

5.2 紙

5.2.1 発生源での排出・リサイクルの現状

チュニジア国では現在古紙の回収は、以下の二形態で行われている。

① 段ボール製造業者が印刷所など産業廃棄物として定量を発生する所から回収している

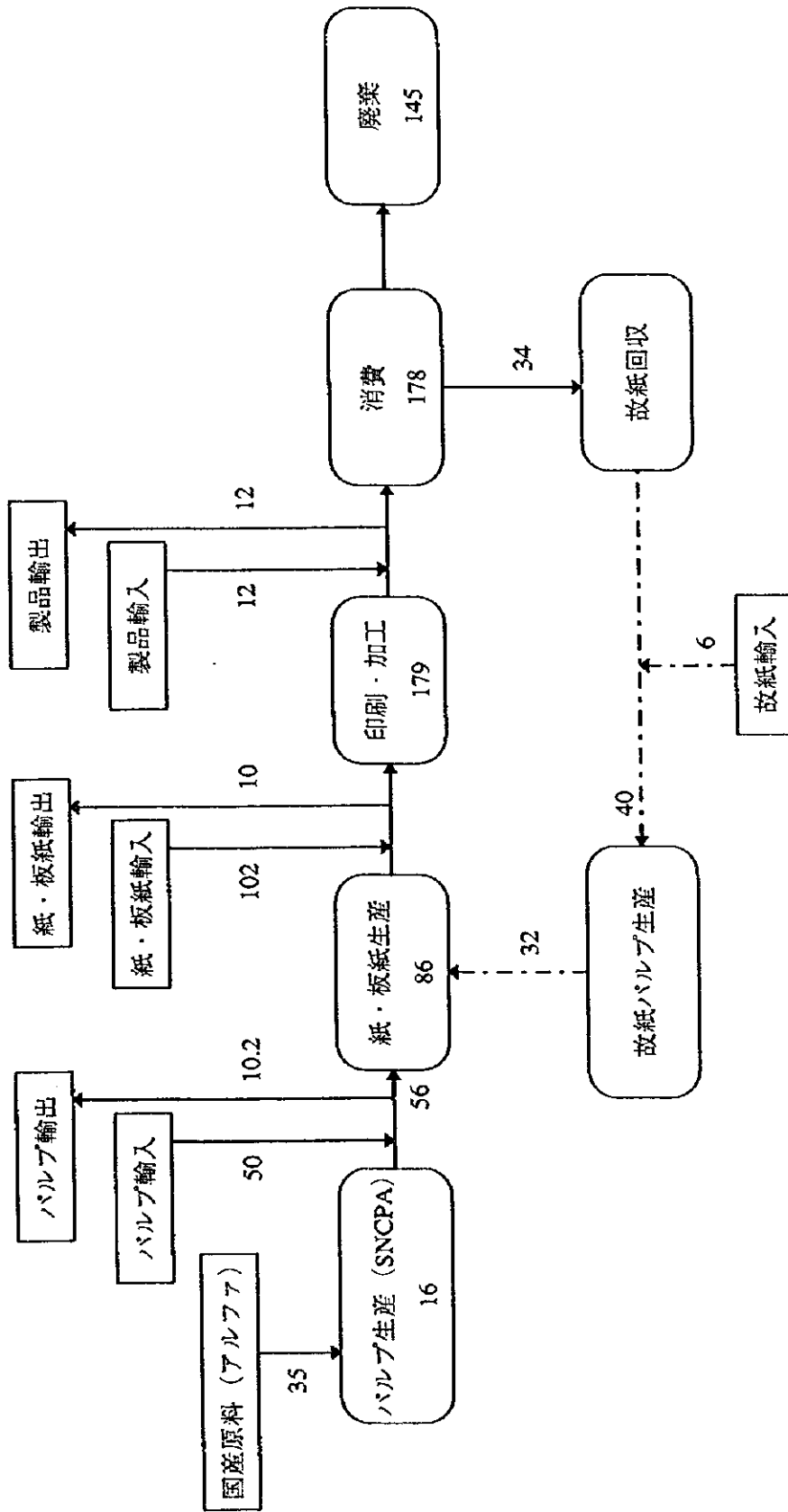
② 個人業者が市中から段ボール等を回収し、上述の段ボール業者に持ち込む
古紙は国内で約38,000ton/年（1997年の推定値）回収されていると推定される。

紙の消費量は近年急速に増加しているため、古紙の発生量もそれに応じて増加してきている。図 5.2-1 にチュニジア国の紙のマテリアルフローを示す。

印刷所では、裁ち屑を所内に集めておき、回収にくる古紙再生業者に売却している。

市民からの回収体制は未だ整備されていないが、回収の試行は行われている。テュニス東部のエル・ハズラ地区ではごみを有機物、紙、ガラス、金属、乾電池等に分ける分別収集の試行が行われた。この試行では、分別された紙は同地区に設置された選別センターに一時保管され、市の売却手続きが煩雑であったことから、再度個人業者が回収して再生工場に持ち込んだ。現在は回収箱の破損などから、この試行プロジェクトは一時停止している。

また、1997年からテュニス市は官公庁やオフィスからの紙回収体制を整備する計画を進めている。これは、EUの支援事業の一つで、紙回収の実績のあるトリノ市（イタリア）が調査・計画を立案し、セミナー講師などの人材を派遣するもので、回収に必要な車輛・回収ボックスなどはEUの経済負担で供与される。1998年現在テュニス市中心街で試行的に回収が行われており、今後拡大していく計画である。ただし、現在は再生工場の受け入れ体制などの調整が完了していないため、実際にはリサイクルは始まっていない。この回収計画が成功すれば、かなり大量の印刷情報紙が回収されると見込まれる。



単位：1,000トン

図 5.2-1 紙・紙製品のマテリアルフロー (1997年推定値)

5.2.2 リサイクル業者の現状

チュニジア国の紙リサイクルは最近まで非常に小規模な家族単位の業者による回収と、古紙再生業者自身が回収業を兼ね、自社で必要な古紙原料を回収して廻るシステムであった。現在も小規模な家族単位の回収業者と古紙再生業者による回収が行なわれていることには変わりがないが、つい最近の動きとして、大手の古紙再生業者が回収の子会社を作り、専門的に回収を行うようになって来ている。

回収専門会社はプレス機械を購入し、印刷工場、紙加工工場等の古紙発生量の多い顧客先企業にそのプレス機械を置かせて貰い、プレスされた古紙が所定量貯まると回収に出向くシステムを取り、回収効率を高めている。

小規模な家族単位の回収業者はテュニス市内に1,000家族ほどあると言われており、少量単位で古紙再生業者に持ち込み、個人単位の取引をしている。

古紙の取引価格はつぎの通りである。

(単位：DT/ton)	
白色裁断くず	150~200
段ボール	60~120
新聞紙	30~60
事務所古紙	20
輸入古紙	120

5.2.3 エンド・ユーザーの現状

チュニジア国の古紙再生業者は4社であり、年間およそ40,000tonの古紙を原料として再生紙を生産している。

生産する紙の種類は段ボール用板紙、包装用紙、衛生用紙の3種類である。各社とも段ボール古紙、白色裁断くずを主体に、バルバーで離解し、スクリーンで異物の除去まで行ない脱墨も晒しもしないで、紙を抄いているのが現状である。

従って、新聞やその他印刷物のリサイクルはわずかである。

5.2.4 リサイクル・処理・処分のフロー

印刷所裁ち屑および古段ボールの回収・リサイクルのフローを図 5.2-2に示す。

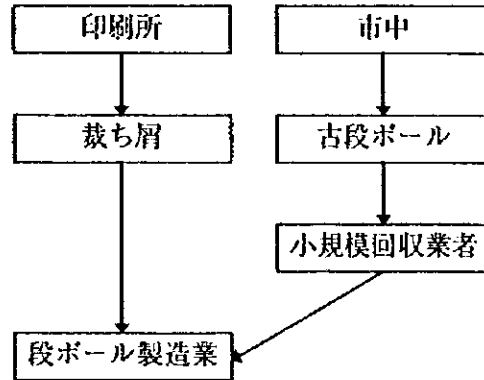


図 5.2-2現在のリサイクルフロー

5.2.5 発生源・製造メーカーでの望ましい対応

古紙を有効に資源として利用するためには、古紙の種類に応じて分別することが必要である。原料として使用するためには用途に応じた分別が必要である。分別は少なくとも以下の分類で行うことが必要である。

- ① 段ボール・包装用板紙・茶模造紙
- ② 白色裁断くず
- ③ 新聞紙
- ④ 雑誌類
- ⑤ その他印刷物

現状、チュニジア国の回収システムは製造メーカー(エンドユーザー)が直接関わっているが、さらに回収率を上げ、回収コストを低減させる努力が必要である。発生源に対する啓蒙活動も重要であるが、回収コストのうち輸送費の占める割合は大きく、回収・流通経路の確立が急がれる。

既に、チュニジア国にはその胎動があるが、さらに、全国的に集積場を配置し、回収率の高揚と回収コストの低減に努めることが望まれる。

5.2.6 回収システムとリサイクル工場の整備

前項でも述べたが、チュニジア国では回収・流通経路の確立が急がれる。家族単位的な小規模回収業者が収集した古紙を一旦、集積場(ちり紙交換基地、よせ場)に

持ち込み、そこで輸送効率を高めるための処理をし、製造メーカーにまとめて納入するシステムを確立する必要がある。

集積場はただ単なる紙の置き場ではなく、持ち込まれる古紙の種分け、古紙再生にとって禁忌品である塩化ビニール製のヒモの除去、古紙に含まれる大きな夾雑物の除去等を行ない、輸送効率を高めるために、プレス機によりコンパクトに梱包する機能を持つリサイクル工場とする必要がある。すなわち、リサイクル工場を整備することが回収システムの確立に求められる。

チュニジア国の場合、このようなリサイクル工場は全国で数箇所ですべて十分であろう。古紙は立派な商品であり、市場原理が働く商品である。このような回収システムも家族単位的な小規模回収業者、リサイクル工場経営者、古紙再生業者(エンド・ユーザー)、それぞれが経営メリットを享受出来なければ、システムは長続きしないし、崩壊してしまう。古紙再生紙が十分な市場対応力を持つ必要があるのと同時に、一般市民が古紙再生紙を理解し、積極的に利用するよう啓蒙することも重要である。

図 5.2-3 に日本における古紙の回収・流通経路を示す。

5.2.7 望ましいリサイクル技術、プロセス

前述したように、チュニジア国では、現在4社が古紙再生紙を造っているが生産量の90%以上が段ボールと包装用板紙である。

古紙再生プロセスは離解用のバルバー、異物除去用クリーナー・スクリーンで構成されている。このプロセスは、段ボールや包装用板紙の製造用であり、その他の種類の紙の製造はできない。

添付資料のデータからも判るように、印刷情報用紙、衛生用紙の消費量が急速に伸びて来ていること、リサイクル運動により、新聞紙、雑誌、その他印刷物等の回収が促進され、現状の紙質と異なる古紙原料が入って来ることを念頭に入れ、望ましいリサイクル技術、プロセスを考える必要がある。限定された古紙に対応した設備では、回収にも限度が生じる。チュニジア国の現状を考えると、印刷インクを除去する脱墨工程を持った古紙再生工場を造る時期と言える。

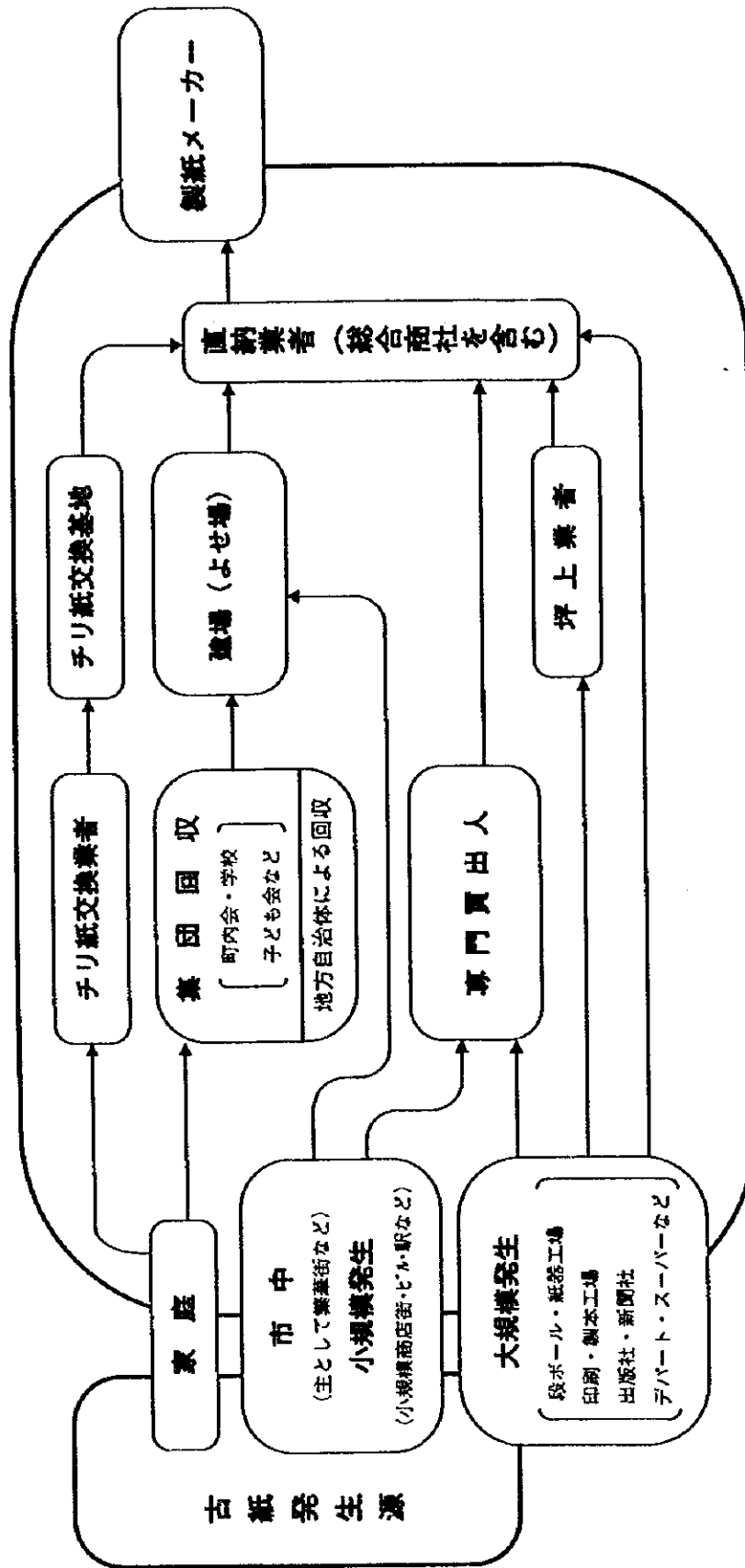
5.2.8 エンド・ユーザーでの設備投資の方向

古紙回収量が上昇し、古紙再生紙の市場が熟して来れば、製造メーカー(エンド・ユーザー)の設備投資意欲が旺盛になるのが市場原理である。チュニジア国のエンド・ユーザー4社のうち、何社かは能力増強を念頭にした設備投資計画を持っている。

しかし、現状の延長線であり、脱墨工程を持った設備投資計画ではない。

脱墨工程のある設備は投資コストがかさむのは確かであり、さらに、薬品を使うため運転費もふくらむ。古紙再生工場は装置産業であり、設備投資にはスケールメリットを考えておく必要がある。チュニジア国では、各社が小型の脱墨工程を持った設備を造るのは得策ではない。製紙工業全体で、新鋭の古紙パルプ工場を造ることを提案する。この提案の実現には関係各社の努力は勿論であり、チュニジア国関係省庁の助力も必要である。

図 5.2-3 日本における古紙の主な回収・流通経路



出典：紙リサイクルハンドブック

5.3 アルミニウム

5.3.1 リサイクルの現状

結論的にアルミニウムのリサイクルは、色々な問題はあるものの、既に割合に良く行われていると言える。

(1) 市場へのメタル供給量

国内には資源も製錬設備も無く全量輸入に依存していて、地金、製品、半製品の輸出入量の過去6年間に渡る統計は、表 5.3-1に示す通り。1997年には約2,300tの地金と8,700tの製品・半製品の合計約11,000tのアルミニウムが輸入された。一方再生地金と思われる地金が約1,500t、製品・半製品が約1,500t、スクラップが900t、合計約3,900tが輸出され約7,000tのメタルが(大部分は製品として)国内に留まったことになる。

この海外からの供給以外に、国内で回収されたスクラップがそのまま、あるいは地金に再生されて、製品の生産用に供給されている。

表 5.3-1に示す通り、この6年間の国内でのアルミニウムメタルの蓄積量は4万4千t近くになるが、これが将来スクラップとして発生して来るものである。

厳密には国内へのメタル供給量として、自動車や家電製品その他の製品の一部或いは部品として輸入されるメタル量を加える必要がある。

表 5.3-1アルミニウムの輸出入量(1992～1997年)

		単位:ton、100ton以下四捨五入					
		1992	1993	1994	1995	1996	1997
輸 入	インゴット	1,700	3,900	1,800	4,400	4,200	2,300
	スクラップ	100	0	0	16	0	0
	製品・半製品	7,500	7,700	8,600	10,100	7,700	8,700
	合計	9,300	11,600	10,400	14,500	12,000	11,000
輸 出	インゴット	100	800	1,300	700	800	1,500
	スクラップ	1,200	900	1,700	0	400	900
	製品・半製品	1,700	2,500	2,600	2,700	2,200	1,500
	合計	3,000	4,200	5,600	4,700	3,500	3,900
国内蓄積量		6,300	7,400	4,800	9,800	8,500	7,000
累積蓄積量			13,700	18,500	28,300	36,800	43,800

(2) 製品生産量とアルミニウム消費量

国内におけるアルミの用途は1997年におけるアルミ輸出入統計の内訳(表5.3.2)からも推測出来る。

各製品の生産統計が無いため、主要な製品の代表的製造メーカー数社を訪問して生産量や原料使用量などを調査し、メタルの量的な流れの把握を試みた。得られた現状についての情報は以下の通り。

a) 押出し型材

メーカーは1社のみで年間2～2,500tの押出し型材を生産。約800tのビレット内製用に約200tの新地金と800t余りのスクラップ(工場内発生スクラップ及び国内の型材加工メーカーからのスクラップ)を消費し、別に輸入ビレットを1,700～2,300t消費している。

製品の50%は輸出され、国内に供給されるものの90%が窓のサッシ等建材生産用に消費される。

或る建材会社では200tの型材をアルジェリアから輸入し、100tの型材は国産品を使用し、年間250～300tの建材を生産し、製品は全量国内に向けられている。同業者は同程度の規模の会社が他に4社あるとのこと。

国内での建材総生産量は不明確であるが1,000t～1,400t位と推定される。

b) ダイカスト製品

主要メーカーは2社ありその内の1社では年間250tの温水暖房機の放熱器や電気暖房機を生産。270tの再生地金、20tの新地金を消費している。製品のうち国内に出荷されるのは30tのみで、220tは輸出される。

またこの会社では200tの重力鋳物(機械部品等)を生産し、180tの再生地金、25tのスクラップ、5tの新地金を消費している。

ダイカスト製品の総生産量は確認出来なかったが、年間4～500tと推定した。

c) 電線

2社が輸入素線から各種アルミ電線を生産している。その1社では直径9.5mmのアルミ粗引き線をコイル状で年間1,200t輸入し、直径1.7mm～9.2mmの各種プラスチック被覆電線を生産し、STEG(テュニジア電気・ガス公社)に納品している。(高圧送電用鋼芯アルミ線は国内では生産されてなく輸入とのこと)

他の1社の生産量は不明であるが、STEGのアルミ電線の年間消費量は3,000 tでその内鋼芯アルミ線が300 tとのことなので、国内でのアルミ線の総生産量は約2,700tと考えられる。STEGによると、アルミ線のスクラップの発生量はまだ年間100t以下の様である。

表 5.3-2アルミニウムの品目別輸出入量 (1997年)

