

# 特殊金属のリサイクリングの現状

## The Present Situation of Recycling on Rare Metals

三 藤 利 雄\*

Toshio Mitsufuji

### 1. 概 要

1973年後半に勃発したオイルショックは、第二次世界大戦後順調に成長し続けてきた世界経済に深刻な影響を及ぼした。以来、地球の有限性があらためて認識されるとともに、エネルギーや資源に対する関心が非常に高まってきた。また、日本においては、経済の著しい発展の中で、公害問題が激化し、昭和45年には公害関係の法律体系が抜本的に整備されるなど、わが国では、資源問題と環境問題の解決は昭和40年代後半の重要な政策課題であった。そして、大気あるいは水質等の公害問題のほかに、生産活動が活発化し消費が急速に拡大する中で、新たに大量に発生する廃棄物の処理・処分問題が顕在化してきた。

このような状況に対応する一つの方法として、リサイクリングが注目を集めるようになってきた。リサイクリングとは、廃棄物ないし廃棄物になる可能性のあるものを有効利用するといった意味であって、必ずしも、新しい考え方ではなく、古くから行なわれてきた活動であるが、1970年代にことさら取り上げられるようになったのは、激化する資源問題と環境—廃棄物問題に国家的ないし社会的に対応するといった含意があったからにはかならない。

つまり、生産過程で中間原料や製品を作る際に排出される廃棄物や、流通・消費過程で発生する廃棄物を資源として活用することにより、資源・エネルギーを節約し、また、環境中に排出される廃棄物の量を減らすことにより、環境への負荷を減少させるものとして、リサイクリングの役割が期待されたのである。ところで、リサイクリングは、1970年代において、日本のみならず、他の先進諸国でも、多くの注目を集め、アメリカをはじめとして、OECD加盟の諸国では、リサイクリングの可能性について調査・研究が実施されるとともに、

様々な実験や商業化へ向けての活動が行なわれてきた。

このように、リサイクリングが社会的に注目されるようになってから、10年以上が経過した。ところで、この間に、1979年の第二次石油ショックをはじめとして多くの社会的な事件がおきる一方、軽薄短少という言葉の流行に代表される産業構造の変化、ニューメディアの急速な発展、経済のソフト化などが生じ、現在に至っている。こうした中で、生産部門のみならず消費過程あるいは消費行動にも質的、構造的な変化が生じてきた。

こうした社会情勢の変化にあって、リサイクリング活動は、様々な試行錯誤を繰り返しつつも、多くの知見をつみ重ねてきた。そして、産業廃棄物の再資源化率も向上し、一般廃棄物の分別回収、資源化が進展してきたが、必ずしも、リサイクリングの実能は明らかにはなっていない。そこで、これを具体的な事例に基づいて把握することにより、リサイクリングを推進するための体制を整備することがのぞまれていると考えられる。そのために、ここでは特殊金属を対象として、リサイクリングの現状を検討してみたい。

ところで、特殊金属のうち、コバルト (Co)、クロム (Cr)、マンガン (Mn)、モリブデン (Mo)、ニッケル (Ni)、バナジウム (V)、タングステン (W) の七種類の金属は、昭和57年以来、順次、国家備蓄の対象となってきている。これらの金属が国家備蓄の対象になっているのは、今後予想される科学技術の発展に伴い、その重要性がこれまで以上に高まるとともに、需要量が拡大する中で、長期的な視野に立って総合的かつ積極的に資源の安定確保を図るためであろう。

ところで、資源の安定確保のためには、このほかに新鉱脈の開発、低品位鉱からの抽出技術の開発などとともに、スクラップからの回収を含めて、リサイクリングの推進等の方策が重要であると考えられる。

そこで、本報では、国家備蓄の対象となっている七種類の特殊金属をえらび、これをリサイクリングの観

\* (財)クリーン・ジャパン・センター業務部課長

〒105 東京都港区虎ノ門3-6-2 第2秋山ビル

点からとらえることにより、リサイクリングの実態を明らかにするとともに、リサイクリングの役割と課題について検討してみたい。なお、本文中、意見や見解にわたる事項はすべて筆者の私見であることをお断りしておく。

