

金属材料のリサイクル

Recycling of Metals

原 田 幸 明*

Kohmei Halada

1. はじめに

地球環境問題は、今世紀半ばの公害問題の顕在化から、70年代のローマクラブの「成長の限界」に代表される資源としての「地球の容量の限界」の認識をへて、「環境容量の限界」の認識へと深化してきている。その中で、世界的にも、Sustainable Developmentの認識が定着しつつあるが、枯渇性資源を前提としている金属分野では、資源循環型技術の構築が根幹的な課題となり、金属の資源や製錬、リサイクルに関する考え方も、新たな転換が求められている。そこで、本稿では金属資源のリサイクルの現状を概観するとともに、将来の資源循環型社会を展望した技術としてリサイクル技術が定着していくために、リサイクル性の評価など金属のリサイクルに関する幾つかのポイントに触れ、論点の整理をしてみる。

2. 金属のリサイクルの現状

まず金属元素のリサイクル率を全体的に概観する。これは、「レアメタル31」¹⁾および「鉄鋼統計年報」²⁾「資源統計年報」³⁾から計算したもので、年生産量、耐用年数とともに表1にまとめた。このリサイクル率は金属材料のみでなく酸化物等として用いられるもの、およびリサイクル後の用途の異なるカスケードリサイクルも考慮している。また、自家発生屑もデータとして明らかなものはリサイクル源として計算した。なお、リサイクルの絶対量の多いものを「主なリサイクル源」として表中に示し、主要用途と比較できるようにしてある。

2.1 ベースメタルのリサイクル

Fe, Al, Cuなどのベースメタルは概して30~50%のリサイクル率となっている。これは、基本的に流通

量が多く加工屑などの発生も大きいため、リサイクルの静脈部門（肝腎部門との呼び方もある）が市場規模で成立していることに因っており、一方このパーセンテージに留まっていることは現時点での静脈部門と動脈部門の力関係を反映しているともいえる。以下にいくつかの特徴と問題点を見てみる。

Feのリサイクルは電気炉製鋼法の発展とともにスクラップ使用率として上昇してきた。現在電気炉製鋼の鉄源の大部分がスクラップであり、粗鋼生産中に占める電気炉製鋼の割合は約1/3であり、それ以外に鋳物および、少量ではあるが製鉄工程や転炉で使われているものもある。鉄のリサイクルは後述する希釈タイプで行われるため、スクラップの質が問題となっている。表2に、鉄スクラップの構成の変化⁴⁾を示すように、鉄の蓄積量が年々増大していることを反映して、一旦市場に出て消費された後の老廃スクラップの比率が増してきている。老廃スクラップには様々なものが混じっているため組成の管理が難しく、加工性などの材料性能を劣化させる不純物をいかに無害化するかが問題となっている⁵⁾。同様の問題は、材料の高度化にも付随して起こっている。材料に機能付加をするものとして表面処理鋼板やクラッド材などが増加しているが、そこに用いられるSn, Niなどの成分が精製工程で除去されずトランプエレメントと呼ばれ材質に影響を与えている。リサイクル率をより向上させるには、リサイクルプロセスの改善のみならず材料設計や製品設計の立場からもこれらの問題に取り組む必要がある。

Alの場合は、日本には製錬工場は一つしかなく、輸入新地金とともに二次地金、輸入二次地金がいわれている。しかし、鉄とは異なり新地金と二次地金では使用ルートが若干異なっており、展延性などの加工性を要求される分野では新地金の比率が高く、リサイクル材料は鋳物やダイキャストに用いられる場合が多い。これは、Al合金が添加元素の組み合わせで幅広い特性を持ちうることに起因しており、この元素の組

