

資源リサイクルの現状と問題点 — 亜鉛のリサイクルを中心に —

高平 二朗¹⁾

1. まえがき

資源のリサイクルがここ2～3年急速に関心が高まっているが、それはここ数年における資源エネルギー消費の激増、それに伴う廃棄物の増加とその埋立地がもうかなり限界にきていることで不法投棄等の社会問題化していること、地球全体の環境への関心の高まり等がその根底にあると思われる。しかし資源リサイクルは昔から行われており、その意味では古くて新しい課題でもある。

ここでは資源のリサイクルの現状の一つの具体例として、非鉄金属の一つである亜鉛のリサイクルをとりあげ、再利用の現状と今後の課題、特に製鋼ダストからの亜鉛の回収の現況を主として述べ、あわせて資源リサイクルにおける問題点についても述べてみたい。

2. 亜鉛のリサイクル

2.1 亜鉛をとりまく日本の現状

1990年の亜鉛地金の国内消費は建設、自動車、家電の需要好調に支えられて、786千t/年に達している。こ

こ3年及び10年前の主な国内消費は第1表に示す通りであるが、90年には亜鉛メッキ鋼板向けが370千t/年台にのり、その他メッキ向け120千t/年も含めると約62%がメッキ向けとなっており、10年前に比べるとその他メッキ向けは変らないものの、亜鉛鋼板メッキ向けが20%以上増加していることがわかる。この間亜鉛メッキ鋼板の生産量は約6百万t/年から12百万t/年と倍増している。この他の亜鉛の主な需要は90年で伸銅品103千t、ダイカスト108千t、無機薬品36千t、その他49千tとなっている。

一方、国内の地金生産能力は現在約850千t/年で実効能力700千t/年となっており、最近の亜鉛地金の需要増には対応できず輸入地金が増加している(1990年で約140千t/年)。また、国内鉱出しによる地金の自給率は年々減少し1988年で約20%である。このように今後国内鉱山の生産量の増加は期待出来ず、一方メッキ向けを中心に亜鉛の需要が更に伸びる予想の中では、少資源国日本にとって亜鉛のリサイクルは重要な課題である。

2.2 亜鉛のリサイクルの現状

日本国内での最近の亜鉛のリサイクルの実態について

第1表 10年前及び最近の亜鉛国内需要(千t)

用途	年 度				
	1980	1981	1988	1989	1990
亜鉛国内需要	735	688	760	776	786
亜鉛メッキ鋼板	302	272	368	374	370
その他メッキ向け	122	114	107	120	120
伸銅品	101	94	102	105	103
ダイカスト	118	121	101	96	108
無機薬品	22	24	38	36	36
その他	68	63	44	45	49
亜鉛メッキ鋼板向け比率(%)	43.5	39.5	48.4	48.2	47.0

(資料) 通商産業省調査統計部「資源統計年報」

1) 日曹金属化学協会津工場技術研究所：
〒969-33 福島県耶麻郡磐梯町大字磐梯1372

キーワード：リサイクル, 亜鉛, 鉛, 製鋼ダスト, 廃棄物

第2表 亜鉛滓類

名称及び区分	発生個所	平均品位
1. 溶融めっきドロスト トップドロスト ボトムドロスト 一般めっきドロスト	連続製鋼めっき 一般めっき	Zn 92~95% Zn 85~95%
2. 亜鉛滓類 メッキサンカ ダイカストサンカ サルミアック 含銅亜鉛滓 集塵ダスト 化学工場スラッジ	一般めっき ダイカスト 切板めっき 伸銅所 製鋼所	Zn 70%, Fe 5% Zn 45~70% Zn 30~40% Zn 60%, Cu 10% Zn 20~30% Zn 広い範囲
3. 亜鉛スクラップ 亜鉛板くず 防食亜鉛くず 陽極板くず メタリコンくず	印刷用, 建築他 電気亜鉛めっき 亜鉛溶射	Zn 99%
4. 丹入スクラップ 製品解体くず 金型くず ダライ粉	ダイカスト	Zn 95%, Al 4%