2. 特殊金属とその物質フロー

特殊金属ないし希少金属については、特に明確な定義はないものの、およそ、地球上での天然の存在量がまれである金属、存在量が多いが技術的、経済的に抽出しにくい金属、あるいは、用途が未開発なためほとんど利用されていない金属などがこれに該当するといわれている。上記七金属の場合、古くから使われている鉄、銅、アルミニウムなどの金属と比較して、磁気特性、融点、耐熱性、耐食性、耐摩耗性などの物理的特性や化学的特性に優れたものが多い。従来は、こうした金属特性を活かして鉄鋼等に添加され、特殊鋼などとして利用されることが多かったが、近年にいたって、新素材の開発・研究がすすみ、半導体、超電導材料、電子・光材料、ニューセラミックス材料、形状記憶合金などの先端技術分野における需要が高まりつつある。わが国において、どのくらいの量が使用されているかは、国の統計等によっても、必ずしも明らかではないが、1982年における特殊七金属の総供給量は、

表1 特殊七金属の消費量等

金属名	消費量(1982年)*1	自給率*2	世界におけるわが国のシェア*2
Co	$3.4 \times 10^3$ ton	0 %	15%
Cr	$3.4 \times 10^5$	1.5	10
Mn	$6.5 \times 10^6$	5.1	16
Mo	$1.0 \times 10^4$	1.1	15
Ni	$1.3 \times 10^3$	0	17
V	$3.9 \times 10^3$	18.5	15
W	$2.2 \times 10^3$	25.3	5

\*1 純分換算で鉱石輸入量・産出量、純金・合金輸入量等より推定(くずは除く)。

\*2 鉱業便覧(1982年)より作成。ただし、Vについては本調査による結果を用いた。

純金属換算で、大体表1の程度とみられる。また、わが国の特殊七金属の消費量は、全世界の10~15%を占めている。(表1)

このような消費量に対して、表1に示すように、わが国では、特殊金属のほとんどを外国からの輸入に頼っている。しかも、その輸入先は、共産圏や、政情の不安な南アフリカ地域が多く、安定した資源の確保に支障の生ずる可能性のあることが指摘されている。これも七種類の特殊金属が国家備蓄の対象になっている理由の一つである。

さて、特殊金属の物質フローは、概略、図-1のようにあらわせる。つまり、輸入、採掘等によりえられた鉱石等の原料は精錬工程などを経て中間製品となる。中間製品を製造する段階で発生するくずは、自家発生くずとして、ほとんどが自家利用される。中間製品は電機製造業や自動車製造業などの加工メーカーの手にわたり、最終製品がつくられる。この過程で発生するくずが加工くずで、これは回収・再生業者によって回収され、再び原料として利用される。こうして製造された製品のうち、生産財は工場、事業所などで使われ、また、消費財は消費者の手にわたって消費される。これらの財はいずれも、老朽化して使えなくなったり、使わなくなると廃棄される。たとえば埋込み配管のようなものは、そのまま放置される。そのほか、埋立等により最終処分されたり、回収されて、再び原料として使われるものもある。このように老朽生産財、老朽(使用済)消費財は、いずれも、原料として再利用される場合には、加工くずと同様、回収・再生業者の手を経て、再生原料として供給される。

こうして利用、消費される特殊金属の各部門における物質フローの数値を示したのが、表2である。

総供給量Aは原料供給に対応する。また、最終製品Bは、

$$B = G + H$$

ただし、G:生産財の生産量(当該金属分)

H:消費財の生産量( " )

くずの合計Cは、

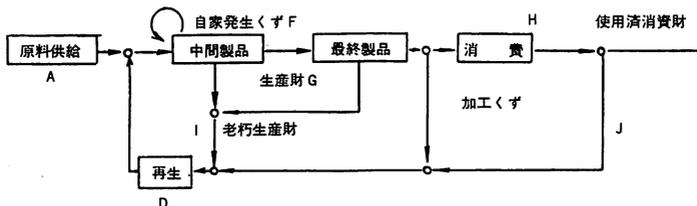


図-1 特殊金属のリサイクリング概念図

表2 特殊七金属の回収率(57年度)