*科学技術庁金属材料技術研究所 第5研究チームリーダー
〒305 茨城県つくば市千現 1-2-1

表1 各種金属元素のリサイクル率

	生産量 t/y	耐用 年数	リサイ クル率	主要リサイクル源	主 要 用 途	備 考
Fe	982.M	67	37.6	建設老廃物, 自動車加工屑	建築, 自動車	a, b, c)
Mn	22.1M	37	6.5	鉄鋼スラグ	鉄合金, 乾電池	a, e)
Al	13.0M	192	55.2	加工屑	圧延品	a, d)
Cr	11.7M	116	27	特殊鋼	特殊鋼, 耐火物	a, e)
Cu	9.0M	39	46.5	電線屑, 伸銅屑, 鋳物屑	電線, 伸銅品	a, d)
Zn	7.3M	20	13.1	加工屑, ドロス	めっき, 伸銅	a, d)
Ti	6.5M	27	50	Ti合金屑	酸化チタン, Ti合金	a, e)
Ba	5.4M	80	s	苛性ソーダ脱硫剤	ブラウン管, 塗料	e, d)
Pb	3.3M	21	31.8	蓄電池	蓄電池, 無機薬品	a, d)
B	2.9M	110	s	ガラス屑	FRP, 断熱材	a, e)
Zr	993.K	36	33	使用済耐火レンガ	耐火レンガ, 耐火物	a, e)
Ni	872.K	56	81	ステンレス加工, 老廃	ステンレス, めっき	a, e)
Sr	235.K	29	0		ブラウン管, 磁性体	a, e)
Sn	211.K	20	8.3	はんだ	ハンダ, ブキリ, 塩ビ安定剤	a) d)
Mo	110.K	50	25	特殊鋼自家発生, 触媒	特殊鋼, 触媒	a, e)
Sb	52.6K	80	25	Sb合金, 蓄電池	樹脂難燃助剤	a, e)
Co	43.4K	76	23	磁石, 触媒	磁石, 工具, 磁気テープ	a, e)
W	43.3K	59	19	使用済み工具, 触媒	工具, 触媒	a, e)
V	33.2K	129	24	スラグ, Ti合金加工屑	特殊鋼	a, e)
Nb	13.7K	258	0.6	スラグ	特殊鋼, 光学レンズ	a, e)
Li	4.9K	490	s	使用済触媒, 電池箔屑	陶磁器, フラックス	e, d)
Bi	2.8K	32	s	触媒	低融点合金	a, e)
Se	1.8K	44	38	感光体スクラップ	複写機, 着色剤	a, e)
Ta	376.	58	32	ヒータ, 電子部品不良品, 工具	コンデンサ	a, e)
Pt	270.	208	12.1	使用済触媒, 電子部品加工屑	触媒, 電子部品	e, d)
Ge	85		29	使用済触媒, 半導体屑	触媒, 医療用有機Ge, 光ファイバ	e, d)
In	65	25	5.3	ITOターゲット残, はんだ, ウェーハ屑	ITO透明電極, ブラウン管	e, d)
Te	59.8	244	5.6	使用済感光体	快削鋼	e, d)
Ga	46	2391	79	半導体加工屑	半導体	e, d)
Hf	36		s	超合金自家発生屑	原子炉制御体	e)
Re	33.6	82	49	使用済触媒	触媒, フィラメント	a, e)
Tl	13		0		ガラス添加	e, d)
Be	7.1	54	26	ベリリウム銅屑	ベリリウム銅	a, e)
Bi	2.8	32	s			
Cs	NA		0	—	触媒	e)
Pd			9.9	使用済触媒, 電子部品加工屑	電子部品, 歯科材料	e)
Rb			0		光学ガラス	e)

a) 「資源経済学のすすめ」¹⁰⁾b) 「鉄鋼統計年報1993」²⁾より, 鉄屑消費/粗鋼供給c) 「日本鉄源協会, 鉄鋼界 H3-3 (1991)」⁴⁾よりd) 「資源統計年報1991」³⁾より, (再生+故屑-再生用屑)/(粗金属+再生+故屑-再生用屑-製錬用屑)e) 「レアメタル31」¹⁾よりf) 「レアメタル事典」⁸⁾より

表2 鉄屑供給の変化(千t)

	1980	1984	1989	1995(予測)
鉄屑供給	41,627	43,433	46,907	
自家発生屑	14,990	12,194	12,781	
加工屑	7,427	6,516	8,430	8,360
老廃屑	16,585	21,860	24,713	30,070
鉄鋼蓄積量	656,631	774,564	907,730	

