources

Taneomi HARADA

1. ま え が き

金属資源のリサイクル(またはリサイクリング)とは、「社会システムの一環として、つまり産業活動における生産ルートに組み入れた形で、金属を循環使用すること」と定義できよう。リサイクルの対象となる金属資源は、当然ながら天然の金属鉱物ではなく、2次資源としての金属質ないし金属混入廃棄物である。

金属リサイクルの発端は、人類が金属を使い始めたときまでさかのぼるといえる。遠い昔は別として、過去50年間にわが国でリサイクルへの関心が高まった時期が2回ある。初めは日中戦争から太平洋戦争後の1950年頃まで、次は1973年の第1次オイルショック以降ほぼ今日までである。戦時中は論外として戦後数年間、金属製廃品は回収業者に相当の金額で引き取られたことが想起される。それから20余年後第1次オイルショックを契機として、資源リサイクルの重要性が国民に広く認識されることとなった。

非生物系天然資源である鉱物は有限のため、人類が消費するにつれ確実に減少していく。その消費量は人類の歩みとともに伸びてきたが、近年、とくに1955年頃から73年までの消費の膨張は、目を疑うばかりの激しさである。その裏づけとして日本の粗鋼生産をみると、1955年が941万t、73年が11932万t、そして85年が10528万tとなつている¹⁾。すなわち、55年から73年までの18年間に量は12.7倍に膨らみ、その後は頭うちの状態である。このような急成長ぶりは非鉄金属も同様で、例えば電気銅の73年の産額は119万tで18年前の9.9倍に増加しており、それ以後は微増を続けている²⁾。

このようにしてわれわれは現在、資源消費で成り立つ物質文明を享受する半面、子孫のためにも資源を末長く確保したいとの願望を抱きつつ日々を過ごしている。一方、産業廃棄物や都市ごみ中には再利用可能な各種の金

属が含まれている。そしてこれら廃棄物を地上に堆積し続ければ、われわれの生活環境が破壊される。したがって2次資源の最大限の活用、換言すれば資源リサイクルのできる限りの徹底は、「資源の延命」「環境の保全」という人類が直面する二つの命題の解決につながるのである。

上記の命題が日本でとくに切実なものであることは、鉱物資源の海外依存度がきわめて高く(1984年例:ボーキサイト100%、鉄鉱石99.7%、銅鉱96.3%、鉛鉱81.4%、亜鉛鉱64.9%、ニッケル100%³⁾)、国土面積当たりの人口と重化学工業規模がとりわけ大きいことから十分に理解される。

2. 社会システムと金属資源リサイクル

2-1 社会システムと金属資源リサイクルの関係

冒頭に掲げた定義をより明確にするため、社会システムと金属資源リサイクルの関係を図1を用いて説明してみよう。同図は、BROOKSの図⁴⁾の内容を金属資源向きに筆者が書き換えたものである。

(1) 探査 (Prospecting)

探査活動の結果、自然条件下での金属資源の存在個所と鉱量が確認される。確認された資源は、各段階の工程を経たのち、消費活動の直接のインプットである金属製品に仕上げられる。探査技術は地形調査、地質調査、物理探査、化学探査、ボーリングなどの内容からなる。また探査活動の位置と関連づけて、宇宙探査、空中探査、地上探査、坑内探査、海洋探査などのよび名がある。

(2) 採鉱 (Mining)

この工程を経て自然状態の資源は地殻から分離され、地表に集積される。採鉱方式は露天採鉱と坑内採鉱に大別され、後者は中段採掘、残柱式採掘、シュリンケージ、充てん採掘、ケーシングその他の方法からなる。採鉱方式は鉱床の種類・品位・作業の安全性や能率などを考慮して選択される。また通信・運搬・通気・照明・排水な

昭和63年2月1日受付 (Received Feb. 1, 1988) (依頼展望)

* 早稲田大学理工学部教授 工博 (School of Science and Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo Shinjuku-ku, Tokyo 160)

Key words : recycle ; recycling ; metallic resources ; secondary recovery.