品目		輸入量(ton)	輸出量(ton)	
地金	地金	2,288.6	1,536.1	
スクラップ	スクラップ	-	891.2	
半製品・製品	粉片	40.2	-	
	バー、型材	241.7	863.9	
	線材	1,493.9	6.2	
	板、帯材(厚さ0.2mm以上)	1,463.8	3.5	
	箔、箔材(0.2mm以下)	1,851.0	42.9	
	管	53.0	2.0	
	管付属品(継ぎ手、湾曲部、筒等)	7.4	1.0	
	建材(橋、塔、柱、屋根、扉、窓枠、建物用の型材、バー、管材等)	217.4	58.0	
	容器、大樽、大桶 (容量30 l以下、ただし圧縮、液化ガス用は除く)	2.0	-	
	容器、大樽、大桶 (容量300 l以下)	181.3	63.4	
	圧縮ガス、液化ガス用容器	11.5	-	
	ケーブル(電線)、紐、縄、	636.6	21.6	
	家庭・台所用品、トイレ・衛生用品	307.9	186.0	
	その他製品	2,152.5	229.2	
	製品・半製品合計		8,658.6	1,475.0
	総合計		10,947.2	3,902.3

d) 家庭器物

主要メーカー7社が年間約2,000tの鍋、容器類の台所用品を生産している。その1社では、年間3~350tのサークル(しぼり加工用材料の円盤)を輸入し、年間3~350tの器物を生産している。製品は150~200tが国内市場へ、150から200tが輸出される。この会社では鍋や容器の取っ手を鋳物で生産し、約30~35tの自家発生スクラップと10tの購入スクラップから生産した40tの鋳物のうち、25tを自家消費し、15tを外販している。

他に小規模な5社前後が年間約3~500t生産していると言われる。

e) 重力鋳物

小規模な坩堝炉を使用し、各種の機械部品や鋳物製品を生産している数多くの鋳物工場がある模様である。2~3の工場を訪ねたほか、数社について電話による生産量や原材料の使用量の聞き取りを試みたが、全容の把握は不可能であった。

f) 6) 缶

ビール会社が製缶工場を持ち、アルミの缶材をスラグ（製缶用円盤）の形で年間約600 t 輸入し使用し、2500万缶のアルミ缶を生産している。（24g/缶）

g) 印刷板

新聞社や雑誌の出版社数社に電話で問い合わせた結果、チュニジアにおいてもオフセット印刷用にアルミ印刷板が使用されていることが分かり、量の把握が完全ではないが、年間少なくとも約50t前後のアルミ印刷板が使用されているものと考えられる。なお印刷板は印刷版として輸入されている模様。

(3) スクラップ発生量と回収量

発生量の推定には過去数年から十数年間、あるいは数十年間に国内市場に出荷されたアルミ製品の種類と量を把握する必要がある。そして各製品の耐用年数を考慮することにより、凡その発生量が推定可能である。しかし現時点ではそのデータが無く推定は不可能である。日本においてもつい最近業界でその調査が実施されたばかりである。

1995年の日本におけるスクラップ発生量の推定値と回収量は夫々約160万 t と123万tで、回収量は地金供給量約400万 t（内156万tが再生地金）の31%となっている。

チュニジアにおいてある程度の規模を持つ再生地金メーカー3社のうちの2社の話では、回収スクラップ量は年間1,500 t とのことであったが、現在の回収量の推定については、後述する。

(4) リサイクルの現状

a) 老廃スクラップ

年間約1,500t回収されるスクラップから3社が再生地金を生産している。

① スクラップの収集

アルミは鉄屑に比較し高価であるため、収集は良く行われていると考えられる。

② スクラップ回収（スクラップ問屋）

1996年に環境・国土整備省が実施した大量廃棄物の調査（Étude sur la gestion des déchets encombrant en Tunisie-Avril 1996.Ministère de l'Environnement et de l'Amenagement du Teritoire）によると、廃棄物の回収業者は主要なものが42社あり、その内の3社のみがアルミその他非鉄金属を扱うとなっており、大部分が鉄屑の回収業者であるが、実態はそのあるものは鉄屑以外に少量ではあるが非鉄も扱っている。

或る金属の回収業者の年間扱い量は

アルミニウム	200~250t
銅	300~400t
鉛	1.000t
鉄	1.000t
真鍮（亜鉛と銅の合金 黄銅）	50t
青銅（錫と銅の合金）	80t

年間の総回収量の推定については後述する。

③ 再生地金生産メーカー

原料として使用しているスクラップの種類自動車部品（ピストン、エンジンブロック等）、家庭器物、ビール缶、線材、加工屑（板、型材）

A社の例

原料スクラップ消費量 年間600t 再生地金生産量 年間500t 輸出87%

原料スクラップはあまり小さな業者からは（1~2t）は買わない。

父親が経営する回収問屋（上述の例）から買う。

B社の例

原料スクラップ消費量 年間600t 再生地金生産量 年間420t 輸出50%

アルミをはじめ鉛、亜鉛のスクラップ問屋がメタルの再生も手がけている例。

原料スクラップ

自動車部品 歩留まり65% 23tのスクラップから月15tの地金を生産

加工屑 歩留まり90% 5.5tのスクラップから月5tの地金を生産

缶、鍋釜その他 歩留まり65% 23tのスクラップから月15tの地金を生産

これ以外に小さな鋳物メーカーやスクラップ業者が、小さな坩堝炉でスクラップを溶解し原材料として使用したり、再生地金のインゴット（これは溶湯の処理や成分調整もされてなく、日本ではベースメタルと呼ばれ、再生地金メーカーが原料として使用するもの）を生産しているが、これの全体の量の把握は不可能に近い。

b) 工場内部発生スクラップ

ダイカストメーカー、型材押出しメーカー、家庭器物メーカー数社の調査では、工場内において発生スクラップの回収と再利用は実に良く実行されている。大部分は自社内でスクラップのまま原材料として再利用している。

型材押出しメーカーの例

a ビレットの生産時の発生スクラップ量 1tのビレット生産につき300kgのスクラップが発生

b 押出しの際 1tの製品（型材）生産につき200kgのスクラップが発生

これらのスクラップは何れもピレット生産の原料の一部として溶解炉にもどされる。

c ダイカストメーカーも湯道のメタルやバリを、原料の一部として再利用している。

(5) アルミニウム のマクロメタルフロー

表5.3-1のアルミニウム輸出入統計の過去5年間の平均値、表 5.3-2 の1997年における輸出入統計の詳細、および前述の各メーカーからのヒヤリング調査をもとに作成したアルミメタルの量的な推定フローが図5.3.1である。

二次加工メーカーへ供給されるメタルは、輸入地金約3.300t、輸入半製品約5.100t、再生地金約1.300t。これにスクラップ約1.100tを加え総量は約10.750tとなる。これから最終製品生産メーカーへは廻るメタル量は、二次加工メーカーから発生し回収リサイクルされるスクラップ約600tと、地金として輸出される1.100tを除いた約9.050tとなる。ここで輸出される地金の1.100tであるが、再生地金が主体と考えられるが、それにしては多過ぎる量で、輸入された新地金の一部がそのまま第3国に輸出されているのではないかと考えられる。国内市場に供給される製品は、第3次（最終製品）加工メーカーから発生し回収リサイクルされる約450tのスクラップと、輸出される製品、半製品約2.300tを除いた約6.300tに、輸入された製品約3.500tを加えた総量約 9.800tと見られる。

そして国内で回収されるスクラップは約2.500t。この内900tが輸出され、1.600tが再生地金メーカーに廻る。ここで輸出されるスクラップ900tは全量老廃スクラップとしたが、その一部は加工メーカーから回収されたスクラップであるかも知れぬ。いずれにしても国内でのアルミ製品の蓄積量はまだそう多くないと考えると、現状のスクラップ回収率はかなり良い線を行っていると思われる。

5.3.2 リサイクル推進の方向

以上述べた様に現時点でアルミのリサイクルはかなり良く行われているが、次の様な問題点を抱えている。

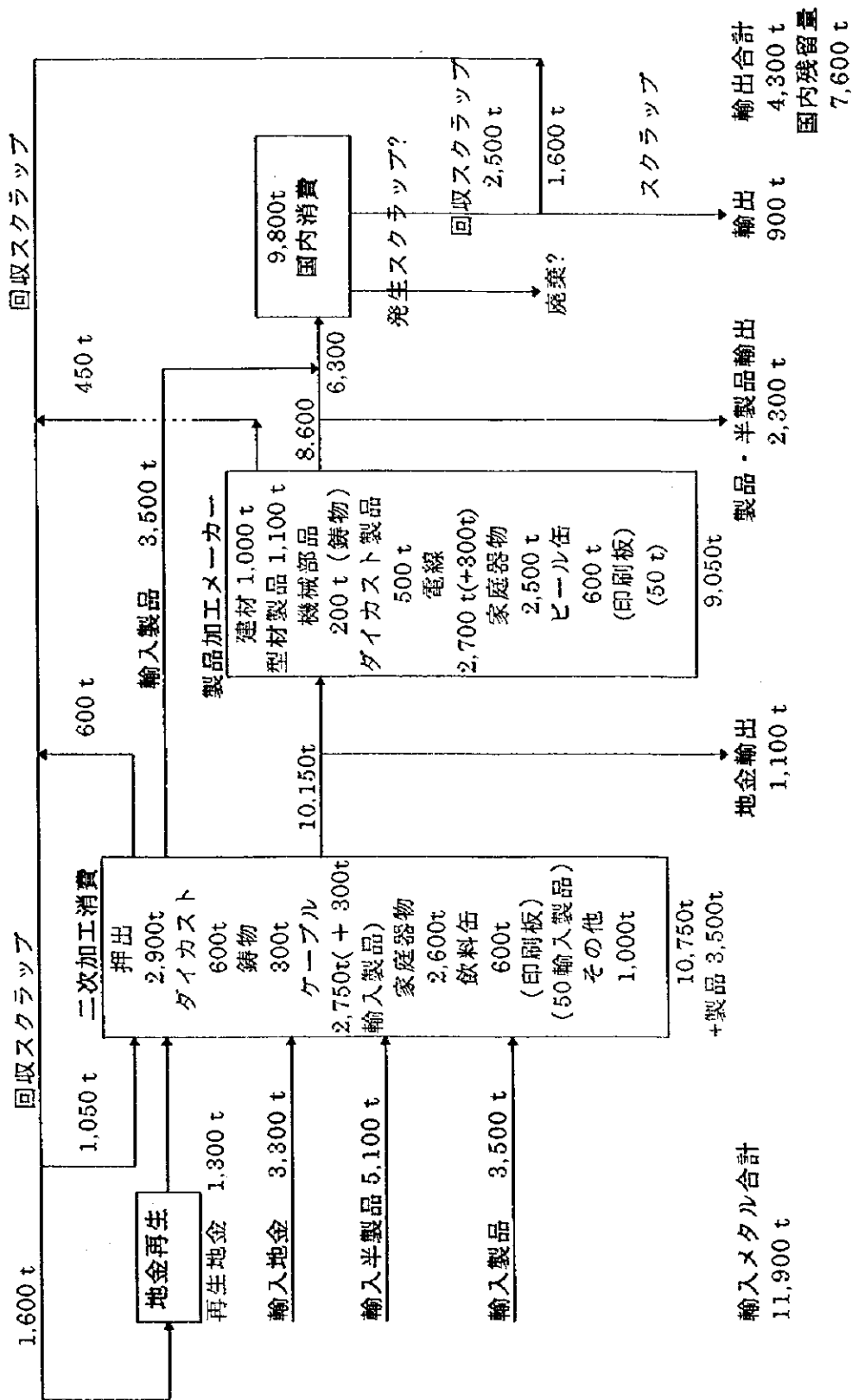
(1) アルミ箔や切削加工屑などから地金を再生できぬ現状

現在の設備では技術的に不可能であり、炉のタイプを変える必要がある。これには操業規模の問題がからみ、解決には時間を要する問題かも知れぬ。現在は箔スクラップは輸出されている。

(2) 塗装のあるスクラップ（飲料缶その他）の扱い

現在A社では塗装があるスクラップは6%以上使用しないとしており、B社では

図 5.3.1 アルミニウムメタルマクロフロー図(推定値)



塗装の有無は問わず全てのスクラップを使用している。これは塗装スクラップは溶解前にデコーティングの必要がありこれも設備投資の問題となる。

(3) ドロスの処置

スクラップから再生地金を生産する際、原料スクラップの 約20%が溶解炉からドロスと呼ばれる滓となって出てくる。これにはアルミが60~70%含まれており、日本ではこれからアルミが回収されており、ドロスからのアルミの回収量はドロス量の約40%と推定されている。チュニジアにおいては現在ドロスは工場敷地内に雨晒しで放置されているが、規模が小さく設備を付けてメタルの回収を行うのは経済的ではない。しかし手作業でも或る程度メタルが回収可能と考えられる。

(4) 環境への配慮

ドロスには窒化アルミが含まれており、水に濡れるとアンモニアガスを発生し環境に悪いので、適正な処分が望まれる。

(5) スクラップを含め再生地金が輸出されている問題

1997年には約1,500tの地金、900tのスクラップ、合計2,400tのアルミニウムメタルが輸出された。これは輸入地金量2,300tを僅かではあるが上回る量で、国内への資源の蓄積、或いはより付加価値を付けての輸出など検討すべき問題と考える。

今後リサイクルを推進するには、これらの問題点の解決がまず必要と考える。アルミニウムの市場規模がまだまだ小さい現状では、設備投資を伴う改善・推進策を進めるのは困難な点が多いと考えるが、零細スクラップ問屋が小さな坩堝炉で再生地金のインゴットを生産するのは、メタルもロスするし、品質的にも問題があり、将来再生地金メーカーは或る程度以上の規模に集約化する必要があると考えられる。

最後に今後のリサイクル推進に基本的に必用な事項として、スクラップの発生量の子測・推定があるが、これには前述の通り各製品の生産量、国内への販売量を把握しておく必要があり、このために必用な情報の収集システムの早急な確立が望まれる。

その手段として各企業から政府への生産量、出荷量、原材料の使用量等の報告を義務付けるとともに、加工メーカー、スクラップ業者、再生地金メーカーなどの同業者団体（業界団体）の結成、育成を政府が奨励して推進することを提案したい。

5.4 鉛

テュニジアにおける鉛の用途は殆どが自動車用バッテリーで、その回収と再生工程に環境上の問題があるものの、リサイクルは極めて良く行われている。

5.4.1 リサイクルの現状

(1) 市場へのメタル供給量

アルミ同様100%海外からの輸入に依存し、過去6年間の地金、製品・半製品の輸出入統計は表5.4.1に示す通りである。製品・半製品での輸出入は極めて少なく1997年には約5,000 tのメタルが輸入され、約1,000 tのスクラップが輸出され約4,000 tのメタルが国内に留まった。

1997年における製品・半製品の輸出入の内訳を5.4.2に示す。

表 5.4-1 鉛の輸出入量

		単位:ton、100ton以下四捨五入					
		1992	1993	1994	1995	1996	1997
輸 入	インゴット				4,400	5,100	4,800
	スクラップ				0	0	0
	製品・半製品				20	21	55
合計		5,400	2,900	4,200	4,500	5,100	4,800
輸 出	インゴット				45	1	1
	スクラップ				1,100	3,000	1,000
	製品・半製品				5	4	21
合計		47	200	700	1,200	3,000	1,000
国内蓄積量		5,400	2,700	3,500	3,300	2,200	3,800
累積蓄積量			8,100	11,600	14,900	17,100	20,900

表 5.4-2 鉛の品目別輸出入量 (1997年)

品目		輸入量(ton)	輸出量(ton)
地金	地金	4,776.9	1.4
スクラップ	スクラップ	-	1,022.9
半製品・製品	バー、型材、線材	12.0	-
	板、帯材、箔、粉、片	26.4	-
	管	7.3	-
	放射能遮蔽容器	9.2	-
	製品・半製品合計	54.9	20.9
総合計	4821.8	1,045.2	

(2) 製品生産量とメタル消費量

世界的に鉛の主要用途は蓄電池で、日本においては需要の70%が蓄電池であり、メタルの用途分野は以下の通りとなっている。

蓄電池	69%
無機薬品	14%
はんだ	4%
鉛管板	3%
電線被覆	1%
その他	9%

テュニジアに於いても鉛の用途の大部分は蓄電池である模様。現在2社がバッテリーを生産しており、いづれも廃バッテリーを回収し原料としてリサイクルしている。

		A 社	B 社
製品及び生産量	自動車用	190.000個/年 (100%中古車)	400.000個/年 (8%中古車用)
	工業用	—	3~4.000個/年
原材料	新地金	2.200 t	3.000 t
廃蓄電池からの	再生地金	2.000 t	2.000 t
製品仕向先	国内	160.000個	200.000 個
	輸出	30.000個	200.000 個 (80%がフランス)

約5.000 t の輸入新地金はほぼ全量この2社で使用されていることになる。

(3) スクラップ発生量と回収量

A社によれば、国内で発生する廃バッテリーの数は年間35万乃至40万個で、1個が12kg の鉛を含むとして計算すると、4.200~4.800t の鉛スクラップが発生することになる。またB社では国内で販売されるバッテリーは年間55万個、同数の廃バッテリーが発生すると考えると、年間5乃至6.000 t のスクラップメタルが発生すると言っている。この2社が回収・利用しているメタル量が合計約4.000 tであることは、廃バッテリーの収集とメタルの回収が極めて高効率（日本に於いてはほぼ100%回収されている）で行われていることを示している。

(4) リサイクルの現状

a) スクラップの回収 (問屋)

廃自動車の解体業者や金物の屑屋が、鉄屑や他の非鉄金属スクラップと共に、廃バッテリーも扱っている。また廃バッテリー以外に屑問屋の集積場で見かけた鉛のスクラップとしては、板や管があった。

b) 再生利用バッテリーメーカー

① A社

廃バッテリー解体業者からエレメント (ケースと電解液の硫酸を除いたもの) のみ購入し地金を再生しバッテリーの原料として利用している。解体業者数は不明だが6社は知っているとのこと。零細業者が不法に解体を行っているとのこと。また家内工業的な零細業者が持ち込む1～2tの回収地金は購入しない。

鉛の再生工程から発生するスラグは鉛を3～5% 含むが、投棄場に投棄する。

バッテリーの生産工程から発生する鉛を含むスクラップや廃棄物は全てリサイクルする。廃バッテリーの自動解体ラインの設置を検討したが扱う量の問題からベैसेず断念した。

② B社

同様にエレメントのみ購入し、年産2,000tの溶解能力のある炉で3交代24時間操業で鉛を再生している。年間1,000t発生するスラグは公共投棄場に投棄。溶解炉から発生するダストはバグフィルターで集塵し、ダストは炉に投入し再利用している。近い将来廃バッテリーの自動解体ラインを設置し、その能力が5t/h と大きいので廃バッテリーの輸入も検討している。

c) スクラップ業者 (問屋) がメタルの再生を行っている例

アルミ再生地金メーカーを訪ねた際、スクラップ業者 (問屋) を兼ねているその業者は月間22tの鉛の板及び管のスクラップを小さな坩堝炉で溶解し、20tの鉛を回収し、それを小幅の板に伸ばしコイルとして出荷していた。これは病院等での放射線遮蔽用に使われるとのことであった。

(5) メタルのマクロフロー

1997年の輸出入統計値をもとに作成した鉛のマクロフローを図5.4.1に示す。

5.4.2 リサイクル推進の方向

現在既にリサイクルは極めて良く行われて居るが、次ぎに述べる各種の問題を抱えており国内でのメタル蓄積量が増え、製品市場が拡大するとき問題も大きくなる

と考えられるので、その問題に対し解決策を検討し、実行に移すことが今後リサイクルを更に推進する上で不可欠と考える。以下にリサイクルを推進する上での問題点を示す。

(1) 廃バッテリーの解体

現状は殆どの零細業者が、廃バッテリーに入っている、硫酸による環境の汚染への配慮無しに解体を行っている模様である。これは出来るだけ早く環境汚染を防ぐ対策を取った方法で実施するよう、当局による指導が必要であり、出来れば先進工業諸国で実施中の、環境対策設備を備えた自動解体設備による解体が望まれる。