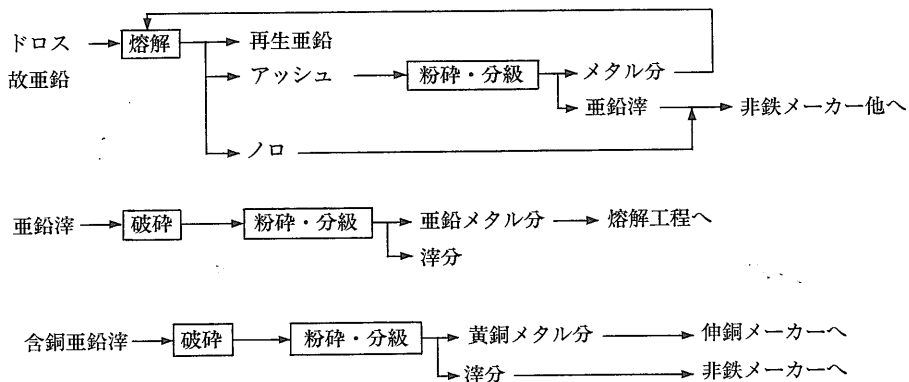
のまとまった資料は少なく、総括として最近資源・素材学会がまとめた資源リサイクリング特集号(鳥ほか, 1991)に示されているが、これによれば1988年の亜鉛の推定回収量は358千t/年で地金消費量に対する比率は約46%となっている。この数字は他の非鉄、例えば銅の74%、鉛の57%と比べると低い数字である。先に述べたように亜鉛の主用途は鉄鋼の防錆メッキであり、その使用過程で鋼本体の保護のため亜鉛自身が酸化溶出することが回収率を低くしていると考えられる。

旧来から行われている亜鉛回収の特徴は、金属亜鉛として回収されている部分と、多くは亜鉛化合物、亜鉛粉

及び銅合金の形で回収されている。第2表に亜鉛滓類の名称、発生個所等を示す(加賀, 1974)。これらの滓類は再生亜鉛メーカーに持ち込まれ、メタルとして回収出来るものは再生亜鉛に、メタル分を除いた滓類は非鉄製錬メーカー、亜鉛誘導体メーカーに送られ、地金または亜鉛化合物として回収される。伸銅系のもは、メタルはその場でリサイクルされ、含銅亜鉛滓は再生亜鉛メーカーに持ち込まれ、メタル分と滓に分離され、それぞれ伸銅メーカー、非鉄製錬メーカーに送られ回収される。回収工程フローシートの例を第1図に示した。

亜鉛のリサイクルを考える場合、亜鉛製品のライフサイクルが将来回収可能な亜鉛の供給量とそれから回収される亜鉛量の指標の役目を果たすと考えられる。若干データが古いのが、亜鉛製品の代表的なライフサイクル、製品の収集率、亜鉛の回収率を第3表(日本鉛亜鉛需要研究会, 1981)に示した。但しこのなかには亜鉛の需要の最も多いメッキ向けが入っておらず、亜鉛メッキ鋼板が自動車、家電、建造物に大量に使用されている現在では、これらがスクラップになり鋼材として回収される時に発生する製鋼ダストが二次亜鉛の重要な回収源となってきている。また最近では乾電池の需要が急速に伸び、これに含まれる亜鉛、マンガンの回収が課題となっている。