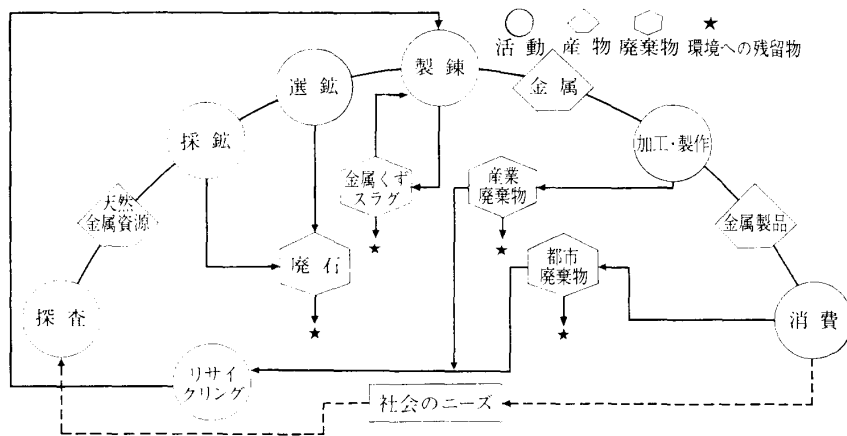


図1 社会システムと金属資源リサイクル

ども採鉱技術の一翼を担っている。

採鉱工程のアウトプットは粗鉱(未処理つまり品位を高めていない鉱石)と廃石である。廃石の大部分は採掘跡に充てんされる。

(3) 選鉱 (Mineral processing)

この工程を経て粗鉱の品位と形状は製錬原料に適した状態に仕上げられる。すなわち、この工程のアウトプットは精鉱(不用鉱物が除去されて品位が高められた鉱石)と廃石である。廃石のうち塊ないし粒状のものは骨材として、砂状粒子は坑内充てん材として利用される場合が多い。微粒廃石は廃滓ダムに堆積される。

選鉱工程は準備操作・選別・付帯操作の3段階からなる。準備操作の主体は粉碎(破碎・粉砕)と分粒(ふるい分け・分級)であり、選別には手選・重選・比重選別・浮選・磁選・静電選別・放射能選別・色彩選別その他の方式がある。手選・重選・放射能選別は予選法であり、鉱石の本格的品位向上は他の選別方式により達成される。付帯操作の主体は精鉱の濃縮・脱水と、廃石・廃水の処理である。

(4) 製錬 (Smelting and refining)

精鉱から金属を抽出し、さらにそれを所要の純度に精製するのがこの工程の役割であるから、この工程のアウトプットは各種の金属およびスラグである。製錬方式は乾式と湿式に大別され、その工程は前記のように粗金属を抽出する操作と粗金属を精製する操作の2段階に分かれる。製錬の中間段階で発生する金属くずおよびスラグ中の金属成分は、工程内の適切な個所にフィードバックされる。

(5) 加工・製作 (Manufacturing)

金属をインプットとし、金属製品をアウトプットとする金属加工・機械製作・化学工業などの段階は説明を要すまい。

(6) リサイクリング (Recycling)

製錬工程の中間段階で発生する金属くずおよびスラグ

中の金属成分は、前記のように工程内の適切な個所にフィードバックして回収するのが原則であるから、社会システムの物の流れとしてリサイクリングの対象となる金属は、図1の産業廃棄物および都市廃棄物に含有される金属である。

さてここでのリサイクリングとは、これら2次金属資源を製錬工程内の所要個所にフィードバックできる状態に上げる一連の操作を意味する。この操作は2次金属資源の収集、粉碎と分粒、選別、脱水と乾燥、焼却と熱分解、集じん、成形、廃水処理その他必要な処理からなる⁵⁾。

2.2 社会システムと関連づけた「資源」「廃棄物」「環境への残留物」の定義

(1) 資源

図1でみたように、天然資源は各段階の工程を経て最終製品となる。この意味から天然資源は、「社会システムのオリジナルインプット (Original input)」と定義することができよう。2次資源という言葉からもわかるように、資源とは一義的には天然資源を指す用語と解釈される。

図1の中間段階の工程の直接のインプットは、例えば製錬原料とか加工材料というように、資源ではなく原料・材料といったよびかたが適切である。

(2) 廃棄物

これは、「生産工程のアウトプットのうち目的外の物または消費活動のアウトプット」と定義できるであろう。図1で、六角形で示されているものすべてがこれに相当する。廃棄物は2次資源を含むことが多いので、前節で述べたようにリサイクルされる。

(3) 環境への残留物

天然資源とは正反対のものつまり、「社会システムのファイナルアウトプット (Final output)」がこれに該当するといえる(図1の星印)。

3. 金属資源リサイクルのための機械装置の例

3.1 粉碎と分粒

(1) 衝撃せん断破碎機⁶⁾(図2)

破碎機供給口側に特殊形式のフィーダを装備しており、粗大廃棄物を予備圧縮すると同時に破碎機へ強制的に押し込む機能を備えている。

破碎機フィーダは高速回転するリングハンマーとアンピルの間で衝撃と同時に強力なせん断力を受けて破碎され、グレートバー部に送り込まれる。ここでさらにリングハンマーとグレートバー間および廃棄物相互間で衝撃せん断破碎がくり返され、グレートバーのすき間以下に碎かれたものはそこを通り機外に排出される。