	Co	Cr	Mn	Mo	Ni	V	W
A *2	t	t	t	t	t	*1 t	t
総供給量	$3.4 \times 10^3$	$3.4 \times 10^5$	$6.5 \times 10^5$	$1.0 \times 10^4$	$1.3 \times 10^3$	$3.9 \times 10^3$	$2.2 \times 10^3$
B	t	t		t	t	t	t
最終製品	$4.9 \times 10^3$	$5.2 \times 10^6$	不明	$1.5 \times 10^4$	$20 \times 10^3$	$3.6 \times 10^3$	$4.8 \times 10^3$
C	t	t	t	t	*5 t	t	t
くず合計	$0.57 \times 10^3$	$1.4 \times 10^5$	$0.26 \times 10^5$	$0.28 \times 10^4$	$0.53 \times 10^3$	$0.37 \times 10^3$	$0.91 \times 10^3$
D	t	t	t	t	t	t	t
購入くず	$0.33 \times 10^3$	$0.75 \times 10^5$	$0.05 \times 10^5$	$0.09 \times 10^4$	$0.21 \times 10^3$	$0.07 \times 10^3$	$0.77 \times 10^3$
E	t	t	t	*6 t	t		t
老廃くず	$0.17 \times 10^3$	$0.25 \times 10^5$	$0.02 \times 10^5$	$0.06 \times 10^4$	$0.07 \times 10^3$	不明	$0.67 \times 10^3$
U <sub>1</sub>	14 %	29 %	3.8 %	22 %	29 %	8.9 %	29 %
U <sub>2</sub>	8.8 %	18 %	0.8 %	8.3 %	14 %	1.8 %	26 %
U <sub>3</sub>	3.5 %	4.8 %	0.3% <sup>*3</sup>	4 % <sup>*6</sup>	3.5 %	~0% <sup>*4</sup>	14 %

\*0 B,C,Eは図-1の記号により, 次のように表わせる; B=G+H, C=D+F, E=I+J.

\*1 この内, Mo触媒およびFP灰からの回収量は,  $0.72 \times 10^3$  t

\*2 くずは除く.

\*3 E/A

\*4  $0.72 \times 10^3 + B = 20\%$

\*5 製鋼用のみ, その他は不明.

\*6 Mo触媒から210 ton再生される. これを足し合わせると, 約  $0.08 \times 10^4$  ton (E') となり, E'/B = 5.3 %

$$C = D + F$$

ただし, Dは再生業者の手を経て再生されるものの量で, 老朽生産財ないし使用済消費財のうち再生にまわるもの(I+J)と, 加工くずの和である. また, Fは中間製品を製造する時に発生する自家発生くずである. 老廃くずは, 老朽生産財のうち再生にまわるもの(I)と, 使用済消費財のうち再生にまわるもの(J)の和である.

このように, 各記号を定義した上で, 特殊金属くず(ないし廃棄物, 以下同様)の利用率を計算してみる. 利用率の計算は生産側-供給側-からみるか, 消費側からみるかによって異なる. さらに生産側-供給側-については, 特殊鋼メーカーなどのくず(廃棄物)のユーザーと回収サイド(再生業)では違ってくる.

つまり, 生産側からみた場合, くずの利用率Uは, くずをS, 一次原料(総供給量)をAとして,

$$U = S / (A + S)$$

ここで, 特殊鋼メーカーのように, くずのユーザーサイドでは, くずSは

$$S = F(\text{自家発生くず}) + K(\text{加工くず}) + (I + J)(\text{老廃くず})$$

となる. これを表2中のU<sub>1</sub>に示す.

これに対して, 回収サイドからみた場合, 自家発生くずは, 回収業の手に回らないことから,

$$S = K(\text{加工くず}) + (I + J)(\text{老廃くず})$$

となる. 各特殊金属ごとに, 計算した回収サイドからみた利用率U<sub>2</sub>を表2に示した.

ところで, U<sub>1</sub>およびU<sub>2</sub>には, 生産工程で発生するくず(自家発生くずないし加工くず)が含まれている. これは, いずれも, 比較的大量に発生し, かつ均質であって, リサイクリングも割合容易であると考えられる. したがって, U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>とも, 比較的高い数値を示している.