以下製鋼ダストからの亜鉛、鉛の回収について述べていきたい。



第1図 亜鉛再生工程フローシート。

第3表 亜鉛製品のライフサイクル及び回収率

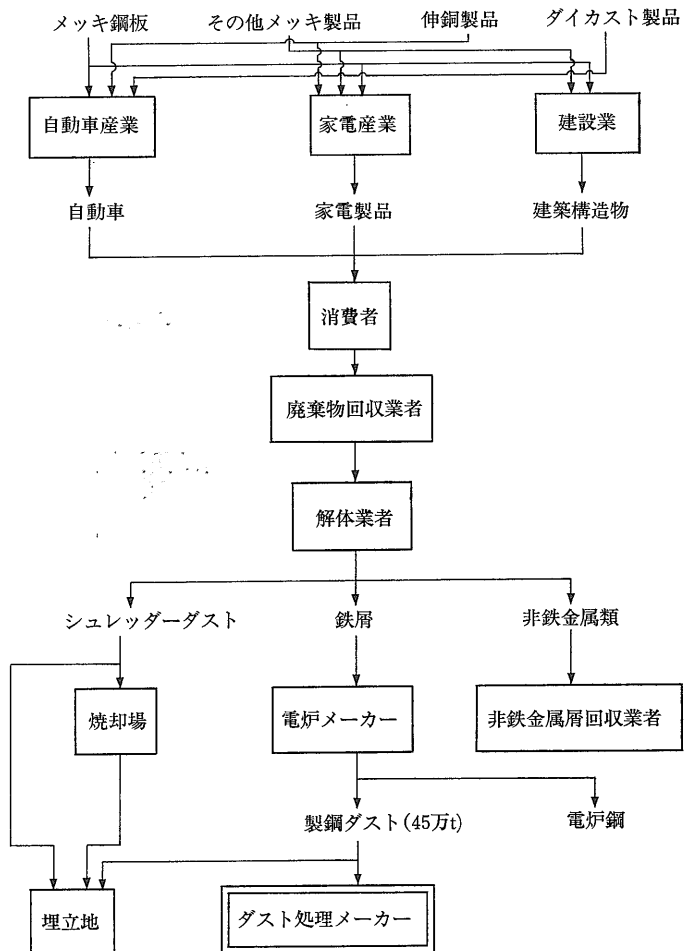
製 品	ライフサイクル (年)	製品収集率	亜鉛回収率
亜鉛板 (建築用)			
屋根板	40	80%	85%
雨水用	30		
ダイカスト製品			
玩具用	7	10~20%	85%
自動車用	10	約50%	
機械用	12	約50%	50%
冷蔵庫及びフリーザ ー用	10~12	10~20%	
金属器具用	20	10~20%	
黄銅製品			
自動車ラジエーター	10	90%	90%
家庭用品	20	10~20%	90%
工業用品	25	約50%	90%

3. 製鋼ダストからの亜鉛、鉛の回収

3.1 概 要

亜鉛の主用途が防錆メッキであり、また亜鉛メッキ鋼板の生産量が急速に増加しているが、製鋼ダストの発生するフローの概略は第2図のようになる。即ち一次製錬地金が最終製品である自動車、家電製品、建築構造物等に加工された後消費され、廃棄される。廃棄スクラップは鉄屑として回収され、更に電気炉により電炉鋼として再生されるが、この工程で製鋼ダストが発生する。今後亜鉛メッキの比率が更に高まり、また電炉鋼の生産量が増加すると予想されるのでシュレッダーダスト及び製鋼ダストの発生量も増加すると予想され、これらからの有価金属の回収は益々重要となる。1988年における製鋼ダストの発生量は約45万tと推定されており、この約1/3は未処理で埋め立てされている(シュレッダーダスト85万tは殆ど埋め立て)。

この製鋼ダストの成分は第4表に示す通りで、亜鉛の一次製錬残渣の亜鉛赤滓との比較で示した。ここでの特徴は、ダスト中には亜鉛、鉛といった有価金属は略同じ品位であるが、塩素、弗素といっ



第2図 製鋼ダスト発生過程。

第4表 製鋼ダストの成分

成 分	製 鋼 ダ ス ト	亜 鉛 赤 滓
Zn	10 ~30%	20 ~25%
Pb	2 ~ 4	2 ~ 4
Fe	25 ~30	25 ~30
CaO	2 ~ 5	2 ~ 5
SiO ₂	2 ~ 5	2 ~ 5
Cl	3 ~ 7	—
F	0.2 ~ 3	—
Cd	0.03~ 0.1	0.1~ 0.3
Na	2 ~ 3	—
K	2 ~ 3	—
S	~ 1	5 ~ 6

たハロゲン元素、及びナトリウム、カリといったアルカリ金属がかなり多量に含まれていることである。回収工程においては亜鉛、鉛の回収率を高くすると同時に、これらのアルカリ、ハロゲン元素を如何に除くかがポイントになる。

これらのダストから直接亜鉛地金を回収することは成分も含めて効率の点で困難であり、ウエルツキルンやMF炉等のダスト処理炉で亜鉛を粗酸化亜鉛(亜鉛品位50~60%)として濃縮分離した後、ISF 炉等で地金として回収している。

現在国内でのダスト処理メーカーは6社であるが、その処理メーカーの処理方法、特徴をまとめたのが第5表である。処理方法の内訳をみると、ウエルツキルン法が3社、電熱蒸留炉法1社、MF炉法1社、その他1社となっている。いずれの方法も亜鉛製錬残渣の処理方法を応用したもので、還元揮発法をベースにしている。同じウエルツキルン法でも各社特徴を發揮しており、またすでに操業を開始してから10数年を経て、第二次石油危機の影響も受け涙ぐましい努力の結果、操業当初に比べエネルギーコスト、省力化、能力アップ等で大幅に進歩し現状に至っている。各メーカーの詳細については資源・素材'89(京都)で発表された文献(参考文献に示す)を参照されたい。ここではウエルツキルン法(曹鉄メタル)~脱鉛焙焼法(日曹金