(2) 水中離解機 (Hydrapulper)⁷⁾⁸⁾(図3)

本機に投入された生ごみで碎けやすいものは、水の回流と高速回転刃のせん断力により細かく碎かれパルプ状となる。回転刃の下には 30 mm 目の孔あき板があり、パルプ状となった紙、厨芥、プラスチック類、また細粒

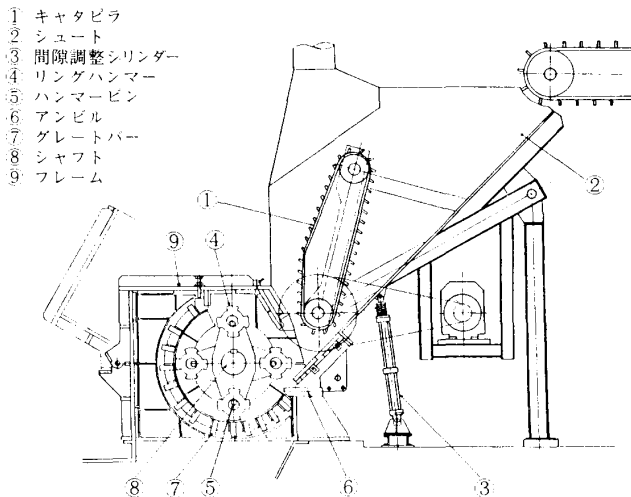


図2 衝撃せん断破碎機 (木村⁶⁾による)

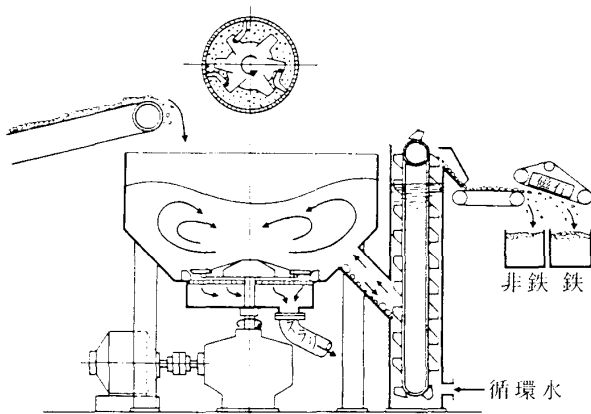


図3 水中離解機
(石川島播磨重工業廃棄物処理プラント部⁷⁾による)

となつた陶器、ガラス、土砂などはこの孔あき板を通過し次工程に送られる。一方、碎けにくい空缶などの金属類、ゴム類、皮類などは機体側方の開口部から排出し、バケットコンベヤーで次工程に送られる。

(3) 冷却破碎設備⁶⁾⁹⁾(図4)

図の設備は被覆電線、家電製品用モーター、乗用車用タイヤなどを連続的に冷却破碎するために作られた実験設備である。液体窒素の消費量は経済性を決める重要な値であるが、被覆電線の破碎では処理量 676 kg/h のとき 1 kg 当たり 0.2~0.6 kg となり、真の材料冷却に有効となる利用効率は 93.5% であつた。実験設備のデータをもとに実用装置が設計された。

3.2 選別

(1) 磁性流体を用いた比重選別機¹⁰⁾(図5)

磁性流体中の非磁性物体が受ける磁氣的浮揚力は、磁場の強さを変えることにより自由に調節できる。この原理を応用して、固形廃棄物に含まれる Al (比重 2.69), Zn (比重 7.12), Cu (比重 8.93) などの非鉄金属スクラップの比重選別の道が開かれた。

図は水ベース磁性流体を用いた選別機の構造を示すもので、1が選別槽、2が磁性流体、3が継鉄、4が永久磁石、5が浮上物回収コンベヤー、6が沈下物回収コンベヤー、7が低比重側固体、8が高比重側固体である。2個の永久磁石の N, S 極を V 字形に上開きの状態で対向させ 3 で連結し、磁石の一方をスライドしながら磁場

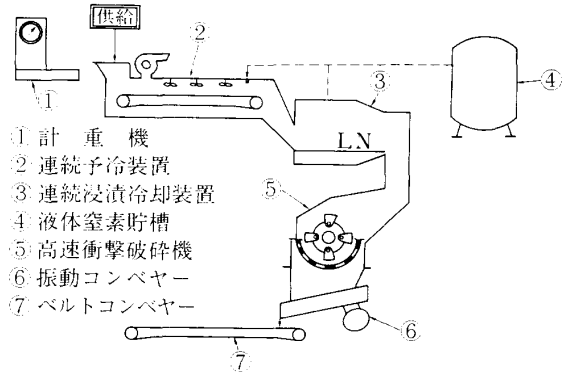


図4 冷却破碎設備 (クリーン・ジャパン・センター⁹⁾による)