図5.4.2に環境対策を含めた、一般的な廃バッテリーの解体と鉛の再生工程図を示す。

(2) 廃バッテリーからの鉛回収工程の環境問題

廃バッテリーからの鉛回収工程からは、人体に有害な鉛のフュームや亜硫酸ガス、粉塵などが発生するが、作業環境及び工場周辺環境の保全対策が不備なまま操業が行われている例がある。このままでは作業者の健康への被害が間違いなく発生することが懸念される。

(3) 廃バッテリーからの鉛回収における技術的問題

近年バッテリーはメンテナンスフリーのものが主流となり、これは従来アンチモン入り鉛を使用していたものが、カルシウム入りに変わった。現在チュニジアではまだカルシウム入りは少なく、特に区別して再生利用しなくて済んでいるが、やがては両者を区別して再生する必要が生じる。

図 5.4.1 鉛メタルマクロフロー図 (1997) (100t 以下四捨五入)

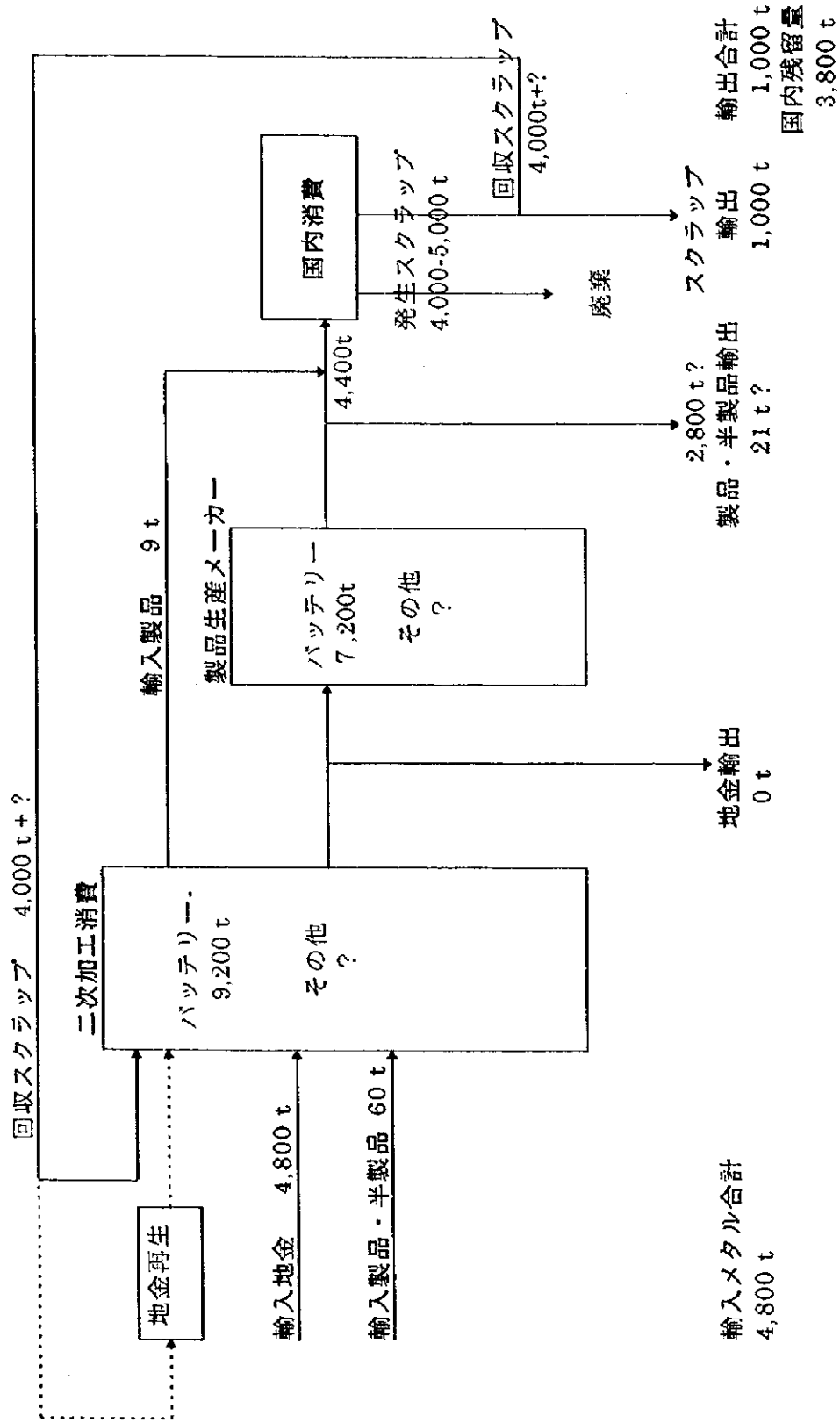
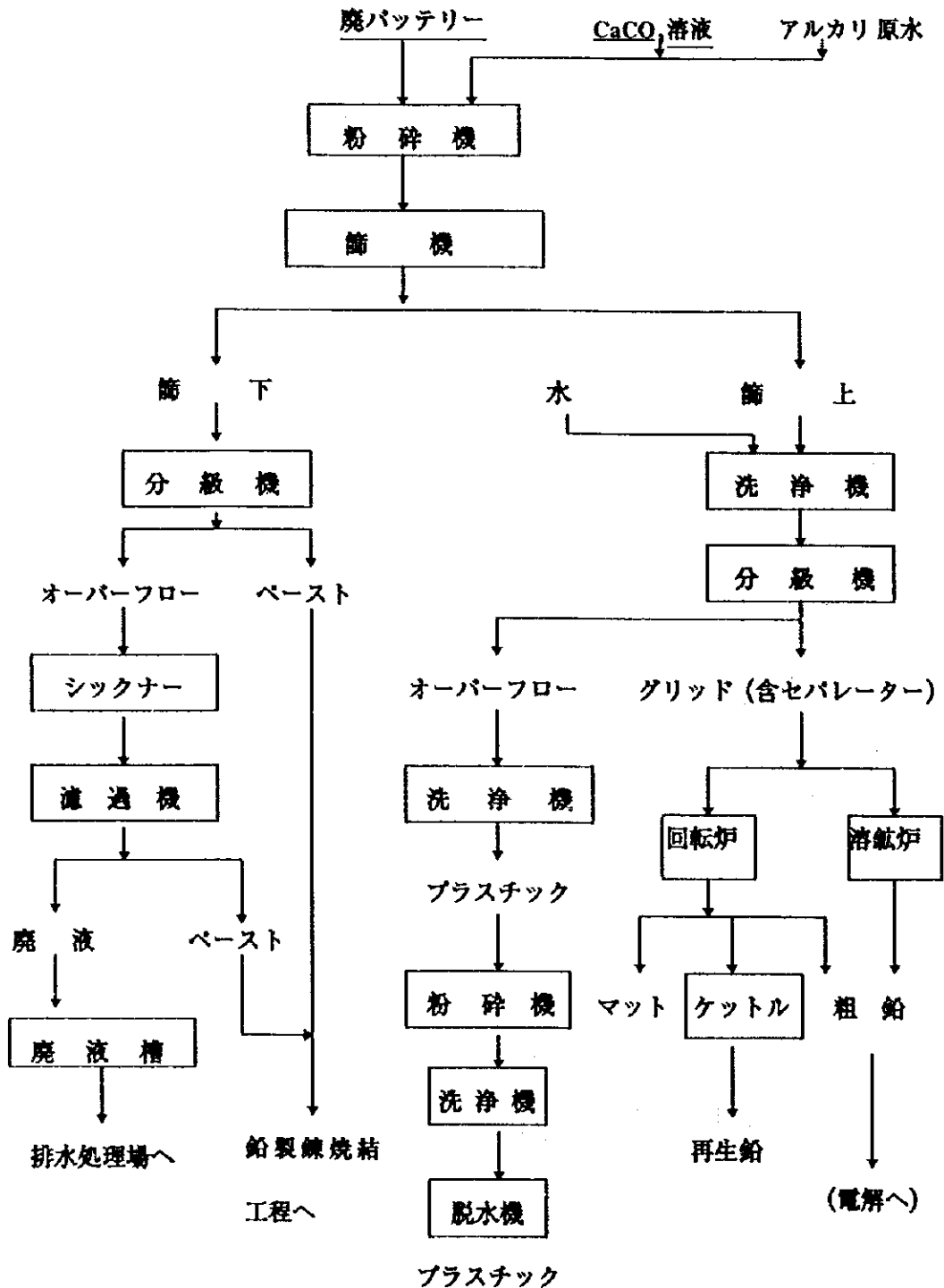


図 5.4.2 廃バッテリーの解体及び鉛の回収・再生工程



5.5 亜鉛

5.5.1 リサイクルの現状

(1) 市場へのメタル供給量

テュニジアには鉛、亜鉛の鉱物資源はあるが製錬設備が無く、亜鉛も全量地金、製品・半製品の形で輸入されている。過去6年間の輸出入統計を表5.5-1に示す。1997年には6,500tの地金と400t足らずの製品・半製品、合計約7,000t弱のメタルが輸入された。これに対し、700t足らずのスクラップと100t足らずの製品・半製品、合計約800t足らずのメタルが輸出され、差し引き約6,000t余りのメタルが国内に留まった。1997年における製品・半製品の輸出入の内訳を表5.5-2に示す。

表 5.5-1 亜鉛の輸出入量

		単位:ton、100ton以下四捨五入					
		1992	1993	1994	1995	1996	1997
輸 入	インゴット				5,000	5,600	6,500
	スクラップ				200	0	0
	製品・半製品				400	400	400
	合計	5,400	3,700	5,600	5,500	4,000	6,900
輸 出	インゴット				0	0	0
	スクラップ				800	400	700
	製品・半製品				4	60	94
	合計	600	2,200	4,100	800	400	800
国内蓄積量		4,800	1,500	1,500	4,700	3,500	6,100
累積蓄積量			6,300	7,800	12,500	16,000	22,100

表 5.5-2 亜鉛の品目別輸出入量 (1997年)

品目		輸入量(ton)	輸出量(ton)
地金	地金	6,513.6	-
スクラップ	スクラップ	-	668.0
半製品・製品	粉、片	21.5	94.0
	バー、型材線材	92.2	-
	板、帯材、箔	103.9	-
	管、配管部品	0.7	-
	樋、屋根、天窓等建築部材	166.2	0.5
	製品・半製品合計	384.4	94.5
総合計		6,898.0	762.5

(2) 製品生産量とメタル使用量

日本における亜鉛の用途は鋼板や鋼鉄構造材のメッキが主体で66%を占め、次ぎがダイカストが12%、タイヤの加硫剤（亜鉛華）無機薬品として11%、その他となっている。欧州に於いては、屋根材としての用途もある。チュニジアにおける用途の大部分はやはりめっきであり、次ぎの用途はダイカストである。なお銅合金（真鍮）の材料として銅の鑄造所や金属製品の生産工場で1~2tの単位で使用されている。

以下チュニジアにおける亜鉛使用製品の生産工場の例を示す。

a) ダイカスト製品 A 社

生産量	年産350~400 t
製品	ドアの取っ手、止め具、浴室アクセサリ、自動車部品（バックミラー部品、ショックアブソーバアーガイド）
製品販売先	80% 国内 20%輸出
原材料	ザマック（亜鉛合金）年間4~500 tフランス、ベルギー、ドイツ等から輸入
同業者	他に2社
3社で使用するザマックの量	年間8~900t
廃棄物	使用する亜鉛合金の8~9%が溶解炉からドロスとなって発生。ダイカストマシンから出る屑。メッキ不良品

b) 亜鉛メッキ B 社

生産能力（メッキ能力）	年間5.000t
製品	灌溉用鋼管の製造とそのメッキ及び外部からの依頼によるメッキ（型材による電柱その他）
亜鉛消費量	灌溉用鋼管用 年間200 t 外部からの委託品のメッキ用 300 t
発生廃棄物	マット 年間60 t（亜鉛含量60~70%） 灰 年間150 t（亜鉛含量30~35%）

c) 亜鉛メッキ C 社

生産能力	年間82.000- 83.000t の鋼板コイル（幅 最大1.500mm 最小600mm）をイタリア、スペイン、ギリシャ等から輸入し、約30ミリの厚さにどぶ漬けで亜鉛をメッキ後、全量イタリアに輸出。（保税地区に立地）
亜鉛消費量	年間約 3.000t（イタリアから輸入）

(3) スクラップ発生量と回収量

めっきに使用された亜鉛は、その鋼材がスクラップとして鉄の回収のため電気炉に投入された際蒸発し、発生するダストを集塵したものに含まれてくる。日本その

他工業国では、このダストから亜鉛を回収しているが、めっき製品からは所謂スクラップとしての発生は無い。

ダイカスト製品のスクラップはこれまでの蓄積された製品と量が不明のため、発生量は掴めない。回収量も不明。

(4) リサイクルの現状

a) スクラップの収集

スクラップ収集・回収業者が他のメタルスクラップと共に扱っている。

b) 地金の再生

スクラップ問屋Dは、年間50tのメタルをインゴットの形で再生し銅の鋳物屋に真鍮の原料として売却している。またこの業者は年間100tのメッキのマットや灰、或いはダイカスト工場から出るドロス等を輸出している。

この様な小規模でのスクラップからの地金再生は幾つかのスクラップ問屋で行われている模様である。

c) ダイカスト生産工程

発生するドロスは、先のA社の例では含まれている亜鉛を外部に委託して搾り取ったあと全量輸出する（亜鉛分15%位）。ダイカストマシンの屑やメッキ不良品の屑は工場内で小さな炉で溶解し、インゴットの形にしてメタルを回収し、再利用している。

d) メッキ工程廃棄物のリサイクル

どぶ漬けによる亜鉛コーティングの工程で、60—70%亜鉛を含むマット（メッキ槽の底に沈むもの）と30～35%の亜鉛を含む灰（メッキ浴槽周辺に飛散したもの）が生成し、これは亜鉛回収のため輸出されている。

(5) 亜鉛メタルのマクロフロー

図5.5.1に亜鉛のメタルマクロフローを示す。輸入された7千トン近くの地金は70%近くがメッキに使われあとはダイカスト製品となるものと見られる。メッキ製品から発生するスクラップは、鋼材のスクラップであり、亜鉛のスクラップとして存在するものはダイカスト製品のみである。

僅かな量のスクラップから地金インゴットに再生されたものは、銅合金（真鍮）の原材料として利用されている。

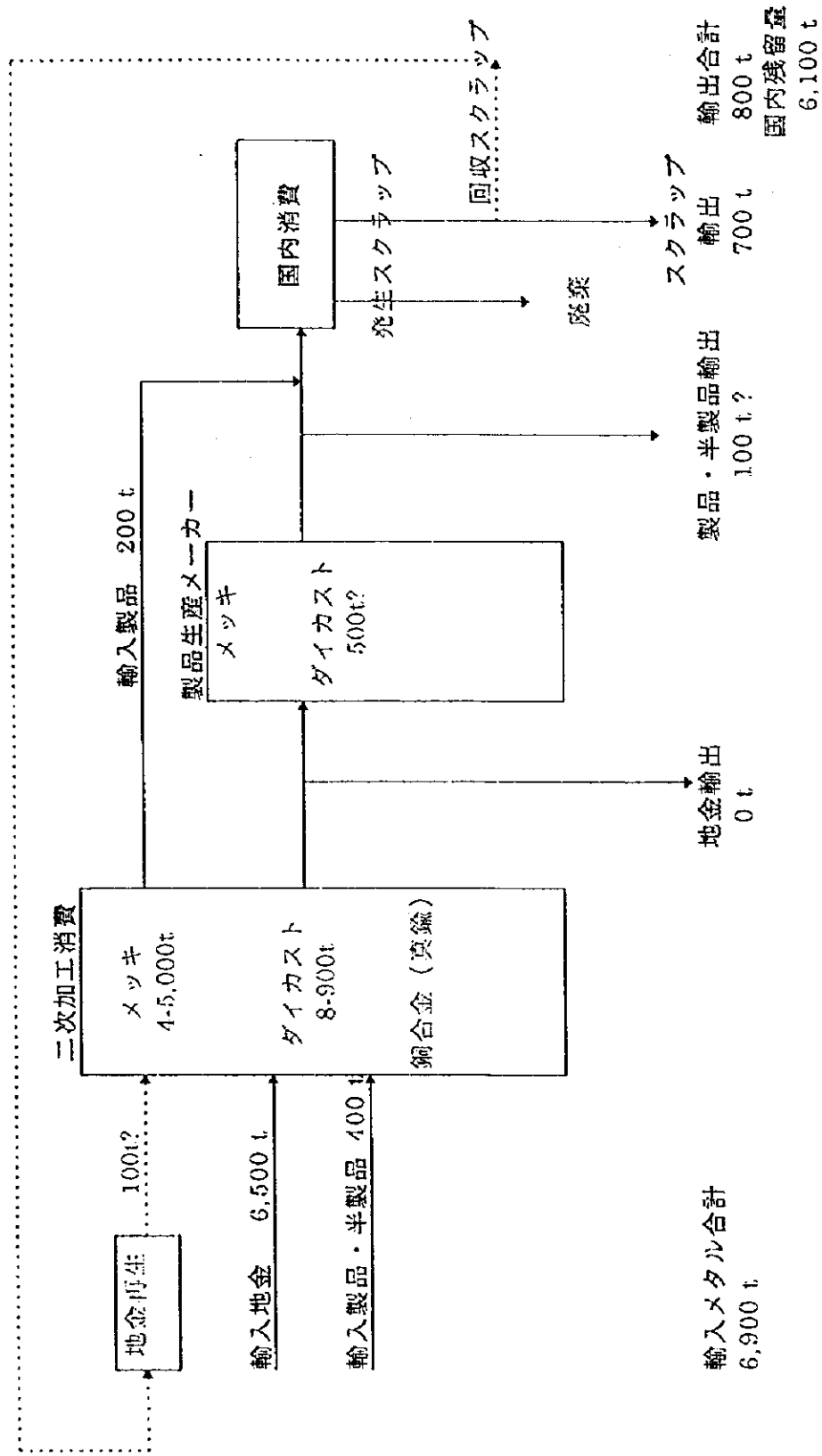
5.5.2 リサイクル推進の方向

ダイカスト製品のスクラップからの再生地金は、含まれる不純物 (Pb,Cd) のために日本においてはダイカスト用には推奨されていない。

亜鉛のリサイクルとしては、現在海外に輸出してメタルを回収しているドロスやメッキのマットや灰からの回収が、やがては国内で行われる様になることが理想かも知れぬが、設備投資や技術を考えると、量的にもまだ少ない現在では、まだ先のこととなろう。

またメッキ鋼材からの亜鉛の回収は、工業国では行われているが、電炉工場での集塵設備が無く、亜鉛製錬所を持たぬテュニジアにとっては難しい問題と考えられる。

図 5.5.1 亜鉛メタルマクロフロー図 (1997) (100t 以下四捨五入)



5.6 プラスチック

5.6.1 発生源での排出、リサイクルの現状

チュニジア国では、石油化学工業は発達していない。しかし、石油化学製品のプラスチック類の消費量は近年増加しており、ポリエチレン、ポリスチレン、ポリプロピレン、塩化ビニール等のペレット、粉末、半製品を輸入し、成型加工する工業が急速に発達してきた。チュニジア国のプラスチック加工産業の生産量、消費量を表 5.6-1に示す。

表 5.6-1 プラスチックの原材料輸入量と生産量

	(単位：ton/年)		
	1995	1996	1997
原材料輸入量	121,200	134,500	140,900
加工生産量	126,000	140,000	145,000
原材料消費量	140,000	157,000	170,000

この3ヶ年間の消費量の伸びは毎年10%を続けている。大幅な伸び率である。樹脂加工段階のプラスチック廃棄物の発生率は数%が予想されるが、全量リサイクルされ、外部へ排出されるプラスチックは殆ど零である。廃プラスチックの再生段階では熱可塑性プラスチックの種類別に単純再生を行っているが、使い古されて再生不可能なものや異物が10%前後排出されるものと推測される。