これに対して, 消費側から利用率をとらえた場合, その数値は, 非常に低くなる. つまり, このケースでは, 利用率U<sub>3</sub>は,

$$U_3 = (I + J) / (G + H)$$

により算定できる(表2).

U<sub>3</sub>をみると, タングステンをのぞいて, いずれも5%以下である. この理由としては, 次のようなことが考えられよう.

- ① 特殊金属は使用量が増大しつつある金属で, 老廃くずの排出量はまだまだ多くない.
- ② メッキ, 照明管の接点, 埋設管等ほとんど回収の不可能なものがある.
- ③ 消費, 排出量が少なく, 回収しても経済性に乏しい.

それにしても, 一旦, 製品となって, 生産財ないし

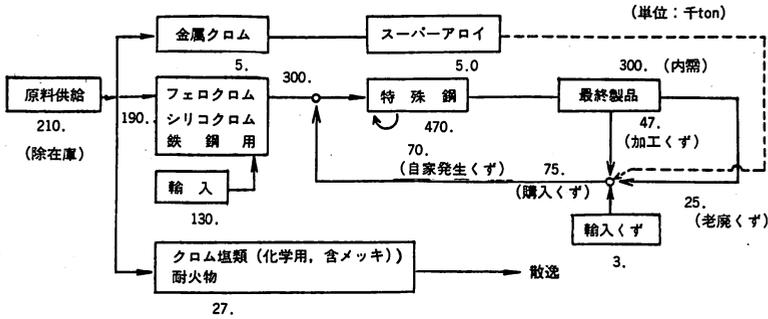


図-2 Cr (クロム) の物質フロー

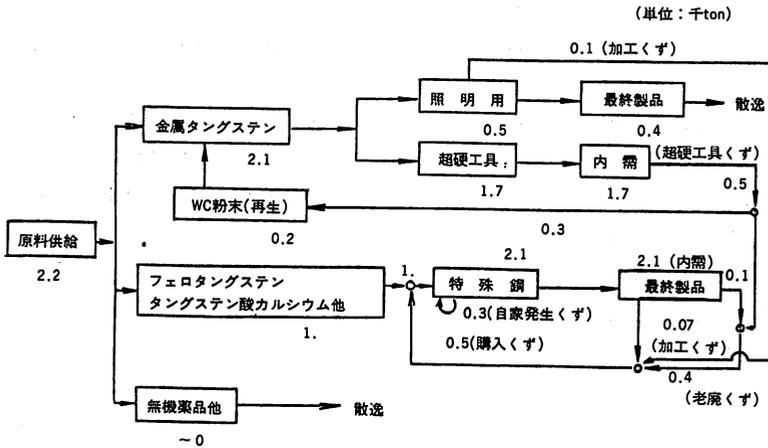


図-3 W (タングステン) の物質フロー

消費財として使用されると、それを回収して、リサイクルすることが極めて困難なことをこれは示していると考えられる。

次に、特殊七金属のうちCrとWの物質フローを図-2と図-3に示す。数値間に必ずしも整合性がとれていないのは統計データその他が正確でなく、またタイムラグなどを考慮していないためである。さてCrは、そのほとんどが特殊鋼用に使われている。金属Crはスーパーアロイとして、ごく特殊な用途に用いられているが、これが廃棄された後は、再びスーパーアロイに使われることはなく、特殊鋼の原料として使用される。このように、金属のリサイクルにおいても、はじめに利用された用途と同等ないしそれ以上の用途に利用されることはほとんどなく、少しずつ、グレードの低い用途に利用されることが多い。このような使用方法をカスケードユースという。メッキ、化学用等に使われたCrはそのまま散逸してしまう。また、メッキ廃液からのCrの回収は、いまのところ経済的に成り立ちにくく、ほとんどリサイクルされていないようである。

次にWは、他の金属と比べて、高い利用率を示しているが、これは超硬工具くずがよく回収されているからである。しかしながら、これも再生すると品質が劣化するため工具用には利用されず、自動車タイヤのスパイクなどに用いられている。電子管や照明管に使われたものは回収されていないが、工場内で発生した加工くずは回収、利用されている。特殊鋼の中では、高速鋼の回収がよく行われている。