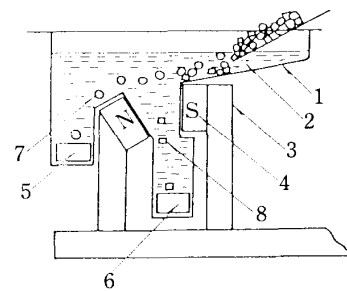


図5 磁性流体を用いた比重選別機 (中塚・下飯坂¹⁰⁾による)

の強さが変えられるようになっている。

(2)懸垂式磁選機⁸⁾¹¹⁾(図6)

図は都市ごみ用に改良されたベルト型磁選機の一例である。移送用磁極部のベルトのカーブおよび排出用磁極部の手前に無磁場帯を設けることにより、非磁性物の巻込みを防ぐ工夫がこらされている。図示していないが懸垂式ドラム型磁選機も作られており、ベルト型と同様有用であることが報告されている。

(3)渦電流選別機⁹⁾(図7)

渦電流力を利用して金属と非金属を分離する操作を渦電流選別とよぶ。これは選鉱に適用できる可能性は今のところなく、固形廃棄物処理専用の単位操作である。導電性を有する物体に変化磁界を作用させると、物体中に誘導電流が発生する。その電流により生じた磁界と外からかけられた磁界との作用で生ずる力を、渦電流力とよんでいる。

渦電流選別機において、非鉄金属に渦電流を発生させる手段にはリニアモーター方式、永久磁石方式、回転磁石方式の3者がある。

図は、回転磁石方式の回転ドラム型に属する機械の構造である。主磁極を外部動力により回転させ、リニアモーターと同じ効果の推力をAlに発生させ、他の非金属との飛距離差を利用して選別する。多くの場合磁極回転数を毎分約1000回転とし、ステンレスキャンのそれを毎分約10回転としている。

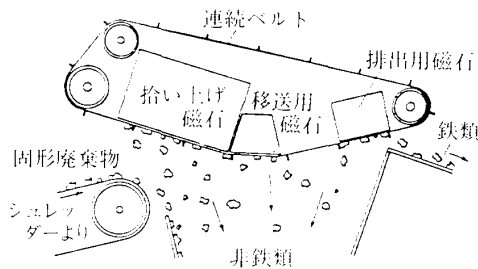


図6 懸垂式ベルト型磁選機

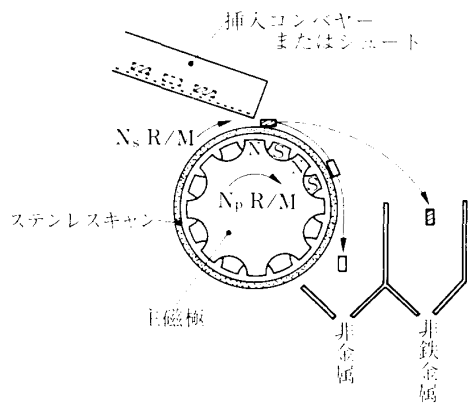


図7 渦電流選別機 (クリーン・ジャパン・センター⁹⁾による)

3.3 製錬

(1)スーパーアロイ前処理用真空溶融炉¹²⁾¹³⁾(図8)

Ni や Co ベースのスーパーアロイは、そのままでは塩酸で溶かして有価成分を回収することができない。しかし前もって Zn を加えて溶融後、Zn を選択的に揮発分離したあとは塩酸に容易に溶けるようになる。

図8は、その際の前処理炉として考案されたものである。炉にスクラップと Zn を 20:80 の比率で装入し、Ar ガス雰囲気下 900°C で 4 h 加熱すると Zn がスクラップに溶け込む。その後 850°C で 4 h 真空蒸留すると、Zn のみが揮発分離される。Zn 揮発後の金属は砕けやすくなっているため、粉碎後 6 N 塩酸を用い 95°C で 5 h 溶解する。この操作で Ni ベースアロイは 97% も浸出するようになり、Co ベースのものもほぼ同様の結果になるという。

(2)アルミニウムの脱 Mg 用ベル式装置¹⁴⁾(図9)

この装置は、融液に漬かつた鑄鉄製のベル形カバー下方の溶融アルミに塩素ガスを吹き込む構造になっている。ベル下方の適度な塩素分圧は、反応時間を最大限まで延ばす。生成した塩化物フェームと未使用塩素ガスは