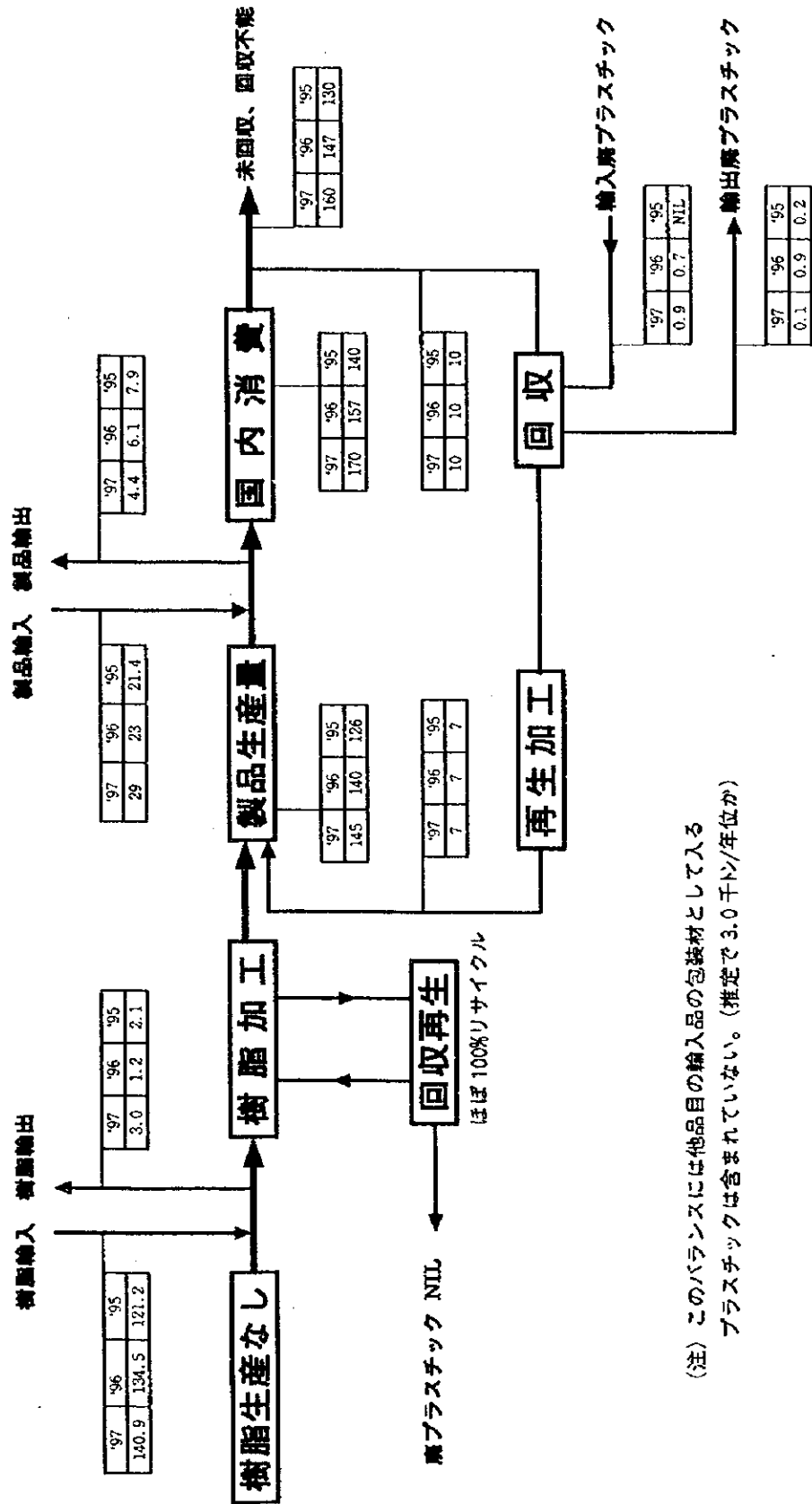
図 5.6-1にプラスチックのマテリアルフローを、表 5.6-2にプラスチックの種類別原材料輸出入量を、表 5.6-3に製品の輸出入量を示す。

5.6.2 リサイクル業者、エンド・ユーザーの現状

チュニジア国のプラスチックリサイクルでは業者、エンド・ユーザーの区分はない。再生業者（エンド・ユーザー）が直接回収に関わっている。食品工場、樹脂加工工場、農業ポリエチレン、シャンプー工場から直接回収している。ヴァージン原料が800～1,000 DT/tonであるのに対し、回収されるリサイクル原料の価格が400～600DT/tonにもなり、経営は大変厳しい。1,000 ton/y以下の取扱量の工場が数箇所あるが、単純再生が殆どで、一部複合再生品を作っている。ボトル用ケース、ポリバケツ、ポリドラム、ブラシ等の製品を作っているが、品質は良くない。

図 5.6-1 プラスティックマテリアルバランス

(単位：千トン/年)



(注) このバランスには他品目の輸入品の包装材として入るプラスチックは含まれていない。(推定で3.0千トン/年位か)

表5.6-2 プラスチック材料輸出入高

	1995			1996			1997		
	輸入高	輸出高	使用量	輸入高	輸出高	使用量	輸入高	輸出高	使用量
ポリエチレン	46,700	nil	46,700	54,700	100	54,600	58,800	100	58,700
ポリプロピレン	14,900	nil	14,900	18,400	200	18,200	17,700	nil	17,700
ポリスチレン	9,300	nil	9,300	10,400	nil	10,400	8,900	nil	8,900
塩化ビニール	26,200	200	26,000	30,800	200	30,600	28,900	nil	28,900
アクリル	2,100	100	2,000	2,300	nil	2,300	2,600	nil	2,600
ポリエステル他	7,000	400	6,600	6,900	200	6,700	10,300	600	9,700
ポリウレタン他	8,400	nil	8,400	7,400	nil	7,400	9,400	0	9,400
アセテート他	1,600	200	1,400	1,700	300	1,400	2,000	100	1,900
その他	5,000	1,200	3,800	1,900	200	1,700	2,300	2,200	100
合 計	121,200	2,100	119,100	134,500	1,200	133,300	140,900	3,000	137,900

(注) テュニジア国は石油化学工業が発達していないため、プラスチック材料は全量輸入に頼っている。従って、
 “国内生産”の欄は除外した。尚、輸入相手国は中近東諸国が主体である。

表5.6-3 プラスチック製品輸出入高

単位: トン/年

	1995			1996			1997		
	輸入高	輸出高	使用量	輸入高	輸出高	使用量	輸入高	輸出高	使用量
プラスチック チューブ	1,600	300	1,300	2,300	600	1,700	2,600	700	1,900
プラスチック 板、シート、テープ	9,700	4,100	5,600	9,500	2,000	7,500	11,300	800	10,500
プラスチック 箱、袋、ボトル	3,600	1,400	2,200	4,000	1,200	2,800	4,900	1,000	3,900
プラスチック 内装材	400	0	400	400	nil	400	700	nil	700
家庭雑貨、食器等	300	nil	300	400	nil	400	500	nil	500
プラスチック 廃棄物、くず	nil	200	-200	700	900	-200	900	100	800
その他	5,800	1,900	3,900	5,900	1,400	4,500	8,100	1,800	6,300
合 計	21,400	7,900	13,500	23,200	6,100	17,100	29,000	4,400	24,600

表5.6-4 プラスチック材料およびプラスチック製品輸出入価格

単位: DT/ton

品 目	輸入価格	関税率(%)	付加価値税率(%)	輸出価格	備 考
ポリエチレン	990-1045	20	17	1145	
ポリプロピレン	877	20	17	-	
ポリスチレン	875	20	17	-	
塩化ビニール	806	20	17	-	
アクリル	1369-2838	20	17	-	
ポリエステル	1172	20	17	-	
ポリウレタン	2341	30	17	-	輸入量少ない
ポリエチレンチューブ	2453	31	17	2210	
ポリプロピレンチューブ	5652	31	17	-	
ポリエチレンくず	169	20	17	-	
ポリスチレンくず	-	20	17	368	
塩化ビニールくず	282	20	17	-	

5.6.3 リサイクル・処理・処分フロー

チュニジア国では前述のように、単純再生が主体である。そのリサイクル処理処分フローを添付資料に示す。リサイクルされているプラスチック量は数千～一万ton/y弱であり、消費量の5%前後にしか過ぎない。今後、燃料としての利用が促進されると、リサイクル量は大幅に増えると考えられる。

5.6.4 発生源、製造メーカー（エンド・ユーザー）での望ましい対応

単純再生の場合、異物・異種の樹脂の混入を避けなければならない。樹脂の種類がはっきりした廃プラスチックが原料として貴重である。従って、発生源では、異物の混入、異種の樹脂が混入しないように注意する必要がある。製造メーカーでは、添加剤を加えて耐衝撃性を増したり、そのほか、きめ細かな工夫をこらして、樹脂の性能を高めるよう、技術の向上に努める必要がある。

5.6.5 回収システムの整備

単純再生で作られる製品の品質が良くないこともあり、販路が開拓できないの現状である。そのため、リサイクル・再生業者とも経営的に大変苦しい状況にある。単純再生、複合再生ともに限界があり、これ以上の発展は大きく期待できない。近い将来、チュニジア国でも、サーマルリサイクルが主流になると、予想される。この時、本格的な回収システムが必要になる。輸送効率を上げるため、減容化リサイクル工場も必要になる。

5.6.6 望ましいリサイクル技術、プロセス

廃プラスチックのリサイクル技術には、幾つもの方法がある。大きく分けると、再生利用するマテリアル・リサイクルとエネルギー源として利用するサーマル・リサイクルである。マテリアル・リサイクルにはチュニジア国でも採用されている単純再生と複合再生がある。サーマル・リサイクルには熱分解油化や固形燃料として再利用する方法、また、単純に焼却熱を利用する場合もある。世界的にも、いろいろな議論がなされてきたが、リサイクルコストが常に、Feasibilityのポイントになる。最近の各国の方向は熱エネルギーの利用方向である。製鉄、セメント工業のエネルギー源としての再利用や発電用のエネルギーとしての活用である。

1997年のチュニジアにおけるプラスチック消費量は17万tで、1994年の日本における消費量966万tの約60分の1であるが、ここ3年間毎年10%と急速に増加しつつあり、そのリサイクルの促進は今後の大きな課題である。その対応を検討する上で日

本におけるリサイクルの現状は参考になると考え、要約したものを以下で紹介する。

(1) 主要プラスチックの生産量と用途

日本の主なプラスチックの種類別生産量と用途を表 5.6-5 に示す。

表 5.6-5 主要プラスチックの生産量と用途 (生産量統計1995年)

樹脂名	主要用途	生産量
ポリエチレンテレフタレート (PET樹脂)	フィルム・ビデオフィルム・カセットテープ・ペットボトル	610,000 t (4%)
高密度ポリエチレン	灯油缶・ボトル・家庭用品・コンテナ魚網・ロープ	1,244,000 t (9%)
ポリ塩化ビニール (塩化ビニル樹脂)	食品ラップ・農業・フィルム・ボトル卵パック・上下水道管・波板・床材電線被覆・繊維	2,270,000 t (16%)
低密度ポリエチレン	ポリ袋・ラミネート材・電気通信ケーブル被覆	1,950,000 t (14%)
ポリプロピレン	浴槽・浴用品・コンテナ・容器・水筒・包装材料・自動車機械部品・電気製品・注射器・ロープ	2,500,000 t (18%)
ポリスチレン	電化製品キャビネット・カセットケース・トレイ・電気部品・発泡スチロール・日用雑貨・園芸用品	1,480,000 t (11%)
ABS樹脂	電化製品キャビネット・玩具・自動車部品	540,000 t (4%)
AS樹脂 石油樹脂 ポリビニルアルコール メタクリル樹脂 ポリカーボネート ポリアミド(ナイロン) 他	ボールペン・容器の透明蓋 コート剤・塗料・インキ 食品ラップ・繊維 看板・鑑賞魚水槽 機械部品、哺乳瓶 魚網・ロープタイヤコード・哺乳瓶・機械部品	1,550,000 t (11%)
フェノール樹脂 ユリア樹脂 メラミン樹脂 不飽和ポリエステル樹脂 ポリウレタンフォーム エポキシ樹脂 他	プリント配線基盤・機械部品・接着剤塗料 ボタン・キャップ・合板接着剤 食器・家庭用品・配線器具 繊維強化プラスチック・浴槽・ヨット・漁船 充填剤・スポンジ エポキシ樹脂 他	1,890,000 t (13%)
合計		14,030,000 t (100%)

出典：東京リサイクルハンドブック '97 (東京都清掃局)

これを用途別の生産比率(1994年)で見ると、

表 5.6-6 用途別の生産比率(1994年)

フィルムシート	37.1%
機械器具分品	12.7%
パイプ・継ぎ手	11.9%
発泡製品	7.8%
日用品・雑貨	5.4%
建材	5.2%
容器	4.9%
合成皮革	3.6%
板	2.7%
強化製品	1.8%
その他	6.9%

出典：プラスチックリサイクルの基礎知識 (社) プラスチック処理促進協会

(2) プラスチックの生産量と排出量の推移

過去20年間のプラスチックの生産量と排出量の推移を示したものが図 5.6-2である。過去10年間に生産量、排出量ともに2倍近く伸びている。

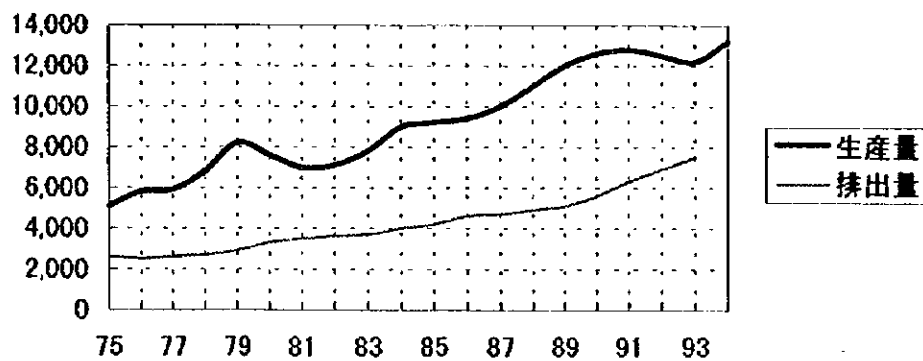


図 5.6-2プラスチックの生産量と排出量の推移 (1,000 t/年)

出典：プラスチックリサイクルの基礎知識 (社) プラスチック処理促進協会

この排出される廃プラスチックの品目と種類を1993年船橋市可燃ゴミの例で見ると、

品目別では

フィルム・袋類	39.3 %
ボトル類	20.4
カップ・トレイ類	17.2
容器包装材以外	12.0
その他容器包装材	9.2
編みヒモ類	1.9

プラスチックの種類別に見ると、

ポリエチレン	38.4 %
ポリスチレン	18.2
ポリプロピレン	12.9
PET	9.9
塩化ビニル樹脂	6.9
その他	13.7

出典：(社)プラスチック処理促進協会 都市ごみ再資源化のためのプラスチック基礎調査報告書(1994年3月)

(3) プラスチック製品・廃棄物・再資源化の実態

図 5.6-3のプラスチック製品・廃棄物・再資源化フロー に示す如く、材料或いは製品としてリサイクルされている量は、1994年の実績では排出量の僅か10%で、燃料として発電に利用されたものを含めても、有効利用率は23%に留まっている。

この再資源化を困難にしている原因は、プラスチック廃棄物の収集と分別の問題もあるが、

大きな問題として利用技術とともに再生・再利用のコストの問題、再生品の市場の開拓などがある。

(4) 廃プラスチック有効利用の実例

図 5.6-3のフローに示してあるように有効利用の方法として実用化されているのは、

a) 再生材料としての利用

主にプラスチック加工業及びプラスチック分品を使用する製造工場から排出されるプラスチック屑を原料としてペレットを製造し、新樹脂と同じように製品の原料として使用するもの。使用済みのプラスチックの利用例としては、包装用の緩衝材や魚箱をブロック状に溶融後再生原料メーカーに運び、そこでペレットに再生して原料として再利用することが広く行われている。

また飲料容器として急速に普及して来たPETボトルは、リサイクル法での第2種指定製品に指定され、そのリサイクルが始められているが、回収されたボトルはフレ

ーク状のPET樹脂に再生され、カーペット、ファイバー、成形品などの原料に使用されている。

b) 再生加工品として利用

使用済みの廃プラスチックを原料として、土木建設用資材として標識や境界用の杭、道路マット、街路樹支柱、集水マス、マンホールの蓋、柵、公園のベンチその他、

また包装資材用としてパレット、コンテナ、工具箱その他、漁業用のタコ壺などが作られている。

c) 燃料としての利用

セメントキルンの代替燃料、都市ごみと共に燃焼し発電に利用、製鉄所での高炉への吹き込みなど燃料としての有効利用などが、現状では最もコスト的市場的に有利な有効利用法と見られている。また保存・輸送が容易となる固形燃料化技術も開発され実用化計画が進められている。

(5) 再利用技術

a) 再生ペレット

原料プラスチック屑（プラスチック製品加工の際のバリ、成形不良品、型遅れ製品などの未使用プラスチック、あるいは発泡スチロールの使用済み製品）を樹脂別に分けた後異物を分離後破砕し、着色剤、安定剤、強化剤(物性を強化し加工性の向上を計る)を加えペレットとする。

b) 再生加工

この工程は前処理、熔融、成形の3工程からなる。前処理工程では、プラスチックを樹脂別、形状別に分別後、異物を除き、脱水、乾燥する。再生加工原料メーカーは、これを破砕品或いは顆粒品にして加工メーカーに供給する。熔融工程では樹脂別の原料を再生加工品の製品に合わせて混合し、着色をしたり製品により無機物を充填して熔融する。成形工程では熔融状態のプラスチックを金型あるいはロールで混練して製品とする。

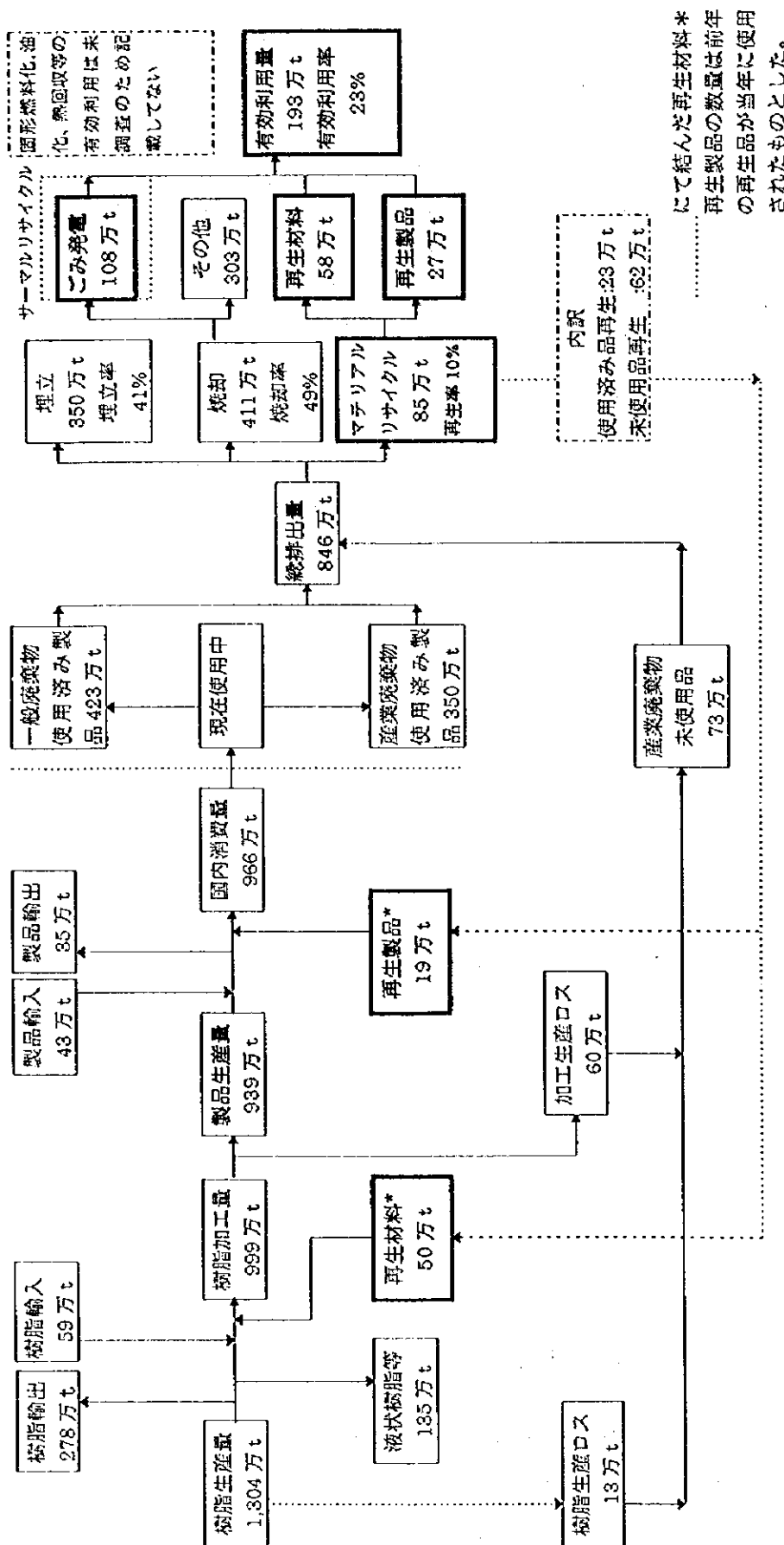
図 5.6-4に再生加工工程のフローを示す。

c) 油化技術

熱分解によりガソリンや重油・軽油、灯油など燃料油などを得る技術が開発されつつあり、小規模で実用化されている例もあるが、コストの問題で普及するまでに至っていない。

一般廃棄物に含まれる多種類のプラスチックを、同時に油化することを目的とした技術開発が進められている。そのフロー図を図 5.6-5に示す。

図 5.6-3 プラスチックの再資源化フロー（日本）



出典：(社)プラスチック処理促進協会

d) 減容積・固化技術

運搬の合理化や埋立の効率化のため各種の減容積・固化技術が開発され実用化されている。

この技術は機械的に圧縮プレスする方式と、加熱して溶融固化の2方式に別かれるが、前者は常温で減容率1/10と余り大きくないが、多少の異物混入も問題無い点が長所となっている。後者は異物混入を避ける必要があるが、減容率が1/15と大きいのが特徴である。