次に、他の特殊金属のリサイクルの状況について、簡単に述べる。

<コバルト>

コバルトは磁性材料や化学品を中心によく回収されている。一般家庭製品に使われたものの回収は困難であるが、大型コンピュータの解体時には磁気ディスクなどからCoが回収されており、再生インゴットを作っている業者もある。触媒等化学製品は大手化学メーカーがユーザーで、需要者が限定されているために、効率的な回収がなされているとみられる。

<マンガン>

マンガンは製鋼用脱酸剤を中心に大量に使用されて

いるが、価格が安いためにほとんど回収されていない。しかし、マンガンは代替金属が少なく、将来的には回収の必要性が高まることも予想される。

#### <モリブデン>

特殊鋼向けの用途が最も多いが、一般にその添化率は低く、モリブデンを主目的とした回収はほとんどない。ただし、石油精製プラントなどで使用される重油脱硫触媒からモリブデンが回収されている。

#### <ニッケル>

ステンレス鋼や耐熱鋼の加工くずの回収は盛んに行なわれている。ニッケルは、比較的高価な金属であることもあって、ニッケルの回収を専門に行っている業者もある。蓄電池とメッキ廃液については山元に戻元されて、再び純金属等として利用されている。

#### <バナジウム>

高抗張力鋼に多く使われているが、輸出されるものが多く、また、大口径管として埋設されて使用されるものが多い。掘り起こして回収されることはないようである。なお、重油脱硫触媒や石油火力発電所の重油灰の中からバナジウムが回収されており、国内需要の20%近くを供給している。

### 3. 回収と再生の現況と特徴

特殊金属の回収専門業者は東京、大阪の二大都市圏と洋食器の生産地である燕地区に集中している。これは大手直納業者で、全国各地で発生する特殊金属くずは各地方の建場業者、中間問屋を経て回収されている。

特殊金属の回収には、金属特性ばかりでなく価格動向、国際情勢などの専門知識が要求される。大手直納業者は比較的古くから特殊金属の回収に携っており、それぞれ独自の専門領域をもっている。量的に少なく、市場もせまいと思われるが、回収業者間でも他の領域へ参入することは難しいようである。また、近年の技術革新の急速な進展の中で、特殊合金の組成はますます複雑になってきているが、特殊金属の回収・再生にはこのような知識が不可欠で、これが一種の参入障壁になっている。

回収されている金属はステンレスに使われているCrとNiが圧倒的に多い。

次に、こうして回収された特殊金属くずのユーザーである特殊鋼メーカーの実態をみると、特殊鋼メーカーでは、鉱石やくずの相場の変化に応じて、くずの配合比率をかえている。中では、コバルト、タングステンの利用が多く、また、ステンレスくずの配合比率

が高い。特殊鋼メーカーでは製品の品質管理の必要から、くずに対する関心が高く、回収業者やくずを発生する加工メーカーに対して、不純分の除去や選別処理の徹底を求めている。また、回収品の信頼度を高めるために、自社製品の販売先からの直接回収に努めているメーカーもある。

次に、これまでに述べてきたことを含めて、特殊七金属のリサイクリングに関わる特徴を述べる。そのために、これを、回収・再生業と、回収・再生ルートの観点に分けて検討する。

まず第一に、回収・再生業に関しては、

- ① 特殊金属を専門に扱う回収・再生業者があり、業界団体を形成している。
- ② 回収専門業者は全般に小規模、小資本である。高度の技術を用いたり資本集約的な施設は少なく、経営者やキーパーソンの判断あるいは人脈によるところが大きい。
- ③ 特殊金属の再生にはユニークな技術をもつ企業が少数ではあるが散見される。また、メッキ廃液を山元環元するために独自のルートを形成している企業がある。
- ④ 特殊金属自体の種類が多く、また、種々の用途に広く利用されているので、回収には専門的な知識が必要である。これが特殊金属の回収分野への参入障壁の一つとなっている。