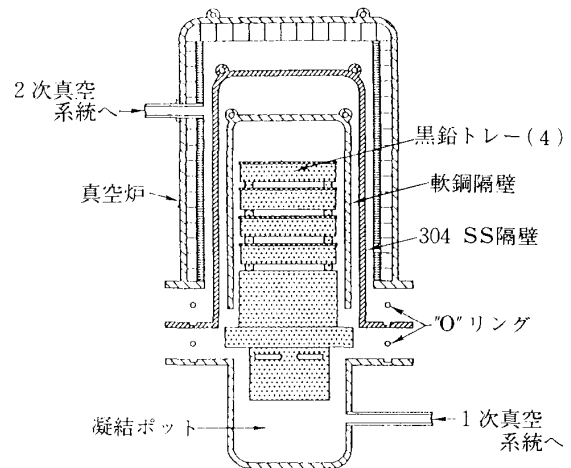


図8 スーパーアロイ前処理用真空溶融炉

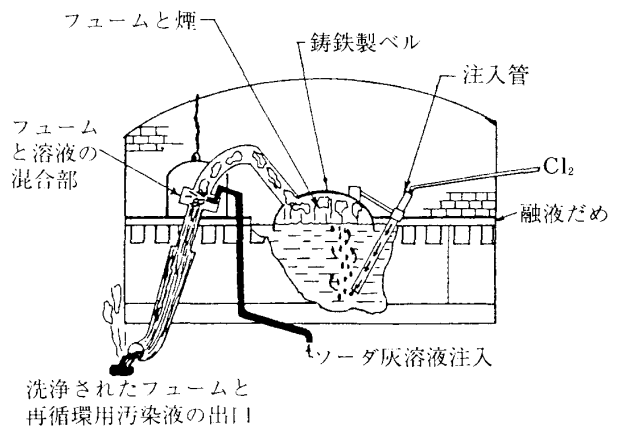


図9 アルミニウムの脱 Mg 用ベル式装置

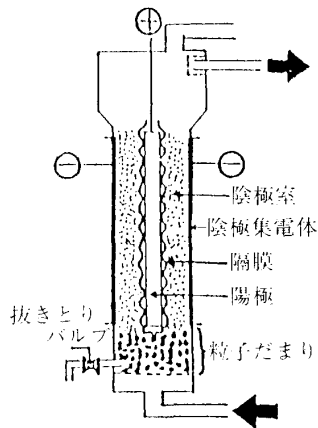


図 10 金回収用流動床型電解装置 (佐藤¹⁵⁾による)

ベル内側にたどい排出管に流入する。塩化物フェームは、排出管内でソーダ灰溶液により洗浄される。

(3) 金回収用流動床型電解装置¹⁵⁾(図 10)

この装置は陽極に Pt/Ti 電極、陰極にカーボン粒子を用い、装置底部から回収用原液を通過させ、カーボン粒子を液の流れで流動化させつつ Au を電解回収する構造になっている。

カーボン粒子を用いるため陰極表面積はきわめて大きく、電解効率は高い。この装置は、1) 平板電極電解槽に比べ電解面積が 10 000 倍である、2) レジンの約 10 倍の Au を析出させる、3) Au 回収率は飛躍的に高い、4) 連続運転中でも Au が取りだせる、5) 回収金の状態が観察できる、などの特徴をもつ。

4. 金属資源リサイクルの現況

4.1 2次金属資源

リサイクルの対象となる金属資源は、次のように分類することができる。

(1) 金属別分類

1) 鉄、2) アルミニウム、3) 銅・鉛・亜鉛等、4) レアメタル、5) 貴金属、6) 核燃料物質、7) その他。

(2) 機能(価値)別分類

1) 超硬工具、2) 高融点金属、3) 磁性材料、4) 電子工業材料、5) 写真材料、6) 蓄電池、7) 使用済触媒、8) 貴金属スクラップ、9) 使用済核燃料、10) その他。

(3) 発生源(形態)別分類

1) 製鉄所粉じん、2) 重油灰、3) めつきスラッジ、4) 水酸化アルミニウムスラッジ、5) 廃車、6) 廃家電製品、7) 廃乾電池、8) スチール缶、9) アルミ缶、10) その他。

4.2 リサイクルの事例

日本における産業系・都市系廃棄物 7 品目のリサイクルの現況を以下に紹介してみよう。

(1) 使用済触媒⁹⁾¹⁷⁾¹⁸⁾

使用済触媒とは Pt, Pd, Rh, Ag 等の貴金属をはじめ、その他触媒作用のある元素を化学的にも熱的にも安定な担体物質中に分散させて作った触媒の使用済品を指している。

主要用途別の発生量(単位万 t, 1975~80 年度合計)は、排煙脱硝用 14.9, 重油脱硫用 5.5, 有機顔料製造用 3.7, 顔料中間物製造用 3.2, 接触分解用 2.8, 水素製造用 1.5, アルキル化用 1.3, 脱硫用 1.2, 硬化油脂脂肪酸・脂肪アミン製造用 0.9, 重合用 0.8, 染料中間物製造用 0.6 であり、これら 11 業種で総発生量の 9 割を占める。