表3 アルミニウム飲料缶の成分(%)

	Si	Fe	Mn	Mg	Ti
3004規格	0.30>	0.35-0.55	0.90-1.25	0.85-1.30	0.05>
3004原料	0.25	0.46	0.84	1.18	0.03
5182原料	0.09	0.24	0.36	4.63	0.01
UBC溶解	0.24	0.43	0.89	1.35	0.02

UBC: 使用済みアルミ缶

み合わせが時には合い矛盾する役割を果たすためタイプの異なる合金を安易に混合できないのである。たとえばアルミ飲料容器缶の缶胴体3004材はAl-Mn-Mg系で強度、加工度が良好、缶蓋材の5182Al-Mg系でタブの切り欠き性が良好となっており、その組成⁹⁾を表3に示すように、Mgの量が3倍以上異なり、両者が缶のまま溶け合ったのではいずれにも使い物にならなくなってしまう。一方で鋳物の場合は比較的組成許容度が大きいカスケード利用が可能となっている。なお、このアルミ缶の場合には、幸いにも、Mgをうまく除去することでアルミ缶全体を缶胴体材として再利用するCan to Canを行なっているところ⁶⁾もある。

Cuは電線など材質的にも、使用から廃棄に至る過程の管理の面からも安定したスクラップ源がある。また、色彩的に他の金属と異なるため市中屑からも分別しやすいこともリサイクル率を大きくしている。現在ではリサイクル率は新地金の価格の影響が大きいとされているが、長期的な側面からは、電子部品等に用いられて市中に広く出まわっている小パーツ中の銅の回収が問題として大きくなっていくものと思われる。

Pbの場合バッテリーのリサイクルはかつては再生率90%を越える優等生であったが、現在ではその再生率は年々減少傾向にある。これは、鉛の新地金価格の

影響も無視できないが、表4に示す⁷⁾ように、メンテナンスフリーのPb-Ca系蓄電池のシェアの増大によるところが大きい。在来型の鉛蓄電池はPb-Sbであり、再溶解でリサイクルできていたが、Pb-Ca系ではリサイクルに電解工程が必要であり、従来の二次鉛設備では処理できず一次製錬工程を持っている会社で山送り対応せざるをえない等の問題が生じている。

2.2 レアメタルのリサイクル

レアメタルの場合は、80%近いリサイクル率を示すものから殆どリサイクルされていないものまで千差万別である。中でもリサイクルされているものには、ステンレス鋼中のNiなど特殊鋼の添加元素として用いられ鉄のリサイクルの成分として活用されているもの、超合金やチタン合金など特殊金属の自家発生屑や加工屑、使用済み触媒から回収されるもの、超硬合金など使用済み工具から回収されるもの等がある。またGeやGa, Inなどの半導体材料は製品の分留りが悪く多くの部分が自家発生屑として循環使用されている。

特殊鋼の添加元素ではNiが高いリサイクル率になっている。これはニッケルの製錬、特に鉄鋼原料用のフェロニッケルの製錬が、鉍石の予備処理に適切な方法が無い場合金属の数十倍の多量の脈石を伴って高温溶融させねばならないというエネルギー浪費型の技術であるため、コストなども含めてリサイクルメリットが大きいためである。Crも同様に鉄鋼屑として鉄と共にリサイクルされておりMo, Wなども可能な限り添加元素は特殊鋼の成分としてリサイクルされる努力がなされている。一方で、同じ特殊鋼に使用される元素でも、Mn, Nb, Vなどは電気炉などの二次製錬工程で酸化されやすく、これらはむしろスラグから酸化物として回収されている。

鉄合金ではないが同様に材料の加工屑から回収されているものとしては、ベリリウム銅からのBe、ヒータ材からのTa、合金屑からのTiやHfなどがある。またGa, Ge, Inのような場合も加工屑の特殊な例と考えられよう。