第二に、回収・再生ルートに関しては、

- ① 再生原料の入手、再生品の販売市場が不安定で、一次原料との価格、品質競争の面で不利になりがちである。また、価格の変動が大きく、これらのことが回収・再生業の経営を不安定にし、小規模、小資本の業態を余儀なくさせられていると考えられる。
- ② スクラップの質は、一般に一次原料よりも低下するために、結局、特殊鋼に添加されることが多い。スクラップの質が見極めにくいことや、いろいろなスクラップが混合していること、異物その他が混入していることなどの理由があげられる。
- ③ 照明管に含まれるタングステン等、最終消費にまわったものはほとんど回収されていない。これは、回収費用に対して、再生品の販売収入が少ないため、経済的に成立しにくいからである。
- ④ ステンレスくずの回収体制は整備されているものの、一般には、特殊鋼くずの回収時に付随的に集められることが多い。

このように、特殊七金属のリサイクリングは、小規

模な経営形態で、しかも、老朽生産財や使用済消費財がほとんど回収されていないなどの問題はあつたものの社会の中に定着しており、回収一再生業の中には着実に成果をあげている企業もみられる。したがって、特殊七金属のリサイクリングを推進しようとする場合、単なる経済的な助成策のみでは、効果は少ない。

したがって、リサイクリングの促進には、これ以外の何らかのインパクトが必要である。それを外的なインパクトと内的なインパクトに分けて考察してみる。

まず第一に、外的なインパクト要因としては、環境問題、とりわけ廃棄物問題、および資源問題が考えられるが、特殊七金属の場合は、冒頭にも述べたように資源問題が重要であろう。

さて、特殊七金属は国家備蓄の対象になっており、この確保は、したがって、国家の緊急の課題であると考えられる。ところで、国家備蓄は非常時対策であるのに対して、リサイクリングは平常時の対策であり、その比較は難しい。しかしながら、国家備蓄のためには、コストが投入されているわけであり、これとの比較の中で、特殊七金属のリサイクリングの意義についてさらに検討することが必要である。

そのためには統計を整備し、各金属鉱種ごとの物質フローを把握した上で、何らかの外部要因が生じた場合の状況をシミュレートできるような解析モデルを開発することがのぞまれる。

次に、内部からのインパクト要因としては、技術開発ないし、回収一再生のための効率的なシステム化が考えられる。

技術開発にはこの場合改造技術とブレイク・スルー技術の開発の二つの方法がある。現代社会においては、技術革新が絶え間なく生じ、新技術、新生産工程、新製品が次々と誕生している。こうした中であつては、発生する廃棄物の質と量の変動は非常に激しい。このような変動に応じ、追隨できるような技術がリサイクリングの場合には相応しく、その点では適切な改造技術ないし、アダプティブなシステム技術の開発がのぞまれよう。

これに対して、ブレイク・スルー技術の開発は、リサイクリングの場合、適用できる範囲は少ない。というのは、ブレイク・スルー技術の開発には相当の投資が必要であるが、対象となる廃棄物の量が多いことはあまりなく、また、対象廃棄物自体の質が変動すると、これに対応できなくなってしまうおそれがあるからである。しかしながら、一部の廃棄物に対しては有効

であり、たとえば、廃触媒からのMo、V回収などはその一例であろう。

また、特殊金属の回収一再生のシステム化は広義のシステム技術開発といえよう。廃棄物、くず等の発生から回収、再生まで、産業間の協力を図り、効率的に運用することができれば、リサイクリングの経済性は向上し、リサイクリングがすすむであろう。ニッケル・メッキ廃液の山元環元はその一例である。

以上述べたように、特殊金属のリサイクリングの推進には、アダプティブな改造技術とシステム技術の開発が重要で、今後、このための技術開発がのぞまれよう。

#### 参考文献

- 1) 金属鉱業事業団「昭和58年度希少金属鉱産物備蓄業務に関する調査報告書」
- 2) 鉱業審議会鉱山部会レアメタル総合対策特別小委員会「レアメタル総合対策について」昭和59年12月。
- 3) 資源調査会編「21の重要レアメタルと機能材料」アルム出版社、昭和60年2月。
- 4) (社)日本鉄鋼連盟「先進諸国における希少金属の備蓄政策」
- 5) (財)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—特殊七金属」
- 6) 三藤、小川、代田「特殊金属の再資源化」産業と環境、85、10。
- 7) 三藤「資源リサイクリングと経済性」、日本鉱業会、秋期大会、昭和60年10月。