使用済触媒の資源化評価金額(単位千円, 1985 年度)がとくに高い 7 元素のそれは、Pt: 2 037 365, Pd: 945 001, Mo: 521 579, V₂O₅: 514 938, Se: 336 000, Ag: 335 800, Rh: 335 486 である。

資源化技術は、1) 乾式法、2) 湿式法、3) 乾湿折衷法、4) 非分離法に大別される。非分離法とは触媒と担体、または 2 元素以上の触媒成分をそれぞれの元素に分離せずに、各元素を組み合わせる使用する方法をいう。Ni や Mo のように還元しやすい成分の触媒は 1) の方法、貴金属触媒は 2) の方法、組成の複雑なものは 3) の方法により資源化をする。4) の方法は Fe を含む一部の触媒に適用されているに過ぎず、窯業技術に依存している。

(2) 貴金属スクラップ^{15)19)~21)}

Au, Ag および白金族 6 元素(Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt)を含めた 8 種類を、一般に貴金属とよぶ。1984 年度にスクラップから回収された Au 量は 2 503 kg, Ag 量は 182 t である。また資源化されているスクラップは、Au (Ag, Pd も) の場合 IC くず、めつき廃液、基板くず、歯科くず、美術・装飾品、ペン先くずなど、Ag (Pd も) の場合写真廃液、フィルムくず、接点、銀ろうなど、白金族の場合工業用触媒、自動車用触媒、白金網、白金るつば、熱電対などである。

貴金属の回収精製法の要点は次のとおりである。

1) Au: 王水や、酸化剤の存在下でシアン化アルカリに溶解する。HAuCl₄ や KAu(CN)₂ の還元剤には Zn 粉末その他を用いる。ほかに電解法による Au の溶解がある(3・3, (3)参照)。

2) Ag: 硝酸・熱硫酸や、酸化剤の存在下でシアン化アルカリに溶解する。また AgNO₃ は Cu や HCHO で、シアン化物は Zn により容易に還元される。そのほか電解法もある。

3) Pt: ほとんどの場合王水に溶解し、塩化白金酸になる。これを還元する際 Zn, Mg, Al その他が用いられる。

(3) 使用済核燃料²²⁾

現在、核燃料物質としては ²³⁵U および ²³⁹Pu が用いられている。²³⁵U は全 U 中わずか 0.7% しか存在しな

い。U 同位体の 99.3% を占める ^{238}U を有効に利用できれば、U 資源量は飛躍的に増大する。このための方策として、使用済核燃料の再処理や高速増殖炉の使用がある。

軽水炉用燃料には ^{235}U を同位体比 3% 程度に濃縮した二酸化ウランが用いられている。この使用済核燃料を再処理して U を回収すれば、同位体分離の負担を多少は減らすことができる。しかし回収の手間や資源の節約効果を考えると、U だけの回収ではなく生成した Pu の回収を含めることにより本当の意味が出てくる。生成した Pu の同位体の一部が核分裂物質であるから、これを回収して原子炉に戻せば燃料として使用できる。このような処理により、軽水炉の使用済核燃料から U と Pu を回収すれば、U 量の 30~40% が節約できるといわれる。

U の有効利用をさらに一段と促進する方法が高速増殖炉の使用である。この形式の原子炉では Pu の製造に多く考慮が払われ、使用した燃料を再処理することにより、消費された核燃料物質より多くの核分裂性 Pu を得ることができる。

現在、日本は使用済核燃料の処理を英国やフランスに委託している。しかし 1995 年頃には東海村の処理工場が年間能力 800 t の本格的規模となり、国内で発生する使用済核燃料の半分以上を処理するようになる予定という。

(4) めつきスラッジ²³⁾

めつきスラッジは Cu, Cr, Sn, Au, Ag などの有価物を多量含むので、非鉄金属 2 次資源として価値の高いものである。1983 年度の電気めつき業実態調査によると、濃厚シアン廃液と濃厚クロム廃液の月間発生量はそれぞれ 630 社で 430 kl, 485 社で 522 kl であつた。また脱水めつきスラッジの発生量は、1461 社で 5406 t/月であつた。スラッジの脱水には、大部分の個所がフィルタープレスを使用している。

資源化の有力な方法の一つに、非鉄金属製錬プロセスの原料の一部にめつきスラッジを使う、いわゆる山元還元法がある。スラッジの大部分が各種重金属の混合スラッジとして排出されるため経済性に問題があり、まだ一部でしか利用されていない。