使用済みの製品からの回収が進んでいるのは、触媒

表4 Pb蓄電池再生率の推移

	1988	1989	1990	1991	1992	1993
再生率(%)	92.6	92.9	85.7	78.9	75.6	63.0
使用済蓄電池発生量(1,000t)	104.4	104.6	113.1	115.2	111.5	116.6
新鉛価格(千円)	118.2	142.2	146.7	106.8	99.1	78.6
Pb-Ca系シェア	45.1	49.3	59.6	72.8	84.6	

として用いられたPt, Pd, Re, W, Mo等と工具としてのW, Taである。触媒は高価な金属が用いられているとともに、かって企業のノウハウをもらさないために必死に回収されたという経緯もあり高いリサイクル率となっている。超硬などの工具は資源に乏しい重金属類が多量に使われており、また、使用者側で管理しやすいという側面もありリサイクルが進んでいる。このほかにもSeは主としてコピー等の感光体として使用されており廃棄物処理の意味で使用後のコピー機器から回収されている。Teも、多くの快削鋼に使われている部分は回収されていないが、感光体に使われているものはリサイクルされている。

用途の少ないCs, Tlのように金属元素ではリサイクルのルートも確立されておらず、殆どリサイクルが行われていないことは致し方ない。一方でBaやSrのように比較的多量に使われていながらほとんどリサイクルされていない金属元素もある。これらの主要な用途はブラウン管の蛍光体や塗料であり回収ルートが確保されていないことに大きな問題がある。今後いわゆるハイテク機器の普及などで同様の問題が大きくなるであろう。また、樹脂難燃材のSb, 塩ビ安定剤のSnなどは全体的な使用量が多いにも関わらずほとんどリサイクルされていない。これらは単に資源の回収という問題だけでなく、プラスチック類のサーマルリサイクル時の発生物としても問題となるであろう。

3. 金属のリサイクルの考え方

リサイクルという表現は幅の広いものであり、さまざまな局面で異なった使い方がなされている。ある見方からは金属はリサイクルの優等生であり、別の見方

- | | |
|---|---|
| 1. リサイクルの目的
A 資源の節約
B 廃棄物の低減
C 環境負荷の低減 | 2. リサイクルの形態
A マテリアルリサイクル
B ケミカルリサイクル |
| 3. リサイクルのタイプ
A 抽出タイプ
B Alloy to Alloyタイプ
C 希釈タイプ | 4. リサイクルの種別
A 再生
B 二次原料
C カスケード
D 山送り |
| 5. リサイクル源の相違
A 自家発生屑
B 加工屑
C 老廃屑 | 6. リサイクルのネック
A 回収システム
B 分離技術
C 材料・製品設計 |

図-1 リサイクルの分類の視点

からは問題児となる。そこで、ここでは、いくつかの論点を整理し、その中で金属のリサイクルを位置づけてみる。図-1に示したのは、代表的なリサイクルの範疇分けである。

リサイクルの目的は、その主要な側面として、資源の節約、廃棄物の低減、エネルギー消費を含む環境負荷の低減の要素がある。資源として乏しいレアメタルのリサイクルはもっぱら資源の節約を主眼にリサイクルが行われているが、二次アルミニウムの使用等は精錬のエネルギーを節約する環境負荷低減指向型である。廃棄物の低減は主としてプラスチック類のリサイクルで意図されるが、金属の場合にもSeやTeなどの感光体スクラップからの回収、Znのスラッジや電気炉ダスト等からの回収などもこの範疇に入り、有害産業廃棄物の処理等との関連で今後増大していくものと考え