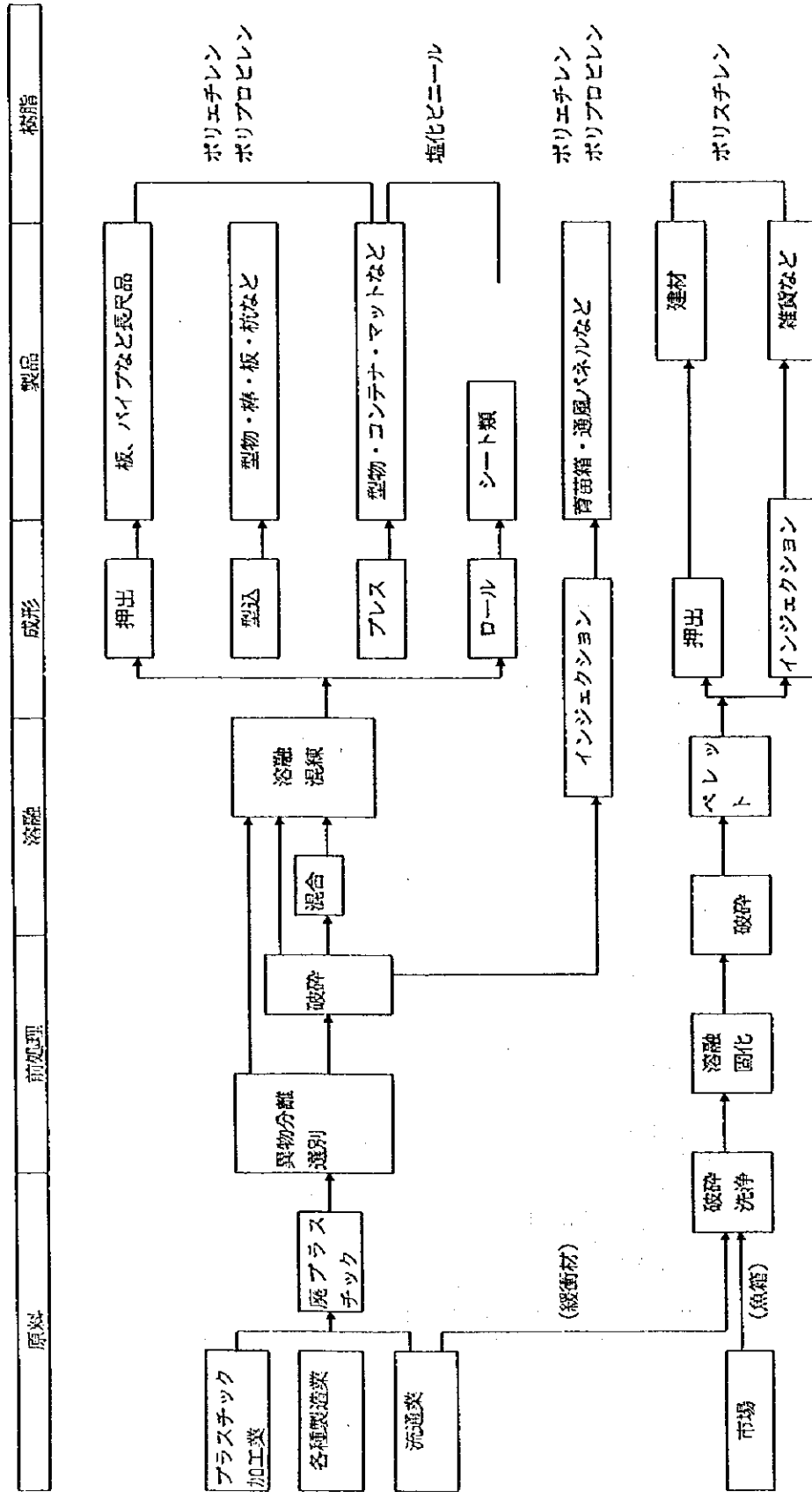
主要な技術を表 5.6-7に示す。

表 5.6-7 プラスチックごみの減容固化技術

処理方式	処理方法	加熱方法	溶融固化温度	固形物の形状	減容化率
圧縮梱包方式	油圧による圧縮テープバンド 梱包		常温	ペール状85×85×100cm	1/4～1/5
ホットバインド方式	油圧による三方からの圧縮	圧縮し、誘導加熱による	160℃以下	ブロック状	1/11～1/14
圧縮・溶融固化方式 (摩擦熱)	スクリュー方式により圧縮、摩擦熱により溶融		摩擦熱 100～130℃	径3～5mm 長さ5cm前後	1/15～ 1/20
ロータリーキルン方式	回転炉内に熱風を吹き込み、溶融し造粒する	熱風	200～250℃の熱風	5cm位の塊	1/11
収縮・減容・圧縮固化方式	湿潤熱風を炉内に直接噴射して、軟化、収縮、固化させる	熱風	250～380℃の湿潤熱風	例えば径22×50cmの塊	
溶融・圧縮固化方式	炉内に熱風を吹き込み収縮、軟化させ圧縮固化	熱風	180～200℃の熱風	ブロック状 7×40×50cm	1/20 1/30

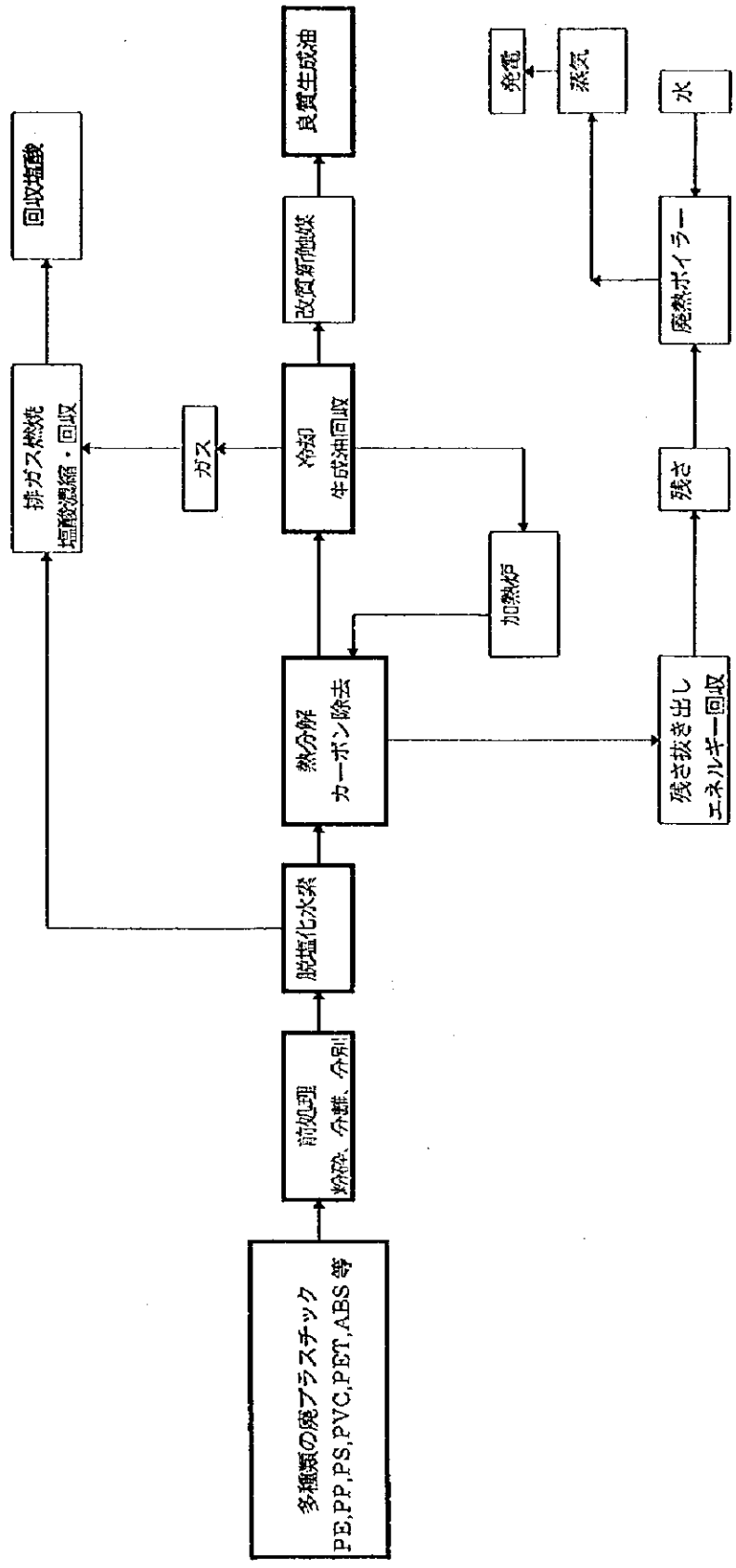
出典：(社)プラスチック処理促進協会

図 5.6-4 プラスチック再生加工工程フロー



出典：(社)プラスチック処理促進協会

図 5.6-5 プラスチック油化プロセス



出典：(社)プラスチック処理促進協会

5.6.7 エンド・ユーザーでの設備投資の方向

チュニジア国の再生業者は現状規模の単純再生では規模的に採算が取れないと考えている向きもあり、5,000ton/y規模なら採算が合うとの意見もある。しかし、現実には設備投資の動きはない。ある意味では、賢明である。実感として、投資意欲が出ないのである。世界的な動き、方向性にしたがって動くべきで、回収システムの整備と廃プラスチックの燃料化の方向で設備投資すべきである。この場合、燃料として使用する最終ユーザーも設備投資が必要である。

5.6.8 関係者の役割

チュニジア国では1998年1月1日包装・容器に関する施行令が施行された。回収が義務づけられ、プラスチックの回収が促進する。早急に、産業界、関係省庁一体となって、回収された廃プラスチックの利用の方向を決める必要がある。

5.7 廃タイヤ

5.7.1 リサイクルの現状

1996年で推定100万本のタイヤが廃棄されたと推定されている。廃タイヤは修理工場あるいは自動車解体工場が発生するが、乗用車のタイヤはたいていの場合再生不可能な状態まで使い尽くされている場合が多く、修理工場、自動車解体工場に一時保管あるいは敷地内に放置されている。バス・大型トラック用タイヤは一部再生工場において踏み面を貼り直して再生タイヤに加工される。年間1万本ほどが再生タイヤの土台としてリサイクルされている。

乗用車用の中古タイヤを輸入して、再生し、国内あるいは一部近隣諸国へ輸出している。

1990年以來のタイヤの生産本数を表 5.7-1に、1995年から1997年までのタイヤの輸出入量（トン数）を表 5.7-2と表 5.7-3に示す。

表 5.7-1 タイヤの生産本数（単位：千本）

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
乗用車用	232.9	252.5	307.8	283.9	237.9	248.8
小型トラック用	195.5	204.8	86.0	170.3	167.4	190.4
大型トラック用	51.8	52.5	45.2	53.6	57.7	65.3
農業用トラクター用	98.3	85.9	86.4	82.6	81.7	65.3
その他	-	-	0.8	11.5	29.2	13.4
合計	578.5	595.7	526.2	601.9	573.9	583.2

出典：Annuaire statistique de la Tunisie, mai 1997, p. 131, Institut national de la statistique

表 5.7-2 新品タイヤの輸出入（単位：トン）

	輸入			輸出		
	'95	'96	'97	'95	'96	'97
乗用車用	731	970	879	3,005	2,369	1,920
バス・トラック用	2,018	6,210	2,474	2,682	6,106	2,223
航空機用	25	17	14	0	0	0
バイク用	28	25	38	1	0	0
自転車用	133	135	111	2	17	0
その他	36	18	21	10	3	0
農業トラクター用	889	1,425	1,361	2,261	1,544	1,113
再生タイヤ航空機用	5	6	1	14	26	0
再生タイヤ乗用車用	0	0	0	0	61	0
特殊タイヤ	59	86	96	4	12	40
合計	3,924	8,892	4,995	7,979	10,138	5,296

新品タイヤは年間88万本が生産されている。このほか年間22万～30万本が輸入されている。輸入タイヤの半数は日本から、残り半数はヨーロッパから輸入されている。

表 5.7-3 中古タイヤの輸出入

年度	輸入			輸出		
	'95	'96	'97	'95	'96	'97
航空機用	3	5	14	0	0	0
自動車用	95	94	163	45	0	0
合計	98	99	177	45	0	0

5.7.2 リサイクル業者の現状

廃タイヤは修理工場でタイヤを交換した際、あるいは自動車解体工場での廃車解体の際に発生する。現状では乗用車用タイヤはすりきれるまで使い尽くされており、再生用の土台には適さないことが多い。このような再生不可能なタイヤは自動車解体業者が取り外した後、自工場の敷地へ放置あるいは野焼きで焼却している。

5.7.3 エンドユーザーの現状

タイヤの再生業者は数社あり、すべて小企業である。再生加工方法により2つのタイプがある。

①タイヤ踏み面にゴムシートを接着剤で貼り、物理的に溝を切り直す方法

②タイヤ踏み面にゴムシートを接着剤で貼り、加硫熱加工で溝を付け直す方法

後者の方法によればかなり完成度の高い再生タイヤができる。この方法を採用している業者は国内では1社のみである。この業者はもっとも規模が大きい業者で、年間5万本を再生し、出荷している。国内向け出荷が多く、10%を主にアルジェリアに向けて輸出している。この業者の再生タイヤの内訳を表 5.7-4に示す。

表 5.7-4 再生タイヤの再生本数と材料調達先

用途	年間再生本数	土台の調達先
乗用車用	6,000	ヨーロッパから輸入
小型トラック用	12,000	ヨーロッパから輸入
バス・大型トラック用	32,000	テュニジア国内で調達

バス・大型トラック用は年間10,000～11,000本が解体業者らによって持ち込まれるが、品質をチェックして、再生に向かないものは持ち込み者に戻している。

ユーザーの間では再生タイヤで十分使えるという認識が広まっており、再生タイヤの需要は増加傾向にある。

5.7.4 リサイクル・処理・処分フロー

(1) 乗用車用タイヤ

現在は再生不可能なまで使用されるため、使用後はほぼ全量廃棄されている。一部は公共処分場に持ち込まれているが、自動車解体業者の工場敷地内に放置されたり、不法投棄も多い。

(2) バス・大型トラック用タイヤ

国内で発生する廃タイヤの一部は再生されている。再生に適さなかったものは乗用車用と同様に処分あるいは不法投棄されている。

5.7.5 発生源・製造メーカーでの望ましい対応

タイヤ交換の際の廃タイヤは、バス・大型トラック用はタイヤ業者あるいは車両所有者が直接タイヤ再生業者に持ち込み、再生の土台になり得る状態の良いものは業者が買取っている。乗用車用については状態の良いものが少なく、再生業者として国内の廃タイヤの買い付けには消極的である。再生不可能な廃タイヤの用途としては、セメント工場等の燃料として使用する方法が考えられるが、現在のところ、自動車解体業者そのものが零細で、体系だった回収、燃料利用は不可能である。

5.7.6 回収システムとリサイクル工場の整備

(1) バス・大型トラック用

バスの中古タイヤは、現在タイヤ交換業者や所有者自身が再生工場へ直接持ち込んでおり、今後再生業者が増加した場合にはこの方式がなお定着すると考えられる。

(2) 乗用車用

乗用車用のタイヤは再生不可能なまでに使い尽くされていることから、積極的な燃料利用を検討することが望ましい。この場合大気汚染防止装置を完備することが必要であり、当面セメント工場などでの利用が有望であると考えられる。ただし、現状の自動車解体業者のほとんどは零細企業で、個々の業者からの発生量は少ないため、解体業者自身が利用工場に持ち込むことはコスト高となり不可能である。しかし、自動車解体業者は相互に集中して立地する傾向があるため、利用側が回収する意向があれば系統的に回収できる可能性はある。

5.7.7 望ましいリサイクル技術・プロセス

(1) タイヤ再生の場合

タイヤ面のゴムを貼り直し、加圧加温により溝を再生する方法は、物理的に溝を付け直す方法に比べ、完成度が高く、推奨すべき方法である。

(2) タイヤを代替燃料として使用する場合

再生タイヤであってもいつかは寿命を終える。最終的な利用方法は代替燃料としての利用であるが、廃タイヤをチップ化する設備および大気汚染防止装置を備えたボイラーで適切に利用する必要がある。

5.7.8 エンド・ユーザーでの設備投資の方向

現在は、廃タイヤ利用炉は存在しない。セメント工場の燃料としては世界各地ですでに利用されている。チュニジアでもセメント製造業が6社ある。今後の燃料利用が期待される。

5.7.9 関係者の役割

(1) タイヤ再生の場合

自動車解体業者から再利用可能なタイヤを効率的に回収する必要がある。このため、定期的に解体業者から回収するプログラムを造り、自動車解体業者の協力を得られやすくする。

(2) 代替燃料利用の場合

燃料として利用する受入施設で、タイヤを利用できる燃焼施設を整備する必要がある。セメント工場が有望である。一方、燃料として安定供給するシステムが必要であり、この用途でも廃タイヤを回収する業者の存在が必要である。

5.8 有機汚泥

5.8.1 リサイクルの現状

産業廃棄物排出状況調査の結果では、無機・有機および混合汚泥は合計125万トン／年発生している。このうち有機汚泥は78万トンを占めると考えられる。以下の製造業が有機汚泥の発生源になっていると考えられる。

- ① 食品工場
 - ・乳製品工場
 - ・ビール・飲料水工場
 - ・オリーブ油工場
 - ・精糖工場
 - ・缶詰工場（農産加工・水産加工）
- ② 石油化学
- ③ 製紙・パルプ製造
- ④ 皮革加工
- ⑤ と畜場
- ⑥ 下水処理施設