現在めつきスラッジの山元還元を実施している個所は日曹金属(ウェルツ法)(回収金属: Zn, Pb, Cd, Au, Ag, Cu), 住友環境サービス(個別製錬)(回収金属: Ni, Zn, Cu, Au, Ag, Pb), 同和精鉱(塩化揮発法)(回収金属: Cu, Zn, Fe, Pb), 日本鉱業日立(回収金属: Cu)²⁴⁾ などである。

(5) 廃家電製品³¹⁶⁾

1988 年の廃棄予測として、冷蔵庫 19 万 t (360 万台), カラーテレビ 11.3 万 t (630 万台), エアコン 11.1 万 t (210 万台), 洗濯機 9.3 万 t (373 万台), 電子レンジ 2.8 万 t (95 万台), 掃除機 2.3 万 t (380 万台) と

いう数値が示されている。

家電製品を構成する金属の比率(%、1982 年度製品)は、冷蔵庫が Fe: 50, Cu: 4, Al: 3, カラーテレビが Fe: 10, Cu: 3, Al: 2, 洗濯機が Fe: 53, Cu: 4, Al: 3 であり、テレビに比べ冷蔵庫や洗濯機のほうが金属構成比が一段と高い。

家電製品の効率的資源化に対する社会的ニーズに応える目的で、(財)家電製品協会は下記のようなシステムを開発している。

1) 廃冷蔵庫はコンプレッサ、銅複合部分、アルミ部分などを粗分解後個別に破碎し、磁選により純度を上げる。残部の本体などは破碎後磁選により鉄類を回収し、非磁性物を風力選別して発泡ウレタンとグラスウールなどに分離する。

2) 廃洗濯機もだいたい同様のプロセスで処理する。

3) 廃テレビは本体ケースとブラウン管に二分し、本体を約 400°C で加熱処理後焼成物を磁選して鉄類を回収し、アルミ類は手選し、残りの焼却灰からは Au, Ag, Cu 等の貴重金属を回収する。ブラウン管は手選、粉碎、ふるい分けなどにより、ファンネル粉末、パネル粉末、希土類蛍光体、ガラスくず、鉄くずなどに分離する。

(6) 使用済乾電池²⁵⁾

1985 年の 1 次電池生産個数は 29.7 億個であり、その 71.4% をマンガン乾電池が占めている。生産量の 60% 前後が使用済乾電池として扱われるが、その重量は 7 万 t 前後と推定される。資源化の対象となる乾電池の金属成分は Zn, Fe, Mn, Ag, Hg などである。

(財)クリーン・ジャパン・センターは、野村興産(株)と三井金属エンジニアリング(株)の協力を得て、1985 年、北海道イトムカ鉱業所内に水銀含有廃棄物再資源化実証プラントを建設した。この工場は使用済乾電池を処理の主対象としており、処理能力は 20 t/日 (6000 t/年) である。主要工程は次のようである。

1) 選別工程: 乾電池を形状と大きさの差で単一形、単二形、単三形、ボタン形、角形の 5 種類に選別し、次いで重量差を利用してマンガン乾電池とアルカリ・マンガン乾電池の 2 種類に自動選別する。

2) 解体工程: 選別された乾電池の一部を解体し、金属外装を鉄くずとして回収する。

3) 焙焼工程: 選別解体等の処理を経た乾電池を解砕混合機で解砕後、焙焼炉内で 700~800°C に加熱し、Hg その他揮発性物質を分解、揮発させる。焙焼炉として回転炉を用いている。

4) 磁選工程: 焙焼を終えた焼滓を常温に冷却、予備解砕後、磁選して鉄分とその他に分離する。ケージミル型解砕機およびドラム型磁選機が用いられ、磁性物は鉄くず、非磁性物は Zn 等の原料になる。

5) 凝縮工程: 焙焼工程で発生する排ガスを集じん後、Hg ガスを露点以下に冷却し、金属 Hg として回収する。

使用済乾電池からの金属の回収については、他にも参考になる報告²⁶⁾²⁷⁾がある。

(7)アルミ缶¹⁰⁾²⁸⁾

アルミ缶の1985年度生産実績は60482tでそのうち回収物が占める量は24549t(12億3千万缶)、回収率は40.6%となっている。

アルミニウムくずから地金を再生するのに必要なエネルギー量は、鉱石のボーキサイトから地金をつくる場合の33分の1なので、アルミ缶のリサイクルによる省エネルギー効果は顕著である。