属化学)について述べる。

3.2 ウエルツキルン法(曹鉄メタル)

曹鉄メタル(株)は、製鋼ダストの無害化と亜鉛、鉛等の有価物の回収を目的に、日曹金属(株)と平電炉普通鋼協議会加盟各社の共同出資により1974年に設立され、日曹金属化学で長年培った亜鉛滓のウエルツ回転炉処理技術を基盤技術として1975年から操業を開始している。

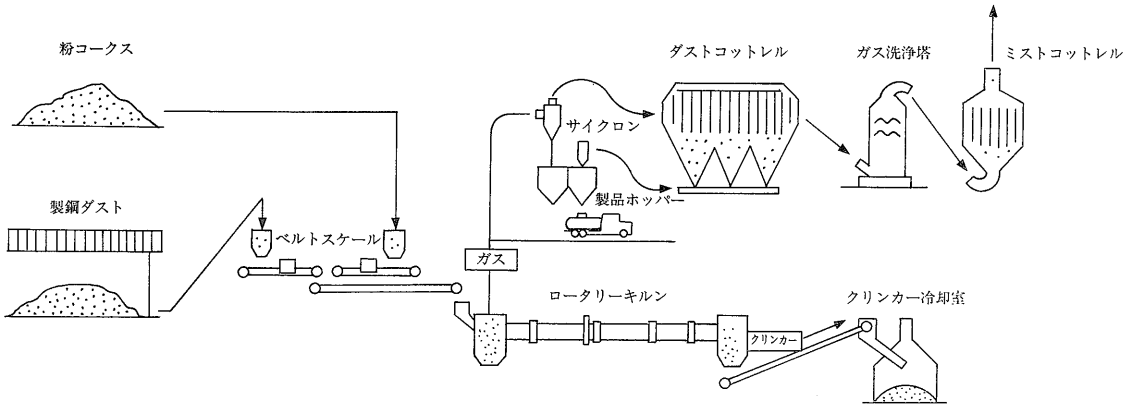
曹鉄メタルでの処理フローシートを第3図に示した。簡単にフローを説明すると、ダストは発生元で粒径4~8mmのペレットに造粒され、工場に搬入される。このペレットと20~30%の還元剤のコークス・ブリーズはベルトスケールにより定量化され、重油バーナーで加熱されたキルンに供給される。キルン内では1100~1200℃で亜鉛、鉛、カドミウム等の成分が還元揮発後、ガス気流中で再び酸化、酸化亜鉛が主成分の粗酸化亜鉛のフェームとして排ガスと共にキルンから排出する。一方、鉄成分は一部金属鉄まで還元され、他の脈石成分や余剰のコークスと共にクリンカーとして排出される。このクリンカーは水冷され、自然酸化後、セメント原料や下層路盤材として売却される。

粗酸化亜鉛を含む排ガスは、ハウジング、クーラーを経てサイクロン、ダストコットレルにより粗酸化亜鉛がガス流より分離回収される。除塵後のガスは洗浄塔でアルカリ水により洗浄され、ミストコットレルでミストが分離され大気に放煙される。

キルン内での反応は荷の中では吸熱反応が、ガス空間では発熱の亜鉛蒸気やCOの酸化燃焼反応が行われる。

第5表 ダスト処理メーカー

メ ー カ ー	処 理 方 式	特 徴
曹 鉄 メ タ ル	ウエルツキルン	・後処理として脱鉛焙焼を実施。(日曹金属化学が担当)
住友金属鉱山	ウエルツキルン	・コーティングカッターの設置 ・後処理としてアルカリ洗浄-乾燥加熱を実施。
姫路鉄鋼リファイン	ウエルツキルン	・省エネ、能力アップのHTR 法を開発。
菱邦リサイクル	電熱蒸留炉法	・製品 ZnO として回収 ・前処理 有 ・鉄回収 実施。
三 池 製 錬	MF炉法	・半シャフト型の溶鉱炉 ・Cu, Ni の回収 ・熱回収 実施。
兼 子 商 事		・詳細不明。