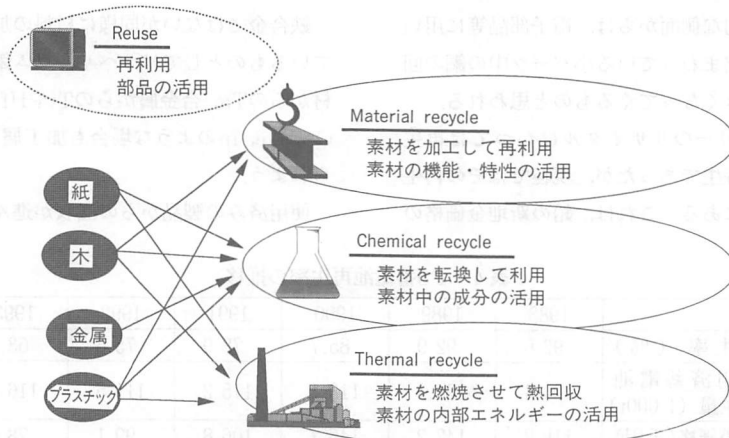


図-2 リサイクルの形態

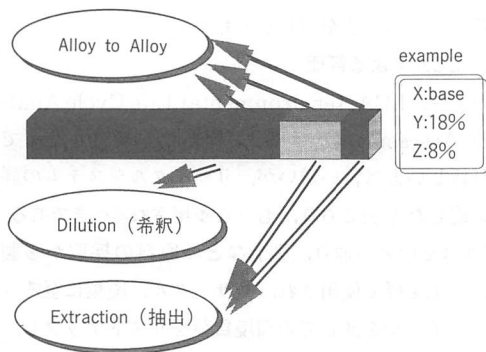


図-3 リサイクルの対象

られる。

リサイクルの形態には、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルがあることはよく知られている。しかしこれらは、情緒的に使われている場合が多く誤解のもとになっている。図-2ではこれらを素材のどの部分に注目するかで分類してみた。サーマルリサイクルは従来道理として、素材の獲得した特性を生かすか否かがマテリアルとケミカルの境界と考えられる。金属のリサイクルの多くは、再溶解という形で加工工程で獲得した特性をキャンセルして原材料成分の活用を目指しているため、一般に認識されているようなマテリアルリサイクルではなく、むしろケミカルリサイクルである。これは、マテリアルリサイクルができないから低次のものとしてケミカルリサイクルを行っているとは捕らえるのではなく、リサイクルの原材料の特性にとらわれない多様な利用方法を可能としている積極面としてとらえるべきであろう。

ケミカルリサイクルとして成分の利用を意図すると、回収された素材中のどの成分を主たる対象とするかで金属リサイクルは区別される。図-3に、ある合金の例を概念的に記したが、18-8組成の添加物を持つこの合金の場合、基成分も添加成分も含むすべての成分を利用しようとするのがAlloy to Alloyタイプである。一方で、基成分のみに注目し、分離不能な添加成分は害にならない濃度までバージン材等で薄めて使用する希釈タイプと添加成分としての有価元素の回収を行なう抽出タイプがある。鉄やアルミニウムなどベースメタルのリサイクルの多くは、希釈タイプであり、バージンメタルを含むさまざまなスクラップが厳密な成分管理のもと混在して使用されている。一方で有価金属の回収と言われるようにレアメタルは抽出タイプが多く、主に価格との関連で左右されている。すべての

成分を活用するという点ではAlloy to Alloyが理想的であるが、再溶解時の成分移動などの技術的問題もあり容易ではない。強いてあげるならば、市場規模では電線、Pb蓄電池などほぼ単一成分に近く組成が決まっているもの、工場内部で多量に需要のある自家発生屑の再溶解などがある。先述したアルミ缶のCan to Canも蓋材のMgをドロス中に除去して胴体材としてのみのリサイクルでありAlloy to Alloyには到っていない。