現在は有機汚泥の再利用はほとんど行われていない。ビール工場から発生するビール粕は家畜の飼料として利用されているが、特殊な例である。

これまでのところ下水道汚泥は乾燥後、全量、農地に散布されている。下水処理水も利用されている。

5.8.2 今後のリサイクルの方向性

食品工場の汚泥をコンポスト化する方法は有用ではあるが、製品であるコンポストをどのように分配し、採算をとるかが問題となる。現在は十分な排水処理が行われておらず、本来有機汚泥として回収されるものさえ、排水中に混ざったまま下水道あるいは公共水域へ放流されているのが現状である。排水処理を徹底した結果、発生した有機汚泥の処理が問題になり、リサイクルを検討する段階に至る。第1段階として排水処理を徹底していく必要がある。

5.9 無機汚泥

5.9.1 発生源での排出、リサイクルの現状

無機汚泥は、一般に酸、アルカリによる表面処理工程、エッチング工程、電気めっき工程の排出処理に伴って発生する。この無機汚泥は、チュニジアではあまり発生していない。チュニジアでは工場の視察を通じて見られた無機汚泥は、大規模製造工場の酸洗い排水の中和汚泥のみであった。いくつかのめっき工場では、排水の処理を行っていないため汚泥は発生していない。将来的には、排水を下水道に放流するにあたり排水処理が必要とされる。排水の有害性と汚泥のリサイクルの面からチュニジアではめっき汚泥の処理が主要となることから以下ではめっき汚泥に焦点をあてることとする。

日本ではめっき汚泥は年間約40万トン発生(1991年)している。酸・アルカリの廃水および有害金属を含む廃水を水域に排出することは水質汚濁防止法によって規制されており、排出基準値に適合するように処理をしなければならない。そのためめっき廃水から有害成分を除去したり、酸・アルカリの中和処理をすることが不可欠なため多量のめっき汚泥が発生している。

チュニジア国のメッキ工場の一つであるAFRICHROME社では、ニッケル・クロムめっき工程を有しているが、排水処理施設をまだ設置しておらず、現在その導入が検討されている。

一般的な電気めっき工程には前処理(脱脂、酸洗)、後処理(水洗)が含まれる。前者からは酸性とアルカリの廃水が発生する。後者からはめっき液の洗浄廃水が発生し、その廃水にはめっき金属が含有される。これを排水処理するさいに金属を含むめっき汚泥が発生する。日本では、めっき汚泥の再利用は、製錬工場に戻すのが一般的であるが、その場合、汚泥中の金属含有量、金属の価値などが重要になる。めっき工程で尤も一般的に用いられるクロムの金属汚泥は、クロムの価値が低いこともあり、リサイクルが一般的に成り立たない。

表5.9-1にめっき汚泥の山元還元での受け入れ条件の例を示す。

表 5.9-1 めっき汚泥の山元還元での受け入れ条件(例)

含有金属	含有率・条件
Cu	Cu 15%以上、水分75%以下
Ni	Ni 15%以上、水分75%以下
Zn	Zn 30%以上、水分75%以下
貴金属	Au 10g, Ag 100g/ton 以上、水分75%以下

めっき液の金属成分のうち、最終的に素材にめっきとして付着するのは15~20%

に過ぎず、くみ出し液として排出されている部分がほとんどである。くみ出された分のめっき液は補充されることになる。めっき液が廃水に移行しないようにすることが重要となる。

5.9.2 処理・リサイクル業者の現状

製鉄工場で発生している無機汚泥は、塩酸を用いて酸洗いした廃水の中和により発生するものである。中和材には消石灰が用いられている。発生した無機汚泥には CaCl_2 が含まれるが、その資源価値が低いこともあり、再利用は一般に難しく、チュニジア国では埋立処分されている。現在無機汚泥からの金属回収は行われていない。

リサイクルの条件として、まとまった排出量があること、回収・輸送が容易であること、めっき金属の価値が高いこと、需要があることなどがある。将来的にめっき工場からの排水が規制され、汚泥が大量に発生するようになると、リサイクルされる可能性は高くなる。

5.9.3 汚泥の発生抑制と望ましいリサイクルの方向

汚泥の発生を抑制する方法としては、排水等を少なくする方法、排水中の金属成分を回収する方法とかがあげられる。

無機汚泥のリサイクルの方法としては、汚泥中の金属を回収する方法が最も有効な方法である。この回収をより容易にするためには、価値の高い金属ごとに汚泥を取り出すことが望まれる。本節では、汚泥の発生抑制およびリサイクルを可能にするための排出処理の方法について紹介する。

(1) 酸洗い排水の発生抑制

表面処理工程やめっき工程を有する工場ではさび落しのために酸洗いが行われる。酸には一般には硫酸か塩酸が用いられる。ここで発生する洗浄排水を再利用することにより、排水量の削減が可能となる。たとえば硫酸を用いる場合、硫化第一鉄(FeSO_4)を含む洗浄排水が発生することになる。この排水は冷却することにより硫化第一鉄の結晶を析出させ、比較的簡単に回収することができる。分離後の酸性排水は濃度を調節し、洗浄水として再利用できる。回収した硫化第一鉄は、日本では6価クロムの還元剤、凝集沈殿剤などに利用されている。ただし排水中に不純物を混入させないようにしなければならない。硫化第一鉄を回収することは技術的に難しくないが、これに不純物が混入すると分離に手間がかかることがあり、リサイクル業者からは好まれないからである。

酸の消費量を抑制するには、被めっき物に付着してくみ出される酸の量を極力減らすことが必要である。図5.9-1に示すように、酸洗い槽とそれに続く水洗槽との間

に酸液の回収工程を設け、回収した酸は酸洗い工程に還元される。なお、酸消費量の抑制の程度は、被めっき物の表面積、錆の発生程度、あるいは酸の濃度等によって異なるため、一定ではない。しかし水洗工程の水消費量も大幅に低減でき、また中和による水酸化物の発生を抑制するメリットがある。

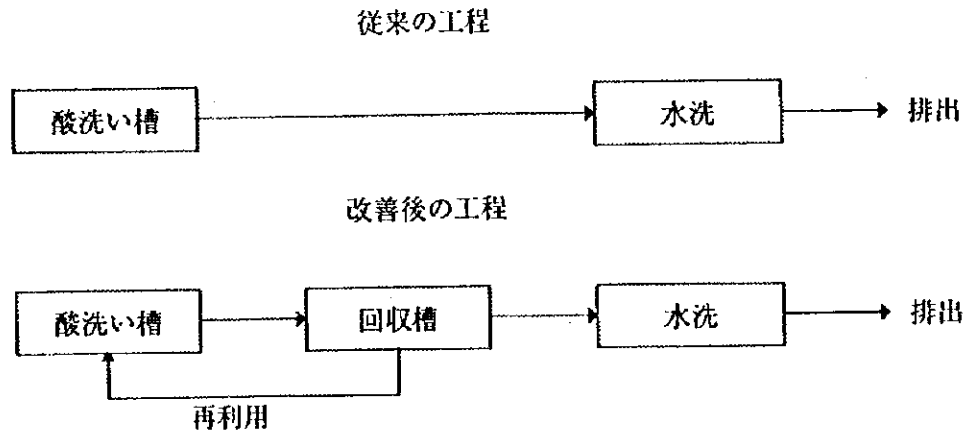


図 5.9-1酸洗い工程の改善

(2) めっき排水・汚泥発生抑制と金属の回収

重金属を含有するめっき汚泥の資源化を考える前に、汚泥が生成する現行の廃水処理プロセスを根本から改めて、イオン交換法、イオン交換膜法のように汚泥を発生させないばかりか、処理水の再利用と重金属の資源回収が容易な方法に改めることが必要である。また酸洗いの排水と同様に、廃水の発生量を抑制することが重要であり、少量かつ（めっき金属分が）濃厚な廃水が発生するような工程に改善すべきである。また、金属回収を容易にするには銅めっきやニッケルめっきの排水ごとに処理することが望まれる。

a) 排水の抑制

廃水の発生量を抑制する方法としては、①くみ出し液の再利用と②水洗用水の抑制とがある。

① くみ出し液の排出規制

被めっき物をめっき浴から揚げると、密着していないめっき液（くみ出し液）までがくみ出されてしまうため、水洗いすることになる。このくみ出し液を含む水洗用水をめっき浴槽へ還元することで（場合によっては濃縮する）、廃水の発生量を抑制できる。

くみ出し液を少なくすることは、水洗用水の使用量を抑制するだけでなく、資源の効率利用につながるため、めっき処理直後の被めっき物を振動させるなどしてく

み出し液をめっき浴槽へ滴下させることがある。

② 水洗用水の抑制

一般に水洗工程は数段階に分かれ、めっき浴直後の水洗槽の水の金属濃度が高くなり、最終槽が低くなる。この水洗工程での排出を少なくする方法として、多段向流洗浄が一般的である（図5.9-2）。この洗浄方式は、後槽の排水を前槽の洗浄水として利用していく方法であり、最終的に発生する水量を少なくすると共に、排水中の金属イオン濃度が高くなるため排出処理のための薬材が少なくて済み、かつ汚泥中の金属含有率を高めることが可能となる。水洗水を有効利用でき、水洗槽①のめっき金属濃度（下図ではニッケル）が高くなる。また従来の方式に比べて、必要とされる用水量は、3段水洗で約10分の1に抑制、5段水洗で約50分の1にまで抑制することができる。

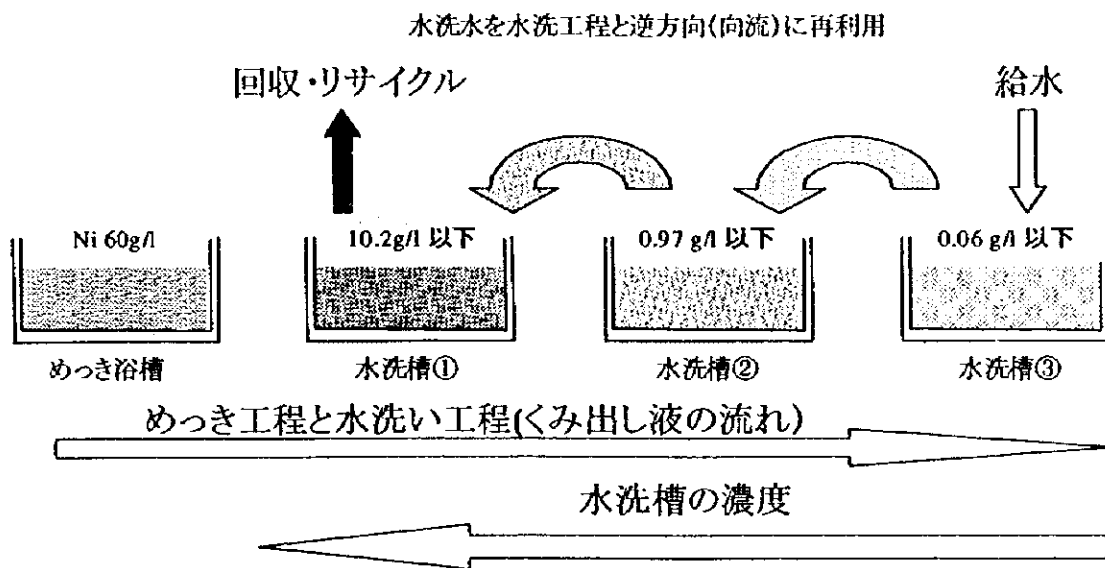


図 5.9-2 水洗廃水のリサイクルに適した水洗工程(多段向流洗浄)

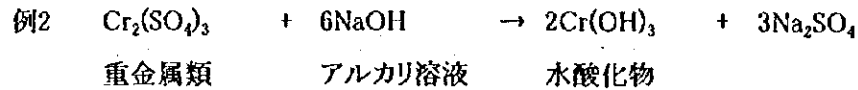
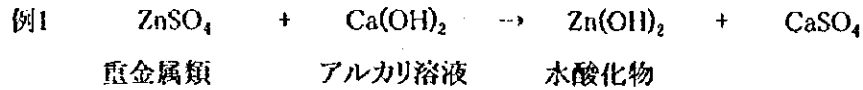
出典：村田徳治著「最新リサイクル技術の実際」

b) めっき金属の回収

めっき金属の回収には、①山元還元方式や②クローズド・システムがある。

① 山元還元方式

日本では従来、重金属を含むめっき排水の処理にアルカリ溶液を注入し、金属水酸化物として沈殿させて固液分離を行ってきた。また沈殿性を高めるため有機高分子系の凝集材を加えることもある。現在チュニジア国では、水洗排水はこうした処理をせずに排水されている。水酸化物生成反応の例を以下に示す。



生成水酸化物は含水率99%のスラリーとして分離排出され、脱水処理を経て汚泥（含水率80%以下）となる。汚泥中の金属を製錬工程により回収することは可能であるが、汚泥中の金属成分が高いこと、汚泥が乾燥していることが条件となる。クロムや亜鉛の含有汚泥は一般には金属としての価値が低いので、ティッピング・フィー（引取り料）を払わないと山元還元できない。ニッケルや銅の含有率が高ければリサイクル業者が購入するであろう。

② クローズド・システム

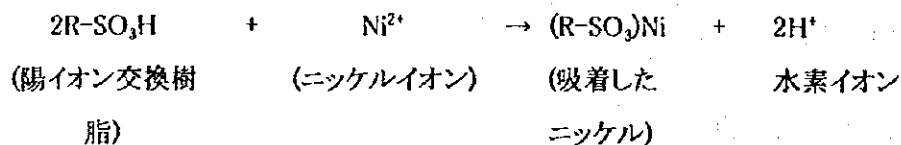
水洗後処理の廃水に含まれるめっき金属は、有害であると同時に価値ある資源でもある。これを回収して再資源化することは、環境影響の抑制、リサイクル効果の両面から好ましい。前述の多段向流洗浄にイオン交換樹脂やイオン交換膜を用いたクローズド・システムを採用することにより、汚泥を発生させずに金属回収が可能である。このシステムは、あらゆる金属のめっき工程で採用可能である。

イオン交換樹脂とはイオンを吸着する特殊な粒状のプラスチックである。大きく分けて陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂の2種類があり、これは回収する金属の属性により決まる。以下に①ニッケルめっき廃水の処理、②クロムめっき廃水・クロメート処理廃水の処理技術を示す。

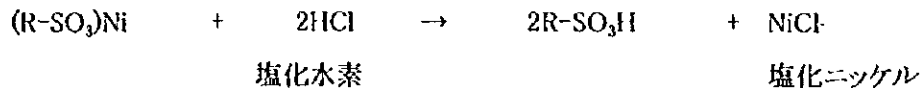
① ニッケルめっき廃水の処理（イオン交換樹脂を用いたバッチ式多段向流洗浄）

バッチ式多段向流洗とイオン交換樹脂の組合わせで、くみ出し成分をすべて回収できる。ニッケルめっき液は通常50～60℃に加熱されているので、絶えず水分が蒸発している。そこで最も濃度の低い水洗槽(図5.9-1の水洗槽③)の用水をイオン交換樹脂を通して循環させ、絶えずくみ出されたニッケルを回収し、純粋に近い水質を保持する。蒸発分は水道水あるいはイオン交換水を補給するだけでよい。

イオン交換樹脂によるニッケルイオンの吸着は以下の式で表される。



吸着したニッケルを塩化水素により還元させる。これを再生（脱離）反応と呼び、この場合以下の式で表される。



回収した塩化ニッケルは、精製してニッケルめっき用薬品として再使用できる。

②クロムめっき廃水・クロメート処理廃水の処理（イオン交換樹脂によるクロム酸の回収）

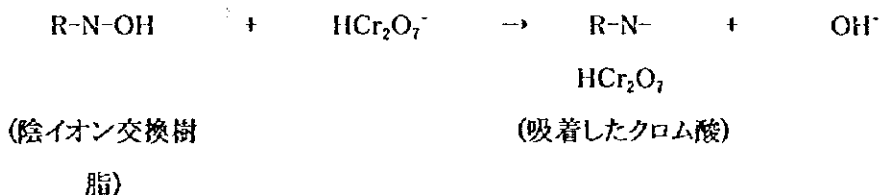
クロムめっき廃水・クロメート処理廃水など六価クロム（クロム酸イオン CrO_4^{2-} ・重クロム酸イオン CrO_7^{2-} ）を含む廃水から、小型可搬式の陰イオン交換樹脂筒を用いてクロム酸イオンを吸着除去する。クロム酸を飽和吸着したイオン交換樹脂筒は再生工場に集めて再生し、再生廃液中のクロム酸塩を再利用する。したがって、クロムを含む廃水処理汚泥が発生しない。

日本では、このイオン交換樹脂筒をレンタルし、飽和吸着後に回収する業者があり、資源化に役立っている。

システムの概要：

可搬式の陰イオン交換樹脂筒は、原則として同一規格品を常時2本直列に接続して運転する。クロム酸を含有する廃水は、廃水貯蔵槽からポンプアップされ、ろ過器を経由して1本目の交換筒に送られ、次に2本目の交換筒を通り、クロム酸を完全に吸着除去した後に排出される。この廃水は多くの場合、水洗工程で再使用することができる。

吸着反応は以下の式で表される。



クロム酸回収クローズド・システムのフローシートを図5.9-3に示す。

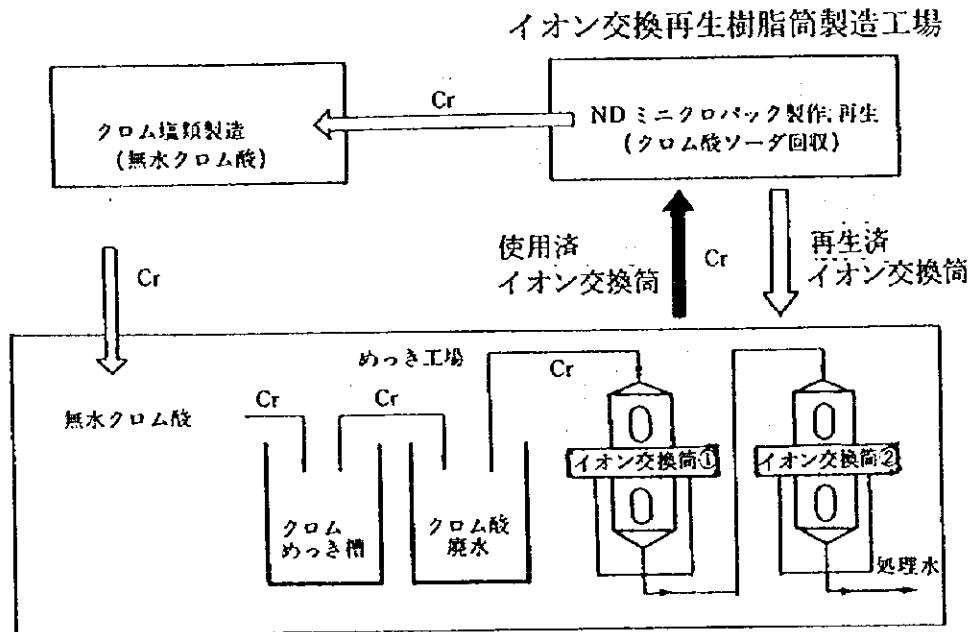
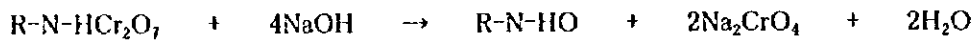


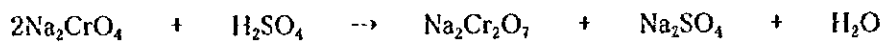
図 5.9-3 クロム酸回収クローズド・システムのフローシート

出典：最新リサイクル技術の実際

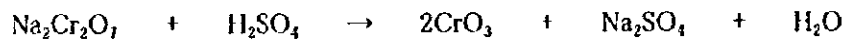
飽和した樹脂は、クロム酸化合物製造工場が引き取り、工場においてカセイソーダを用いて再生を行う。再生（脱離）反応は以下の式で表される。