第3図 製鋼ダスト処理フローシート。

亜鉛の収率を高くすること、リング状のベコ付着を避ける適正な操業を行うため、この二つの反応のバランスをとるようコントロールすることが重要である。原料となる製鋼ダスト、及び生成する粗酸化亜鉛、クリンカーの組成を第6表に示した。

このキルンから排出されたクリンカーは熱処理されているため化学的に安定であり、現在はセメント用、下層路盤材として活用されている。

3.3 脱鉛焙焼法（日曹金属化学）

製鋼ダストから回収された粗酸化亜鉛がそのまま使用されることはなく、更に精製工程（主としてハロゲン元素の除去）を経て、現在は ISF 炉で処理されて始めて金属亜鉛として回収される。この精製工程の中で当社はユニークな精製法—脱鉛焙焼法を実施しているので、それについて述べる。

この脱鉛焙焼の特徴は、原料に含まれるハロゲン元素（特に塩素分）を有効利用し、粗酸化亜鉛中の鉛を塩化揮発により亜鉛と分離濃縮すると同時に、ハロゲン元素をも分離出来るところにあり、焼成物の亜鉛品位を75%以上に出来ると同時にハロゲン元素（Cl, F）を容易に 0.1%以下に出来、湿式製錬の原料としても用いることが出来る。

処理フローシートを第4図に示した。簡単にフローを説明すると、原料の粗酸化亜鉛は定量フィーダーを通し

てキルンに供給され重油バーナーで加熱される。これにより原料中のハロゲン化合物は酸化分解し、同時に鉛、カドミウム等は揮発性の塩化物となりガス化する。一方、亜鉛は一部塩素化揮発するが、殆ど高品位の酸化亜鉛として焼成物になる。この焼成物は粉碎され、亜鉛製錬の原料となる。ガス化した鉛、カドミウムは冷却され、ダストチャンバー、バグフィルターで捕集される。また排ガスはアルカル水で洗浄され、大気に放出される。回収された鉛ダストは水でスラリーとし、硫酸を添加し鉛分を硫酸鉛として分離、亜鉛溶液を得る。亜鉛溶液はカドミウム、鉄、マンガンを除いた後亜鉛誘導体の原料となる。キルンは1100～1200℃で操業するが、不純物の分離と炉内壁へのリング状ベコの付着の兼ね合いが難しい。

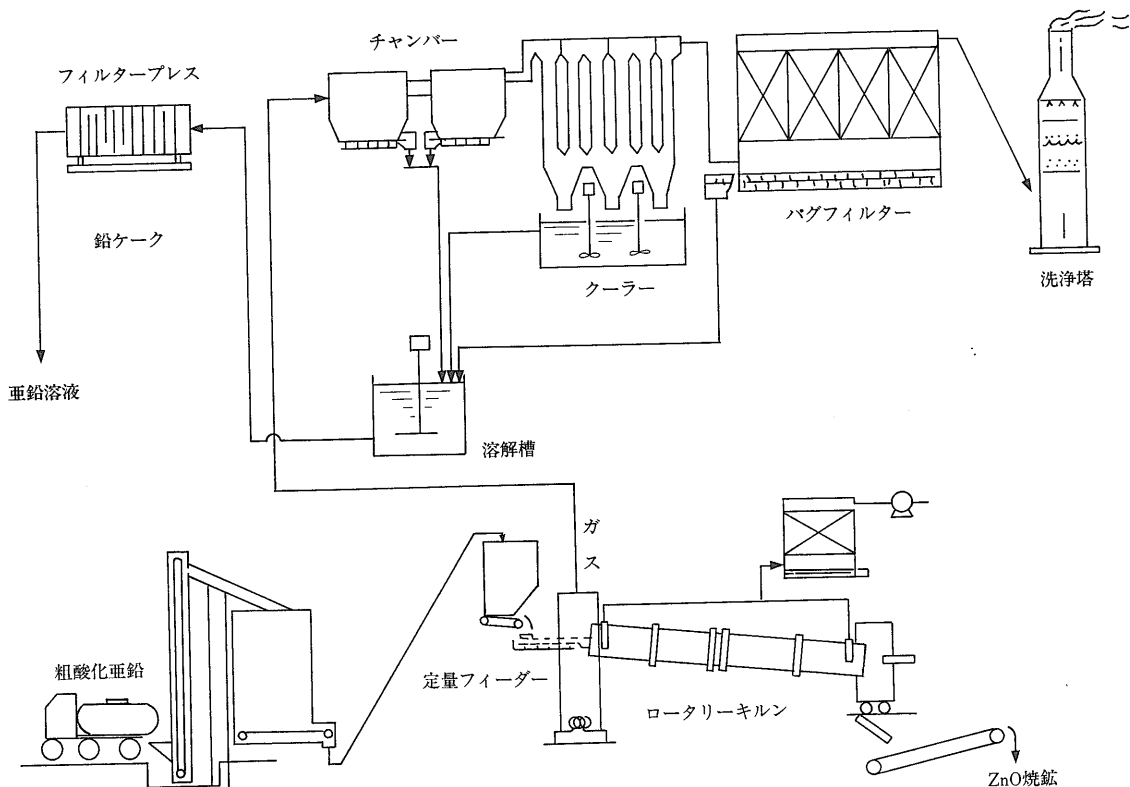
原料、焼成物、鉛ダスト、鉛ケーキ、亜鉛溶液の成分を第7表に、亜鉛溶液から亜鉛誘導体を製造するフローシートを第5図に示した。