最も簡単な金属のリサイクルの方法は再溶解である。銅電線や鉛蓄電池などはこの方法で非金属成分の混在物を除去して再生される。鉄やアルミ合金の場合はほとんどが希釈タイプのケミカルリサイクルであり、スクラップは二次原料として電気炉や溶解炉に投入され二次精錬や成分調整されて素材化される。その際、二次精錬の能力を超える多量の添加元素を含むものや成分調整の困難なものは、バージンメタルとは異なった用途に転用される。アルミニウムの場合、単純化すれば、精錬アルミ(展延材)→展伸材用二次アルミ→鋳物・ダイカスト用→脱酸材用、との経路を経ていくこととなる。回収物の品位が低く二次原料として使用できない場合にも最終的な手段として「山送り」と呼ばれる方法がある。これは、銅など低品位の鉱石からの製錬技術が進んでいる分野で低品位のスクラップでも鉱石より成分的にメリットのある場合に用いられる。この「山送り」でも回収できないケースが増えているのが近年の特徴である。本来鉱石は、鉄酸化物鉱床系と銅鉛亜鉛硫化物鉱床系に大別でき、現在の製錬技術はそれぞれの鉱床系鉱石から目的以外の元素を除去していく技術として成立してきている。ところが人工の鉱物であるスクラップはこの範囲を超えた多様な成分の組み合わせでできておりFe中のCuの分離のように従来の鉱石からの製錬の延長では対応困難な問題を生み出している。今後このような人工物対応の製錬技術が開発されることが期待される。

リサイクル源としては、素材製造工場内部で発生した自家発生屑、製品加工工程での切り屑などの加工屑、および使用後に回収された老廃屑がある。後の二者はまとめて市中屑とも呼ばれている。表2でも見たように、鉄等ではかつては自家発生屑や加工屑がリサイクル源の主力であったが、製品歩留まりの向上等技術進歩につれてこの分野からの屑発生は減少していく傾向にあり、逆に老廃屑は生産量の増大に伴う蓄積量の増大を反映して着実に増加している。レアメタルに目を

転じると、ベースメタルほど歩留まりの改善は進んでおらず、Gaの場合には、1.5tの素子を製造するのに33tもの自家発生スクラップが循環している¹⁾。また、高融点金属や超合金の加工屑、Inの使用済みターゲット、Beの電子部品パンチング屑など自家発生や加工屑に依存しているものが多く、使用済み回収の老廃屑を対象としているのは高価な金属を使用した触媒関係に集中している。

以上の各切り口からAl合金のリサイクルを性格づけると、C-B-C-B-B、Pb蓄電池はA-A-B-A-Cと性格付けられリサイクルといっても性格の異なるものになっていることがわかる。さらに、どのような要件がリサイクルのネックになっているかもリサイクルの性格付けをする上で重要な視点であり、複合した要因を対策を立てる視点から大別すると、回収システムの問題、分離技術の問題、材料・製品設計の問題の要素に分けられる。それぞれのリサイクルの性格に応じてこれらのそれぞれの分野で対策が並行的に進められていくべきであろう。

4. リサイクル性をいかに評価するか

リサイクルを促進していくために、回収システム、分離技術、材料・製品設計を効率よく改善していくにはその方向性を明らかにしていく評価技術が必要である。どんなに歩留まりのよい分離技術を開発しても、それがエネルギー浪費型であったり環境汚染型であったりするなど原鉱石からの製錬よりトータルの環境負荷が増加するのでは意味が無い。また、材料・製品設計では素材ができた段階でリサイクル可能性がわかるようなパラメータ化の方法が必要である。後者の中で製品の設計ではエントロピーを用いた指標化などの提案⁹⁾もあるが、ここでは金属のリサイクルを対象とし

た新しい評価方法を紹介しておく。

4.1 LCAによる評価

いまや、LCA (environmental Life Cycle Analysis/Assessment) はISOの標準化の検討も進んでおり新しいとは言い難いが、リサイクルシステムの評価に適した方法であり、もっと多用されるべきである。LCAはその名の通り、製品などの原料の採取から製造、加工を経て使用され、リサイクル、廃棄に至るライフサイクルを通じての環境負荷をリストアップし、その環境への影響を評価するものである。LCA自体の詳しい紹介は他^{10,11)}に譲るとして、図-4にアルミニウム缶のリサイクルに関するスウェーデンのCITの解析例¹²⁾を示す。図中の黒い棒はアルミニウムをリサイクルしないで全体を焼却処理した場合、灰色の棒は75%をリサイクルして缶材として再利用した場合である。ほとんどの環境負荷項目がリサイクルにより減少しており、この変化がリサイクルの効果の大きさであり、有効なリサイクルシステムを知る上で有効である。中には、HClのようにリサイクルで増加するものもある。この場合はアルミ缶の塗装除去のためのプロセスで発生した負荷であり、LCAを用いればそのような今後のリサイクルプロセス改善のポイントも知ることができる。