1985年度に回収・再生されたアルミ缶の量から、エネルギー節減量を計算すると、234万世帯(ほぼ神奈川県相当)の1か月の電力使用量に当たる。

日本の20倍以上のアルミ缶を出荷する米国での回収率が50%以上であることを考えると、日本のリサイクルの現状は決して十分とはいえない。

集められたアルミ缶は、回収処理センターで選別、裁断処理されたのち再生地金工場に搬入される。

5. む す び

金属資源のリサイクルと題し、まず第1章では金属資源リサイクルの定義・意義について、第2章では社会システムと金属資源リサイクルの関係、社会システムと関連づけた資源・廃棄物・環境への残留物の定義などに触れた。次いで第3章では金属資源リサイクルのために登場した機械装置を単位操作別(粉碎と分粒・選別・製錬)に例示し、第4章では金属資源リサイクルの現況を概観するため、2次金属資源を分類ののち、1)使用済触媒、2)貴金属スクラップ、3)使用済核燃料、4)めつきスラッジ、5)廃家電製品、6)使用済乾電池、7)アルミ缶を例にとり、リサイクルのあらましを紹介した。

金属資源の延命、環境保全、エネルギー節減等のため、金属資源リサイクルは今後さらに徹底されることが望ましい。金属鉱物が安価に輸入できる今日、資源リサイクルは経済ベースに乗りにくい面もあるが、天与の財産と環境を子孫のために未長く確保するには、リサイクルの促進以外に方途はないものと確信するしだいである。

文 献

1) 日本鉄鋼連盟: 鉄鋼統計要覧 (1960), (1975), (1986)
2) 日本鉱業協会: 鉱山 (1974年6月), (1986年6月)

3) クリーン・ジャパン・センター: リサイクル '86
4) D. B. BROOKS: World Mineral Supplies, ed. by G. J. S. GOVETT and M. H. GOVETT (1976), p. 302 [Elsevier Scientific Publishing Co.]
5) 茂呂端生, 坂本 宏: 日本鉱業誌, 98 (1982), p. 748
6) 木村皎泰: 浮選, 23 (1976), p. 117
7) 廃棄物処理プラント部: 石川島播磨技報, 16 (1976), p. 158
8) 下飯坂潤三: 浮選, 24 (1977), p. 197
9) グリーン・ジャパン・センター: 再資源化技術(非鉄金属系廃棄物) (1983)
10) 中塚勝人, 下飯坂潤三: 鉄と鋼, 73 (1987), p. 55
11) G. TCHOBANOGLOUS, H. THEISEN and R. ELIASSEN: Solid Wastes (1977) [McGraw-Hill Co.]
12) G. B. ATKINSON and D. P. DESMOND: Recycle and Secondary Recovery of Metals, ed. by P. R. TAYLOR, H. Y. SOHN and N. JARRETT (1985), p. 337 [The Metallurgical Society, Inc.]
13) 松村治夫: 金属資源のリサイクルに関する研究会資料(日本鉱業会関東支部編) (1987), p. 15
14) D. V. NEFF: Recycle and Secondary Recovery of Metals, ed. by P. R. TAYLOR, H. Y. SOHN and N. JARRETT (1985), p. 73 [The Metallurgical Society, Inc.]
15) 佐藤浩安: 全国地下資源関係学協会合同秋季大会分科研究会資料, [J] 資源リサイクリング (1985), p. 1
16) クリーン・ジャパン・センター: リサイクル '87
17) 舟山三雄: 資源・素材関係学協会合同秋季大会分科研究会資料, [S] 資源リサイクリング (1987), p. 17
18) 六川暢了: 金属資源のリサイクルに関する研究会資料(日本鉱業会関東支部編) (1987), p. 24
19) 高橋國彦: 全国地下資源関係学協会合同秋季大会分科研究会資料, [Q] 資源リサイクリング (1986), p. 13
20) 中廣吉孝, 若松貴英: 資源・素材関係学協会合同秋季大会分科研究会資料, [S] 資源リサイクリング (1987), p. 5
21) クリーン・ジャパン・センター: 再資源化システム技術体制整備調査研究(貴金属) (1987)
22) 竹中俊英: バウンダリー, 3 (1987), p. 32
23) 柳下相三郎, 福田 正, 阿部裕士: 全国地下資源関係学協会合同秋季大会分科研究会資料, [J] 資源リサイクリング (1985), p. 9
24) 加藤 紀, 加藤光男, 小沢八郎: 全国地下資源関係学協会合同秋季大会分科研究会資料, [J] 資源リサイクリング (1985), p. 20
25) 兼丸 敏: 金属資源のリサイクルに関する研究会資料(日本鉱業会関東支部編) (1987), p. 30
26) 南條道夫: 全国地下資源関係学協会合同秋季大会分科研究会資料, [Q] 資源リサイクリング (1986), p. 9
27) 石森富太郎, 問田雅之, 黒豆伸一: バウンダリー, 3 (1987), p. 38
28) オール・アルミニウム缶回収協会: リサイクル (1987), p. 1