溶離したクロム酸ソーダ溶液に硫酸を加えて濃縮・晶析工程を経て、重クロム酸ソーダを回収する。



更にこの重クロム酸ソーダと硫酸を溶解し、生成した硫酸ソーダを分離して無水クロム酸を得る。



以上のクロム化合物の回収フローシートを図5.9-4に示す

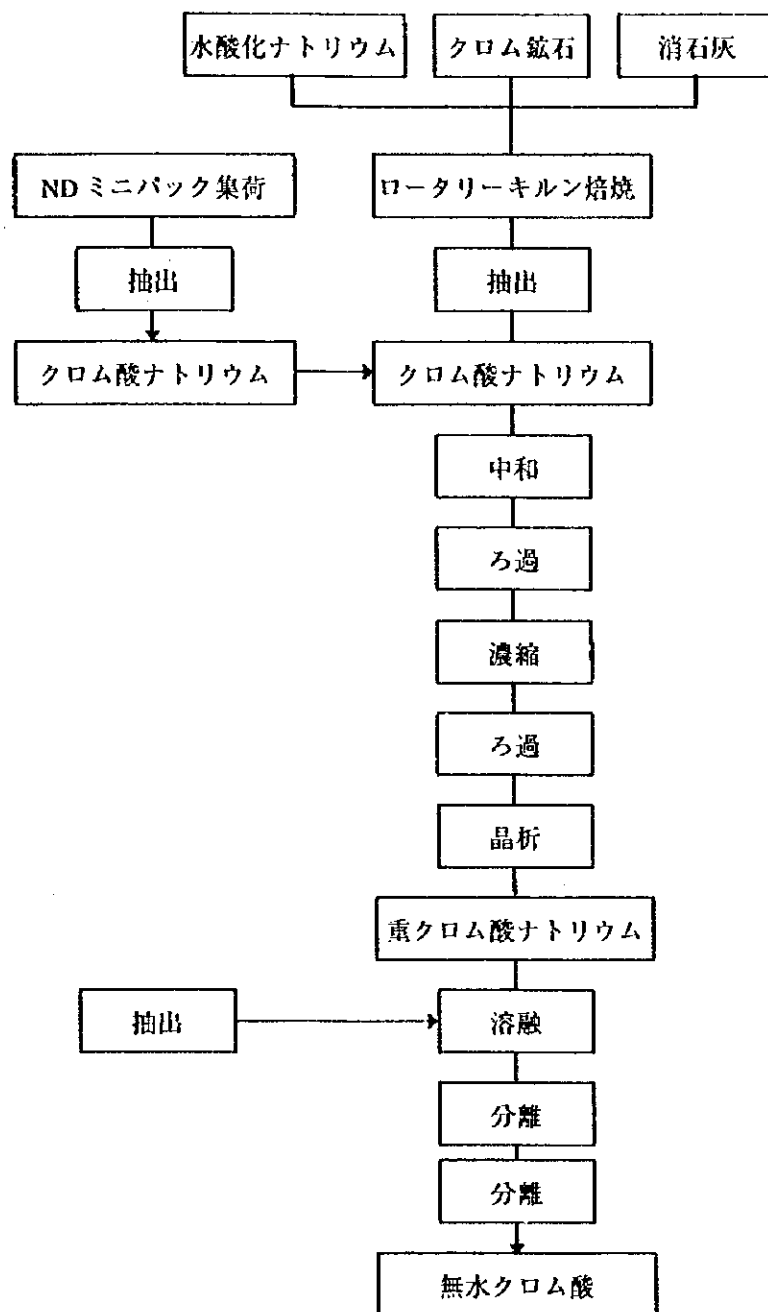


図 5.9-4 クロム化合物の回収フローシート

出典：最新リサイクル技術の実際

5.9.4 テュニジア国での対応方向

チュニジア国では、酸洗工程およびめっき工程からの廃棄物の抑制のため①汚染物質の環境への排出抑制、②廃水中に含まれる重金属の回収、③汚泥からの金属回収を目標とすることが望まれる。

チュニジア国内のめっき工場では、排水処理装置の導入の必要性については十分

認識している。すでに訪問調査した一工場ではONASの指導を受けて、排水処理装置の導入を検討している。その設計を海外の装置メーカーに依頼している。このような個別な対応では、提出された提案を正しく評価することは難しいであろう。

政府の支援のもとで共通の工程を有する事業者を集めて、勉強会やセミナーを開催することが望まれる。本節で示した内容をブレイクダウンした専門のガイドラインを作成することが望まれる。このガイドラインの作成をプロジェクト化し、専門家の派遣、関係者による先進国への視察などにおいて、援助機関の活用が望まれる。

5.9.5 関係者の役割

無機汚泥分を含む廃酸、廃水のリサイクルとは、発生源での異物混入を防ぐこと、単質・高濃度を保つことといっためっき工場側の努力が最も重要である。したがってチュニジア国では各めっき工場での取り扱いに関するガイドライン等で貯蔵の方法などを明確にし、廃酸、廃水のリサイクルを容易にする必要がある。

5.10 スラグ

5.10.1 発生源での排出、リサイクルの現状

スラグは、高炉、電気炉など金属の溶融プロセスでの不純物として発生するものである。一般に鉄製造プロセスである高炉、転炉、電気炉で発生するものを鉄鋼スラグ、非鉄の製錬等で発生するものを非鉄金属スラグと呼ぶ。チュニジア国では鉄鋼スラグが大量に発生しており、同国の全スラグ発生量の大部分を占める。鉄鋼スラグの主要な発生源は、国内最大の製鉄所であるEl Fouladh社である。その他の発生源はいくつかの小規模鋳物工場である。

鉄鋼スラグには2種類あり、高炉で発生する高炉スラグ、転炉、電気炉で発生する製鋼スラグに分かれる。チュニジア国では、El Fouladh社からしか排出されていない。発生量は、高炉スラグが約30,000トン/年、製鋼スラグは約38,000トン/年である。一般に鉄1トン製造するさいのスラグ発生率は、高炉スラグが317kg、転炉スラグが130kg、電炉スラグが100~200kgである。

鋳物工場からのスラグは自動車部品などの製造工場からで92.5トン/年と推定される。

非鉄金属スラグは、再生アルミニウム地金製造業、アルミニウムダイキャスト業、鉛バッテリー製造業、溶解亜鉛めっき業、亜鉛ダイキャスト業などで発生している。主要な再生アルミニウム地金製造業はチュニジア国内に4社あり、ドロスと呼ばれる非鉄金属スラグが発生する。この発生量は生産量の5~10%程度であると考えられる。鉛バッテリー製造業は3社あり、そこで自動車のスターター用の蓄電池の鉛電極の再生に伴い、スラグが発生している。生産量の3~5%のスラグが発生している。調査団が訪問した再生アルミニウム地金製造業、アルミニウムダイキャスト業の現状を表5.10-1に示す。

表 5.10-1スラグ・ドロスの発生状況（製鉄業を除く）

排出者(業種)	廃棄物	発生量	処理・リサイクル状況
FONDERIE REKIK社 (再生アルミニウム地金)	アルミニウムドロス (含有率 不明)	25~50トン/ 年	操業以来貯蔵している。
FONDAL社 (アルミニウムダイキャスト)	アルミニウムドロス (含有率 不明)	不明	ポーランドへ輸出。
NOUR社 (鉛バッテリー最大手)	鉛スラグ (含有率3~5%+)	1,000トン/年 (*1)	公共埋立処分場へ搬入。
ASSAD社 (鉛バッテリー)	鉛スラグ (含有率 不明)	1,000トン/年	公共埋立処分場へ搬入。
SAGRI社 (溶解亜鉛めっき)	亜鉛マット(スラグ) (含有率60~70%)	60トン/年	仲介業者に売却し輸出されている。800DT/トン。
FONDERIES J.F (亜鉛ダイキャスト)	亜鉛ドロス (含有率 不明)	40~45トン/ 年	輸出されている。

(*1)推定量: ASSAD社より生産量が多いため、1,000トン/年以上は発生していると推定。

チュニジア国の製鉄業以外からのスラグ類発生量は、最低でも年間2000~3000トンの範囲と推定される。

チュニジア国内で発生するスラグのうち、高炉の水砕スラグ、アルミの再生に伴うドロス、溶融亜鉛めっき工程でのマットは、再利用されている。

高炉スラグは、高炉セメント原料として16,000トン/年がチュニジア国内のセメント工場に売却されている。他に14,000トン/年の高炉スラグと製鋼スラグの全量が、近隣の埋立処分されている。

セメント原料がスラグの主要な再利用先であるのは日本も同様であり、1995年の日本の高炉スラグ総発生量22,678千トンのうち65.2%にあたる14,788千トンがセメント用として再利用されている。その他は建設土木工事用の骨材として大半が利用されている。

ただし国内に各金属の精錬業が存在しないため、回収後そのまま輸出されているようである。非鉄金属スラグのうち、アルミ再生工場のドロスは、国外の精錬工場に輸出されている。また亜鉛のマットは亜鉛の含有率が60~70%と高い。亜鉛マットは同工場で年間60トン発生しており、これも国外の工場に輸出されている。

5.10.2 鉄鋼スラグのリサイクル技術

(1) スラグの成分

鉄鋼業から発生する高炉スラグの化学組成は、主に一般に酸化カルシウム(CaO)、シリカ(SiO₂)、アルミナ(Al₂O₃)であり、セメントの組成主成分に近い。したがって高炉スラグはセメント原料として利用されるのが一般的である。表5.10-2にセメント(ポルトランドセメント)、高炉スラグ、転炉スラグ、電気炉スラグ(酸化スラグ、還元スラグ)の化学組成例を示す。

表 5.10-2セメント、各種スラグの化学組成例 (%)

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	T.Fe	Fe ₂ O ₃	S	TiO ₂	CaO/SiO ₂	SO ₃
セメント	21	64	6.5	-	2.5	-	2.5	-	-	3.05	1.3
高炉スラグ	33.8	42.0	14.4	0.3	6.7	0.3 *	-	0.84	1.0	1.24	-
転炉スラグ	13.8	44.3	1.5	5.3	6.4	17.5	-	0.07	1.5	3.21	-
電気炉スラグ (酸化スラグ)	19.0	38.0	7.0	6.0	6.0	15.2	-	0.38	0.7	2.0	-
電気炉スラグ (還元スラグ)	27.0	51.0	9.0	1.0	7.0	1.5	-	0.50	0.7	1.89	-

注) T: 全, "*" はFeOとして

出典：最新リサイクル技術の実際、廃棄物処理ハンドブック

(2) 高炉スラグのリサイクル

高炉スラグは鉄1トン当たり317kg（スラグ比という）の割合で発生するが、鉄鉱石の鉄の含有量によって変化する。高炉スラグの化学組成は高炉の操業条件や鉄鉱石の品位などにより異なる。スラグ処理のタイプを表5.10-3に示す。

表 5.10-3 スラグ処理方法

処理方法	種類
冷却速度	徐冷、急冷（水冷）
成分調整	添加物で調整、無調整
加熱処理	溶解状態のまま再加熱 凝固した後、再溶解 自己顕熱のみで処理

最も一般的に行われているのが冷却速度をコントロールする処理方法である。徐冷と急冷ではスラグの性質が異なり、また組成にもかなりのばらつきが見られる。

a) 徐冷スラグのリサイクル

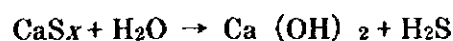
徐冷スラグとは、熔融スラグ（のろ）をノロ畑へ3～50mmの厚さに流し出して空冷または空冷と散水の組み合わせで冷却したものである。一般的に硬質で緻密な結晶質になる。徐冷スラグの大部分は結晶質であるが、破碎を容易にするために、散水その他の方法で一部を急冷する場合があります、急冷された部分はガラス質となる。

徐冷スラグの主成分を成している鉱物は、ゲーレンナイト（ $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ）及びアカマナイト（ $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ）の固溶体からなるメリライトであるといわれている。

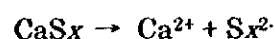
スラグ中には硫化物として $\text{CaS} \cdot \text{MnS}$ 、単体硫黄などが含まれている。スラグが水に触れると硫化水素臭、ポリ硫化物に起因する黄色の水、 CaO に起因する高pHの水などが発生する。スラグ中に含まれているポリ硫化カルシウムは、空気中の炭酸ガスによって分解し、炭酸カルシウム、硫化水素、単体の硫黄などを生成する。

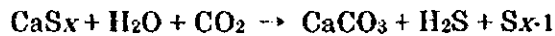
硫化イオン S^{2-} は重金属化合物と反応して水に不溶性の金属硫化物を生成する作用が強く、動植物の必須金属である鉄、銅、亜鉛などを不溶性の硫化物に変化させるため動植物に毒性を示す。

CaS は水に接触すると加水分解して硫化水素を遊離する。硫化水素（ H_2S ）は、悪臭のある猛毒ガスである。



また、日本でも徐冷処理は SO_x や H_2S を大気に放散するということで、公害防止規制が厳しくなるにつれ急冷処理が必要となってきた経緯がある。





日本では高炉徐冷スラグは古くから土木建築やセメント原料などとして利用されてきた。路盤用の砕石として使用された場合、一部含まれているガラス質がセメントのように硬化する性質があり、そのため強固な地盤となる。また、吸水性のため、雨天でも施行可能であり、ローラーで締め固めたとき、良くかみ合い強度は天然の砕石より強いといわれている。

b) 水砕（急冷）スラグのリサイクル

高炉スラグを急冷することにより水砕スラグを製造することができる。水砕スラグは溶解しているスラグに加圧水を噴射して急冷したもので、急冷によりスラグは結晶化せずにガラス質となっている。テュニジア国のEl Fouladh社では、この方法が取られている。このガラス状物質は化学的に不安定で、アルカリ性物質が触媒となってセメントのように硬化する性質（潜在水硬性）を持っている。高炉セメントはこの性質を利用したものである。

スラグの温度、水冷用の水量、水圧などの条件変化によって軟質なものと硬質なものができる。

潜在水硬性を判定する目安として、水砕スラグ塩基度とガラス化率を用いるが、ともに高いほど好ましく、塩基度は1.75程度以上、ガラス化率は95%以上のものが高炉セメント原料として利用できる。塩基度は高炉の操業で決まるが、ガラス化率はできるだけ高温熔融状態のスラグを急冷することで高めることができる。

硬質水砕スラグは、ガラス質の含有量が多く、強い潜在水硬性をもっている。そのため水砕スラグの粉末とポルトランドセメント（一般的なセメントで石灰石 CaCO_3 とケイ酸カルシウム $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ が主成分）を混合し、高炉セメントとして使用できる。このタイプのセメントは水和による発熱が少なく、腐食されにくい性質を持つことになる。また、潜在水硬性のため強固な路盤材としての用途もある。

テュニジア国での水砕スラグは、出てきたスラグに水をかけるだけの単純なものである。日本で導入されている水砕スラグ製造工程の一例を図5.10-1に示す。

高炉スラグ徐冷処理に対して、水砕スラグ製造は次のクリーナープロダクション効果がある。

- ・ SO_x や H_2S の大気放散量が減少し、大気汚染防止に寄与する。
- ・ 水砕スラグは高炉セメントの原料として使用されると、石灰石資源の保護に寄与する。また埋立処分量を抑制でき、環境汚染防止に寄与する。

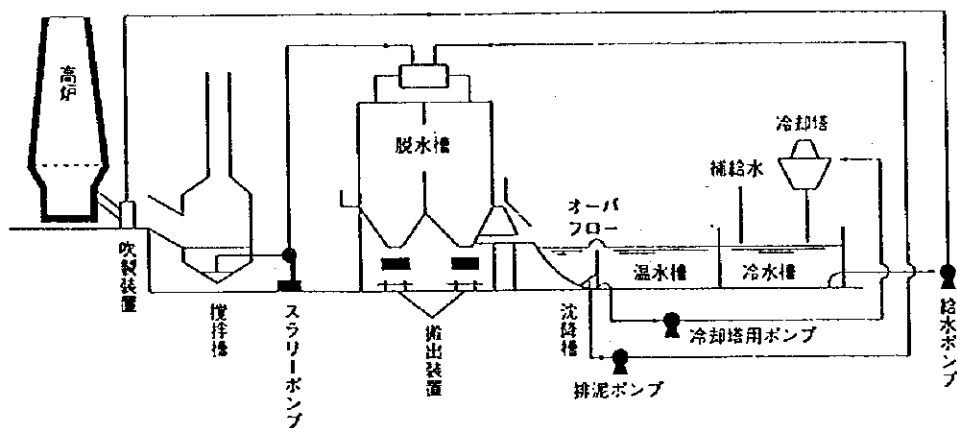


図 5.10-1 水砕スラグ製造工程 (例)

出典:環境庁地球環境部監修「環境保全型生産技術」

c) 高炉セメント原料としてのリサイクル

高炉水砕スラグの急冷ガラス化したものは、高石灰アルミノシリケートガラスからなり、アルカリやCaSO₄などの触媒が存在すると、硬化反応が継続し硬化する。

高炉水砕スラグとポルトランドセメント・クリンカを配合したセメントは、高炉セメントと呼ばれその分配比によって次のように分類されている。

種類	スラグ含有量
高炉セメントA:	5~30% 以下
高炉セメントB:	30~60%
高炉セメントC:	60~70%

高炉セメントのコンクリートは、施工後の強度発現速度が遅く、早強性は劣るが、次のような特徴がある。

- 初期の水和熱が低く、ダムその他マス・コンクリート構造物の工事に最適
- 対薬品性に富むことから、下水工事、港湾工事、海洋工事に適している。
- 耐熱が大きい
- 長期強度が強い

硬化の初期はポルトランドセメントが、後期には水砕スラグの水和反応によって硬化するものといわれている。ヨーロッパではスラグを15%程度配合したものをポルトランドセメントとして販売している。

d) その他の高炉スラグのリサイクル

その他の高炉スラグのリサイクルとしては、セメント原料、細骨材（砂）の製造と熱回収、石灰スラグセメントの原料、高硫酸塩スラグセメント原料がある。

① セメント原料

セメントは、石灰石、粘土、けい石、酸化鉄を適正な割合に混合・粉砕したものを焼成してクリンカ（中間製品）とし、これに石膏を加えて微粉砕し製造する。高炉セメントでは、高炉スラグをポルトランドセメントに混合したが、微粉砕した高炉スラグを石灰石と粘土の代用品とすることもできる。これにより、粘土と石灰石の添加量はその分だけ減少するため、クリンカの焼成エネルギーをかなり低減させることができる。高炉スラグは高炉内で、1500℃に加熱されており、クリンカ製造時に加熱するエネルギーが顕熱だけでよいが、石灰石と粘土では高炉スラグを利用するより大きな分解エネルギーが必要である。

② 細骨材（砂）の製造と熱回収

高炉スラグから砂を製造するには、水砕法と風砕法とがある。水砕スラグから製造した砂は、結晶質で硬く天然の砂に匹敵する良質なものが得られる。風砕法には数種類あるが、風砕の過程で廃熱を回収する方法が注目されている。

風砕処理プロセスは次のような工程から構成される。

- a) 熔融高炉スラグを大量の空気で飛散させる。
- b) 空気によりスラグは細粒に分割される。
- c) 分散した細粒は表面張力で球状になる。
- d) 大量の空気により粒状の粒子は冷却凝固する。
- e) これを空気輸送法で回収する。

スラグの風砕処理は粒子では、冷却、回収の全過程で一切水を使用しないため、水砕スラグのように多孔質の粒子にならないで、緻密な球形の表面がなめらかなガラス質の硬い人工砂を生産できる。風砕砂の品質は比重、吸水率、強度、形状などの面では天然砂より優れている。特にコンクリート用の砂として使う場合、真球に近い形状のため、コンクリートの流動性が良好になり、加える水の量が減少するの

で、その分だけ強度の高いコンクリートを作ることができる。またセメントの添加量も減らせるため、水和発熱が減少し、同時に配合するコストが節減できる。

熱回収を行ないながら高品質のスラグ細骨材をつくと方法として、回転ドラムによる乾式造粒と流動層冷却のプロセスを組み合わせたものである。

高炉から排出された約1400℃の熔融スラグはノズルから落下し、表面に液体を塗布した造粒ドラムに衝突し、造粒される。生成した粒子はスラグ粉を浮遊冷媒にした流動層式捕集冷却層に捕集され、スラグ粉が表面に付着するために粒子間の相互融着が防止できる。