4.2 汎用化希釈度による評価

リサイクルのプロセスの評価はLCAで可能であるが、リサイクルされる材料自体のリサイクル適合性の評価・指標化が必要である。ここでは、ひとつの例として、量的に金属リサイクルの多くの部分を占める、鉄合金、アルミ合金など希釈タイプのリサイクルに関しての一つの指標化の方法^{13,14)}を紹介しておく。

これは汎用化希釈度と呼ばれるもので、ある合金(鉄、アルミ)を再溶解してリサイクルする際に、そ

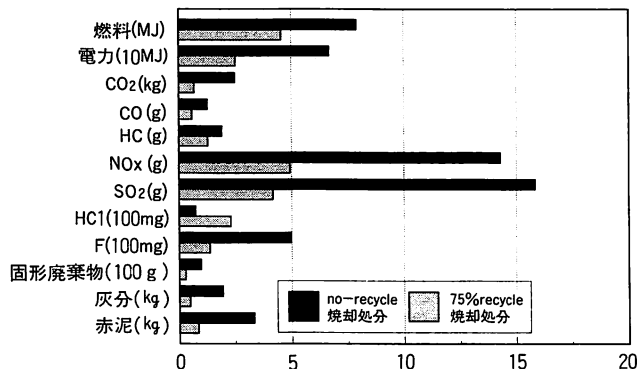


図-4 アルミ缶リサイクルのLCA評価

表5 鉄の汎用上限濃度と電炉溶解歩留まりの例

成分	UC ^{Fe_j}	R ^{Fe_j}	成分	UC ^{Fe_j}	R ^{Fe_j}
C	0.03	0.01	Nb	0.45	1
Si	0.05	0.01	Ta	0.45	1
Mn	0.4	0.1	Co	0.2	1
P	0.025	0.1	Ti	0.4	0.01
S	0.015	0.1	Al	0.3	0.01
Ni	0.2	1	Cu	0.02	1
Cr	0.2	0.5	N	0.05	1
Mo	0.25	1	Se	0.15	0.1
W	0.1	1	B	0.005	0.01
V	0.05	1	Pb	0.35	1

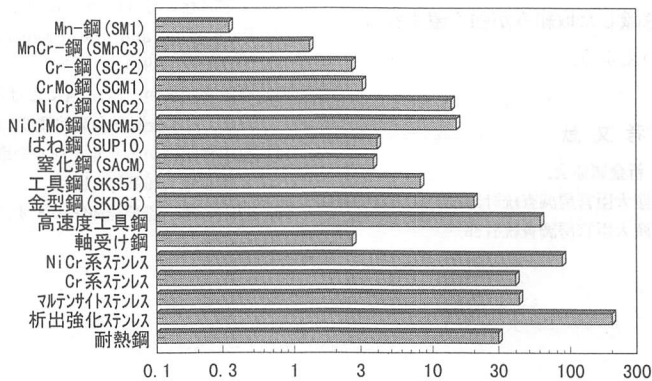


図-5 鉄合金の汎用化希釈度の例

の合金グループの汎用地金として扱えるまで合金中に添加されていた成分を薄めるのに要するバージン (鉄、アルミ) の量で表される。たとえばFe-9%Cr-1%Moの合金をリサイクルで鉄源として用いたいとするとCr, Moが過剰になる。この場合CrやMoを取るとは困難であるから成分調整で他の鉄源と共に溶解してCr, Moを許容範囲以下まで薄めることとなる。これを他の成分を含まないバージン鉄で薄めるとして、そのために必要な鉄の量である。