3.4 まとめ

以上製鋼ダストからの亜鉛、鉛の回収について述べてきたが、現在曹鉄メタル及び日曹金属化学では、製鋼ダスト約 50,000 t/年から亜鉛（合金）約 10,000 t/年、鉛約 1,000 t/年、炭酸亜鉛約 800 t/年、青化亜鉛 100 t/年を回収、製品化している。また、現在製鋼ダスト全体では、約 300 千 t/年が回収処理されており、亜鉛

第6表 製鋼ダスト、粗酸化亜鉛、クリンカー、分析値（wt%）

	Zn	Pb	Fe	Cl	F
製鋼ダスト	23.5	2.4	25.7	4.3	0.16
粗酸化亜鉛	58.4	5.3	1.5	10.6	0.19
クリンカー	3.0	0.7	43.4	0.9	0.07



第4図 粗酸化亜鉛 精製処理フローシート。

品位20%、回収率90%とすると54千/年が回収されていることになり、10年前の亜鉛メッキ鋼板向け亜鉛約300千tに対してリサイクル率は約18%となる。建築構造物のライフサイクルはもっと長いのでリサイクル率の実態はもっと大きいと考えられる。

今後の課題としては

- (1) 製鋼ダストの未回収分及び今後の発生量の増加に対する対策
- (2) より低品位のダスト(シュレッダーダスト等)からの亜鉛等の回収

があるが、このためには現有の設備能力及び回収率をアップすることは勿論であるが、他のメタルを含めたより効率的な回収方式の構築が必要と考えられる。

4. 資源リサイクルにおける問題点

亜鉛のリサイクルから若干離れるが、長年産業廃棄物処理、資源リサイクルの技術開発に携わってきた者として、資源リサイクルにおける問題点について幾つか述べてみたい。

- (1) 資源となるには大量にあることが必要である。廃棄物に利用価値があっても、まとまらない資源に

なりにくい。このためにはまとめるシステムを如何につくるか(コストをミニマムに)が重要である。

- (2) 価格の変動が問題(特に金属の場合)

亜鉛はここ10年の間に最低と最高で2倍位変動している。折角リサイクル設備を造っても経済的に合わず休止する例もある。絶えずコストダウンの努力が重要である。

- (3) 経済性の原則→安くする方向に動く

例えば製品中の貴金属の使用量は少なく、また代替の卑金属になり製品中のメタルの割合も減り、回収コストが高くつく方向に動き困難さが増す。

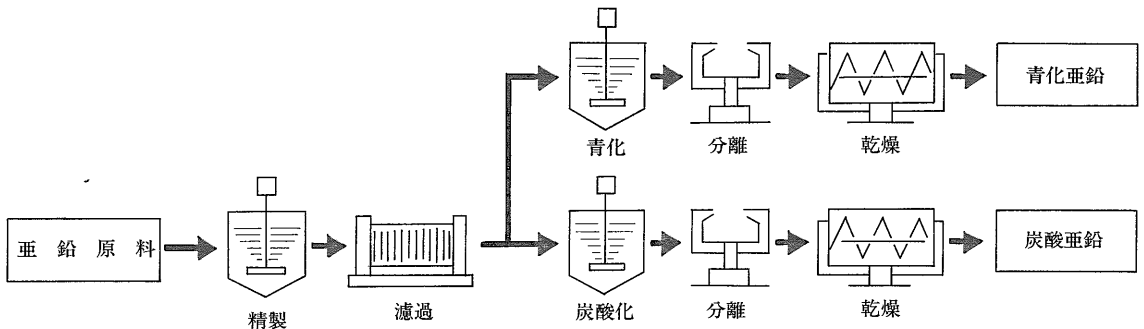
(4) 時代の流れ—複合化、少量多品種化、軽薄短小等量がまとまりにくくなり、また各種の物が混じり合うため回収処理が複雑化する。しかし、最近再資源化しやすい材料を選定しているとの動きもあり注目される。

- (5) 再資源化、処理技術の問題→新たな処理技術の創出が重要

(3), (4)の問題点を解決するためには、新たな処理技術の創出が重要である。しかし処理技術は非常に多様性を持つため、蓄積によるレベルアップが難しい面がある。最近、廃棄物学会等もでき、処理技術の体系化も進むものと思われ、これからの活動に期待したい。

第7表 処理原料，焼鉱，含鉛ダスト，鉛ケーキ，亜鉛溶液分析値

		Zn	Pb	Cd	Cl	F
粗酸化亜鉛	wt%	58.4	5.3	0.07	10.6	0.19
酸化亜鉛鉱	"	75.9	0.02	0.001	0.08	0.01
含鉛ダスト	"	17.3	16.3	0.24	35.2	..5
鉛ケーキ	"	0.9	55.0	0.005	0.8	0.21
亜鉛溶液	g/l	140	0.7	1.7	222	0.66



第5図 亜鉛誘導体 製造フローシート。

(6) リサイクル品を何に求めるか

リサイクルは古くから行われているように、出来るだけ近い所で行うのが基本である。又需要の多い分野にリサイクルの方がしやすい(亜鉛の場合は金属亜鉛)。更にリサイクル品を積極的に使う努力が大切になろう。例えば純度が若干悪くとも機能が満足すれば使うという発想の転換が必要である。

(7) 情報の公開と活用

製品が多様化し、製造工程も分散化しているため、自社内でのリサイクルに限界があり、情報の公開と活用がより必要になっている。最近廃棄物の処理にマニフェストシステムが導入され、また登録制が推進されつつあるのは、有効な手段と思われる。

以上思い付くままに幾つかの問題点を述べたが、世情騒がれているほどにはリサイクルが進まないのも実態である。再生資源利用促進法も制定され、これからが本番であるが、意識の改革と共に地道な努力が重要であると思う。

参考文献

加賀喜之助 (1974) : 日本における再生亜鉛工業の概況。鉛と亜鉛, 61, 9月号, 18~24.

金谷充修, 五十嵐紀男 (1989) : 製鋼ダストからの亜鉛華の回収。資源・素材'89(京都), 「D1 : 乾式亜鉛製錬の現状と将来」, D1-8, 28~30.

日本鉛亜鉛需要研究会 (1981) : 二次鉛および二次亜鉛の最近の動向。鉛と亜鉛, 104, 11月号, 1~15.

西関良夫, 吉田康昭 (1989) : 回転炉による製鋼煙灰処理と回収粗酸化亜鉛の精製。資源・素材'89(京都), 「D1 : 乾式亜鉛製錬の現状と将来」, D1-4, 11~14.

大江幹夫 (1989) : MF炉における鉱滓処理。資源・素材'89(京都), 「D1 : 乾式亜鉛製錬の現状と将来」, D1-7, 25~27.

島 政雄, 川北鎮雄, 森 誠治 (1991) : 総説銅, 鉛, 亜鉛のリサイクルリング。資源・素材学会誌, 107, 85~94.

田島 治, 中谷源治, 有山達郎, 佐々木史郎 (1989) : HTR 法一省エネルギー型還元揮発脱亜鉛法。資源・素材'89(京「D1 : 乾式亜鉛製錬の現状と将来」, D1-6, 21~24.

安川元弘, 竹脇正広, 常山信樹 (1989) : 電炉製鋼ダストからの亜鉛, 鉛回収について。資源・素材'89(京都), 「D1 : 乾式亜鉛製錬の現状と将来」, D1-5, 15~20.

TAKAHIRA Jiro (1992) : Present situation and problems for resources recycling —mainly relating to recycling of zinc—.

<受付: 1991年9月21日>