この時、各合金成分の許容範囲の見積もりが問題となるが、JIS規格では各種合金の成分の範囲が定められており、それぞれのJIS合金に対する当該成分jの最大許容量を全JIS合金に対してリストアップし、その許容量の全JIS合金の中での最小値を当該成分の汎用上限濃度UC^k (kは鉄orアルミなど合金グループの違い) と定義して用いる。これに、再溶解プロセスにおけるj成分の分留りをR^kとして与えておくと、j成分をX_jを含む合金のkグループとしての汎用化希釈度Gは

$$GG = Max \left[\frac{R_j^k \times X_j}{UC_j^k} \right]$$

で表される。なお、このときj成分の量は合金成分に限定することなく、メッキやクラッド材の量を%に換算して用いることもできる。

表5に代表的なUC^{Fe_j}とR^{Fe_j}の例を示し、図-5にそれに基づいて計算した鉄合金としての汎用化希釈度の例を示した。図の横軸は対数目盛りになっていることに注目していただきたい、合金の組成によっては数十倍から数百倍も希釈しないと汎用の鉄源として使用できないものもあることがわかる。ただし、現実にはステンレス系は別個に回収されているため、単純な鉄源ではなくステンレス源として使用する合金グループは別個に計算するようにするのが妥当であろう。いずれにしても、このような形で組成設計の段階である程度のリサイクル性が予測されるようになると、リサイクルの金属の素材設計レベルからの取り組みが進んでいくものと期待される。

5. おわりに

金属のリサイクルを概観し、若干の視点の整理を行ってみた。現在の金属のリサイクルは高度集約、高付加価値型の技術展開に対応して新たな課題を抱えているといつてよい。具体的には、表面処理鋼板やメンテナンスフリー蓄電池に見られるような高機能化の代償としてリサイクル困難な材料が増大していることであり、他方で、電子機器に見られるような軽薄短小化されたレアメタルがリサイクルルートの管理の手の及ばない生活空間の隅々まで薄く広く拡散していつていることである。これらの問題の解決を図るには単に回収システムや分離技術の開発のみならず素材や製品の製造の段階からリサイクルを意識した取組みが強く望まれる段階にはいつているといえよう。

参考文献

- 1) レアメタル31 (1989), 新金属協会.
- 2) 鉄鋼統計年報1993, 通産大臣官房調査統計部.
- 3) 資源統計年報1991, 通産大臣官房調査統計部.
- 4) 日本鉄源協会; わが国鉄くずの供給見通しについて, 鉄鋼界H3-3 (1991), 5-8.
- 5) 持続可能リサイクル設計の現状と展望 (1995), 未踏科学技術協会エコマテリアル研究会.
- 6) 越後谷卓巳; 三菱マテリアルにおけるアルミ缶のCan to Can リサイクル, 資源素材関係学会合同秋期大会企画発表資料R3 (1995), 9-12.
- 7) 平野政雄; 鉛のリサイクル, エコマテリアル研究会第12回ワークショップ資料 (1995), 25-39.
- 8) 堂山昌男編; レアメタル事典, 日本工業技術振興協会 (1991).
- 9) 永田勝也; 製品設計とリサイクル, 精密工学会誌50巻1号 (1992), 18-23.
- 10) LCAのすべて, 未踏科学技術協会エコマテリアル研究会 (1995).
- 11) 原田幸明; LCA (ライフサイクルアセスメント), 安全工学34巻2号 (1995), 78-85.
- 12) Packaging and the Environment, Chalmers Industriteknik (1991).
- 13) 原田幸明ほか; MLCAにおける金属材料のリサイクル性評価, 日本金属学会講演概要1995春期大会, 42.
- 14) 原田幸明ほか; リサイクルの取り扱い, 材料とプロセス 8巻4号 (1995), 1143.
- 15) 西山 孝; 資源経済学のすすめ (1993), 中公新書.

後援行事ごあんない

「国際会議NURETH-8」について

〔主催〕 日本原子力学会, 米国原子力学会熱流動部門, 米国原子力学会日本支部

〔共催 (予定)〕 原子力発電技術機構, 日本原子力研究所, 電気事業連合会 他

〔後援 (予定)〕 欧州原子力学会, 台湾原子力学会 他

〔会期〕 1997年9月30日～10月4日

〔場所〕 京都国際会館

〔参加予定数〕 約400人 (内, 海外より150人)