同時に空気流により熱交換が行われる、約600℃に温度が上昇した空気は熱ボイラに送られて蒸気発生用の熱源に使われる。固化したスラグ粒は破碎設備で粒度調整され、細骨材となる。

③ 石灰スラグセメント原料としてリサイクル

高炉水砕スラグに少量の石灰を配合したセメントで、硬化速度が遅い。

④ 高硫酸塩スラグセメント原料

高硫酸塩スラグセメントとは、高炉水砕スラグを主体とし、不溶性無水石灰（10～15%）とごく少量（数%以下）のアルカリ性成分を配合したセメントである。高炉セメントに比べ、初期強度と表面硬度が劣るが、長期強度は高く、低熱性と化学抵抗性はいっそう優れている。建築用板材などとして利用が可能である。

高炉スラグの再利用可能な製品を表5.10 - 4にまとめる。

表 5.10-4高炉スラグの再利用

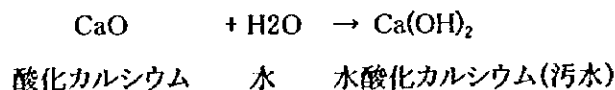
処理方法別の高炉スラグ	再利用例
徐冷スラグ	道路用（表層、路盤、埋立柱）、鉄道道床用 コンクリート骨材 港湾材料、地盤改良材（深層改良） セメントクリンカ原料 ケイ酸石灰肥料（ケイカル） ロックウール（断熱材に利用） その他（ガラス、タイル）
急冷スラグ (冷却時の水量、水圧等の調整により、気泡が少なく重いスラグとなる。硬質である。)	高炉セメント用、 セメントクリンカ原料 コンクリート混和材料 軽量気泡コンクリート原料 地盤改良材、へどろ改良材 アスファルト用細骨材 路床、路盤安定処理、遮断層用 ケイ酸石灰肥料（ケイカル） その他（窯業用材料）
半急冷スラグ (冷却途中に適度の水を加え発泡させた、軽く軟質のスラグ)	軽量コンクリート用骨材 軽量裏込材、埋立柱 その他（保温材）

(3) 転炉スラグのリサイクル

チュニジア国では製鋼スラグは約38,000トン/年発生しているが、これは転炉スラグと電炉スラグとからなる。転炉スラグはSiO₂の含有率が低い。SiO₂の含有率が低いと、早期強度型のセメントを生成することができるが、小さくなりすぎるとクリンカコーティングの異常生成によりキルンの運転に重要な悪影響を及ぼす。転炉スラグは超高塩基性物質であり、その成分は次のような組成の混合物である。

- ライム固溶体 CaO, MgO, MnO, FeO
- ケイ酸カルシウム固溶体 2CaO, SiO₂-2CaO, P₂O₃
- カルシウムフェライト Ca(FeO₂)₂
- 遊離の生石灰 CaO（風化が最も激しい）

これら4種類の成分のうちCaOとライム固溶体の風化が激しい。そのため骨材などに利用することが困難である。また路盤材などに使用すると、CaOが環境中の水と反応して高pHの汚水が発生するほか、体積膨張と崩壊性を示するため、路盤材・埋立柱としての利用には適さないとされきた（次式参照）。



この遊離石灰CaOを安定なCa(OH)₂や炭酸カルシウムCaCO₃に変化させるためにエージング処理を行う。転炉スラグの場合、6ヵ月以上のエージング処理が必要であるが、蒸気や温水を使用してエージング期間を短縮する促進エージング法の開発が進められている。これにより道路用材としての利用が可能である。

酸化鉄が含まれることから、セメントの酸化鉄原料(Fe₂O₃ソース)として使用することもできる。また酸化鉄以外にもセメントクリンカー成分として必要なCaO、SiO₂、Al₂O₃などが含まれており、セメントクリンカー原料としての利用先もある。

(4) 電気炉スラグのリサイクル

電気炉スラグには、酸化スラグと還元スラグとがある。電気炉の通常の操業では、スクラップを溶解後、溶鋼中に酸素を吹き込み不要成分を酸化し、副原料の生石灰中のCaOなどと結合させて、スラグとして分離・排出する。この工程は酸化雰囲気下で行われ、排出したスラグを酸化スラグとよんでいる。次に過剰な酸素の除去(脱酸)と脱硫を目的に、還元剤として金属アルミニウムやコークス粉などを生石灰とともに投入する。ここでは炉内が還元雰囲気となり、生成したスラグを還元スラグとよんでいる。

a) 酸化鉄回収

酸化スラグの化学組成は転炉スラグとほぼ同じであるため、酸化鉄回収することができる。回収した酸化鉄は、セメントの鉄原料として利用できる。一方、還元スラグの化学組成はCaOとSiO₂だけで70%を超し、酸化鉄含有率は低く、酸化スラグに比べて10分の1で程度であり回収には適さない。

b) 道路用材利用

いずれの電炉スラグも、一部含有する遊離石灰の膨張崩壊が問題であり、コンクリート用骨材としての使用は未だ試験段階である。ただし適切にエージング処理(養生)すれば道路用材として有効利用でき、エージング処理の期間も3ヵ月程度で済む。

c) セメントクリンカー原料

転炉スラグ同様、電炉スラグもセメントクリンカー原料(CaOソース)として再利用でき、石灰石の節減となる。ただしマグネシウムなどのセメント原料として不適な成分が含まれているため、調整する必要がある。

5.10.3 製鉄業以外から発生するスラグ・ドロス

製鉄業以外から発生するスラグは主として鋳物工場から発生する。またドロスは、再生アルミニウム地金製造業、アルミニウムダイキャスト業、鉛バッテリー製造業、溶解亜鉛めっき業、亜鉛ダイキャスト業などで発生し重金属が含まれていることが多い。

こうしたスラグやドロスは日本では回収されている場合が多いが、チュニジア国では発生量が少ないこと、金属製錬所がないことから、国内での資源化は困難である。したがって現在のところ回収・輸出する以外にない。

製鉄業以外から発生するスラグとしては、鉛が最も発生量が多く年間で2000トン以上発生しており、埋立処分されている。その他の重金属スラグは、それぞれ年間50トン程度発生しているだけである。鉛スラグの主要な発生源は鉛バッテリー製造業の鉛グリッド（格子）再生工程である。

日本では鉛スラグの鉛含有率は5%以内であるが、チュニジア国の場合、外観からそれ以上であると判断される。再利用の方法としては、転炉で精製し鉛を回収する方法がある。

5.10.4 その他：ダストのリサイクル

El Fouladh社の転炉で発生するダストは、そのまま外部に排出されている。

製鋼プロセスで発生するダストは、基本的に鉄分、石灰分等、鉄鋼業で使用する原材料分を含むものであるので、工場内利用する技術が開発されている。また鉄分が主要成分ということで、セメントクリンカの鉄原料として利用できる。

5.10.5 発生源、メーカーでの望ましい対応

スラグ中には、マグネシウムといったセメントの品質に悪影響を与える物質が含まれることがある。エンドユーザーであるセメント工場などでは、スラグの受入基準を明確に提示すべきである。発生源では、排出するスラグを受入基準に適合するような排出プロセスを採用することが望ましい。以下に日本のあるセメント工場における受け入れ基準の一例を示す。

表 5.10-5 セメント工場におけるスラグ受入基準（日本の例）

受入基準	
鉄含有	Fe ₂ O ₃ >30%、Cl<100ppm
(スラグなど)	Cr、Mg等の金属含有量が少ないこと 粉状、綿状、または粉砕可能な形

5.11 鋳物砂

5.11.1 発生源での排出、リサイクルの現状

チュニジア国では、大手鋳物業者2社（SOFOMECA社、Founderies Reunies社）と、小規模業者が5社あり、大手2社で業界生産量の80%を占めている。鋳物廃砂の発生量は不明であるが、鋳物砂の大部分は各工場内で繰り返し利用されており、粘度が低下した時点で廃棄されている。

日本においても鋳物砂は工場内で再利用されており、一度に発生する型砂の90%は工場内で繰り返し利用される（戻り砂）のが一般的である。したがって鋳型は戻り砂を主とし、それに新砂、粘結剤、添加剤を加えて作られる。

廃棄物として発生する鋳物廃砂も再利用が可能である。日本においても一部セメント原料、アスファルトフィラーとして有効利用されているが、その大部分は埋立処分されている。

また廃砂の再生処理工程において発生するダスト(鋳物ダスト)が発生し、これは集塵機により収集されている。鋳物ダストは、微粉末状で鋳物砂としては再生利用できないため、埋立て処分されている。鋳物ダストは、鋳物砂と同等であり、アスファルトフィラーとしての利用が可能である。

有力な再利用先であるチュニジア国内のセメント工場は、現在のところ積極的に鋳物廃砂を原料として利用しようとはしていない。

5.11.2 リサイクルの方法

鋳物砂の再利用には、工場内と工場外の2種類のケースがある。工場内では、回収・処理後に再度鋳物砂として利用でき、チュニジア国でも行われている。工場外再利用では、セメント原料、アスファルトフィラー、路盤材、煉瓦原料として廃砂成分を回収・利用することである。

(1) 鋳物廃砂の成分

鋳物廃砂は、主成分である珪砂（ SiO_2 ）に粘結剤、少量の添加剤が含まれる。鋳物砂には海砂を利用することもあるが、不純物の混入の問題がある。普通工業用として用いる珪砂は純度95%が目安であるが、純化にはコストがかかり、特に小規模業者には難しい。粘結剤については、大手業者はベントナイトなどの化学物質を輸入・利用している。こうした化学物質は国外の供給先が最低購入量を設定しているが、国内には卸売業者が存在しないため、小規模鋳物業はベントナイト、樹脂などを利用せず、他の粘土を利用しているかもしれない。

表5.11-1に種類別鋳物砂の化学成分を示す。新砂、廃砂ともに成分的にはほとんど変化がなく、再利用が可能であることが分かる。ただし廃砂には粘土分（粘着剤）

が多く、除去する必要がある。

鋳物ダストはMgO分が多く、セメント原料としては適さない。

表 5.11-1種類別鋳物砂の化学成分

種類	粘土	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
新砂	0.34	0.48	92.00	4.17	1.01	0.14	0.5
廃砂	8.54	2.64	90.60	4.19	0.39	0.30	0.51
焙焼砂	0.38	0.12	91.90	3.88	1.83	0.36	0.48
二次廃砂	0.41	0.11	92.90	3.74	1.87	0.46	0.55
鋳物ダスト	-	-	80.1	10.2	2.70	1.66	1.37

LOI (Loss on Ignition): 熱灼減量

再利用にあつたつては、粘結剤、添加剤を取り除くことにより鋳物砂としてリサイクル可能であるため、珪砂の回収技術が開発されている。粘結剤には無機系と有機系とがあり、回収技術も異なってくる。添加剤は、造型性、型ばらし性および鋳物の耐欠陥性を向上させるために加えられる。添加剤として炭素質、でん粉質、繊維質があげられる。

粘結剤

- 無機系粘結剤： 粘土（カオリナイト、モンモリロナイト、イライト）、ベントナイト（粘土の一種で粘結力の強い）、水ガラス（珪酸ソーダ）、セメント、消石灰、珪素合金、金属アルミニウム粉、石膏、その他
- 有機性粘結剤： フェノール樹脂、フラン樹脂、廃糖蜜、乾性油、パルプ廃液（リグニン）、アルギン酸ソーダ、その他

添加物

- 炭素質添加剤： 石炭粉、ピッチ粉、コークス粉、黒鉛粉末
- でん粉質添加剤： コーンスターチ、デキストリン
- 繊維質添加剤： 木粉

次ページ図5.11-1に鋳物製造工程を示す。

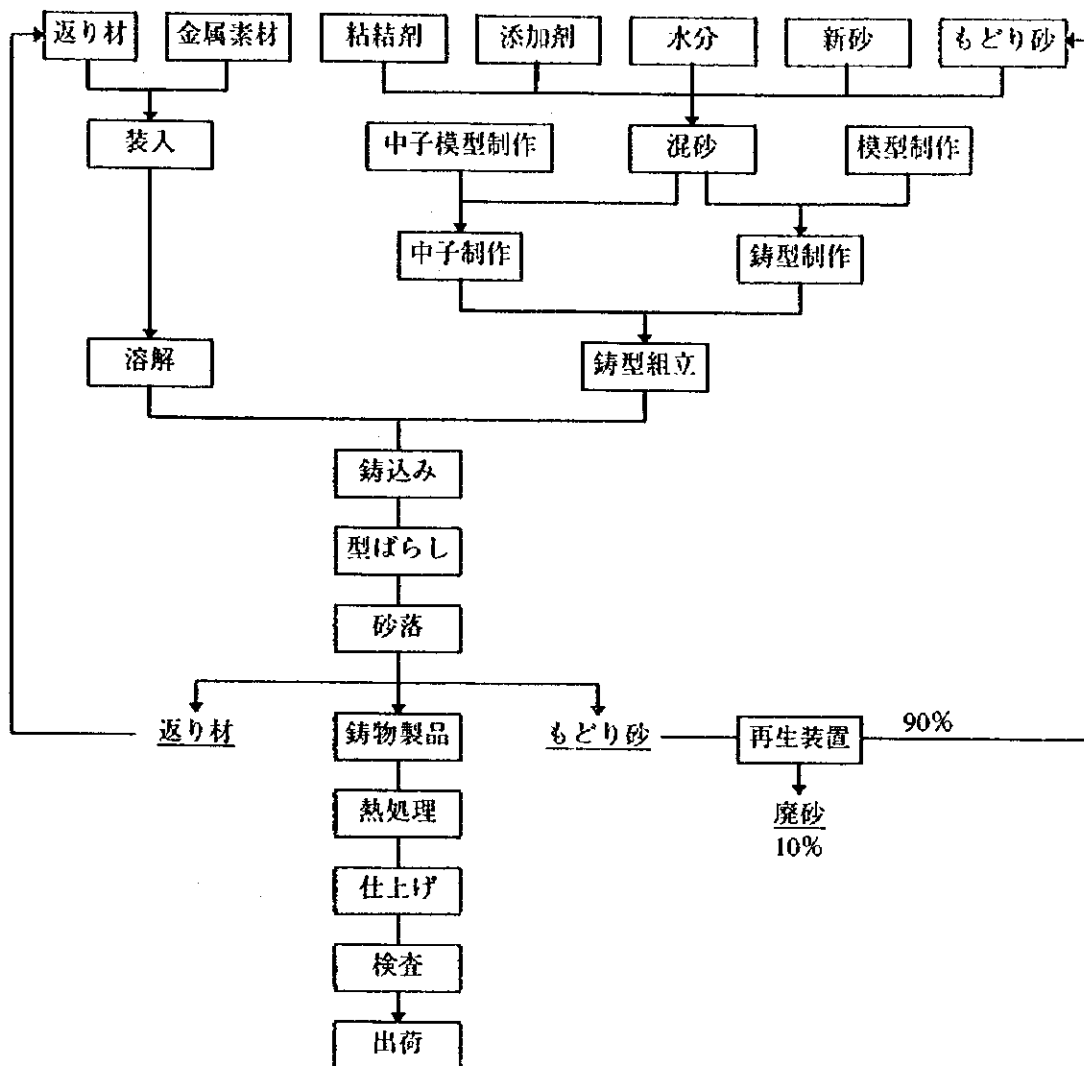


図 5.11-1 鋳物製造工程

出典: 日本鋳物協会編「鋳物便覧」

(2) リサイクル方法

a) 工場内でのリサイクル方法

鋳物廃砂の再生は、経済的にも大きな効果がある。再生せずにバージンの砂ばかりを使用することに比べて、砂の価格は35～45%ほど安くなっている。

再生方法には、①乾式法、②湿式法、③燃焼法などがある。設備費、操業費、廃棄物処理などの面から乾式法が普及する傾向にある。水ガラスを粘結剤に使用している砂のアルカリ除去は湿式法が用いられている。シェルモールド方式のように粘結剤として樹脂を使用しているものは焼却法も広く採用されている。

① 乾式法

砂粒表面の付着物を除去するために、乾式でスクラッピング（こすり落とし）をする方式である。機械的投射（ロードコンディショナー）、空気噴射（ニューマディ

ック・サンド・スクラバ、ニューマティック・サンド・リクレーマ)、ショット投射(ショット・ブラスト)がある。乾式法は安価であるため広く利用されている。表5.11-2に日本における乾式法による再生コスト(鑄型別)を示す。

表 5.11-2 乾式法による再生コスト(鑄型別)

		ランニングコスト(円/t)	回収率(%)
生型砂	粘土分の高い砂	2,500~3,000	70~80
	粘土分の低い砂	500~1,500	70~80
無機系(水ガラス)		1,500~2,000	85~95
有機系(フラン、フェノール)		100~200	92~97

(注1) ランニングコストは、動力費+消耗品、(注2)100円=0.88DT

出典：廃棄物処理・再資源化技術ハンドブック

再生の手順としては、型ばらし工程で完全に破碎されずに固まったままの廃砂の破碎を目的とした前処理を行った後に、付着物除去し、砂を回収する。一般的な再生工程を図5.11-2に示す。

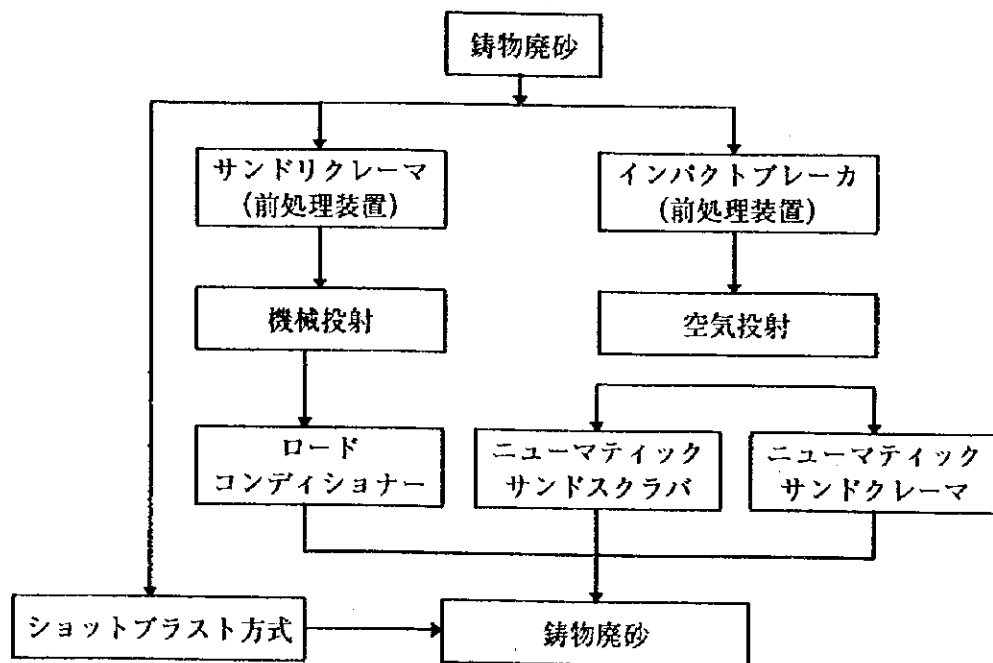


図 5.11-2 乾式法による鑄物廃砂再生装置の種類とシステム

出典：村田徳治著「最新リサイクル技術の実際」

前処理装置にはいくつかの構造が異なる機種がある。

サンドリクレーマ： 粉碎を主な目的としたもので、特殊なシャイレトリー機構を有し、砂相互間の摩擦により砂塊をほぐし、心金などの鉄くずを除去し、同時に微分も除去する。

インパクトブレーカ： 単一粒子を得るための中間破碎機であり、自硬珪鑄物の硬化した砂の塊を破碎し、回収するのに適している。

再生装置には機械投射式のロードコンディショナー（図5.11-3）や、空気噴射式のニューマティック・サンドスクラバとニューマティック・サンドリクレーマとがある。

機械投射式再生装置では、機械投射によりスクラッピングを行う方式である。図5.11-3に示す通り、廃砂は中央の管（スパウト）からオリフィスを経て高速化移転するロータに供給される。廃砂はロータの投射翼により遠心投射され、傾斜しているコの字形の衝撃版（ウェアリング）に激突し、数回反射後落下する。また、ロータにより高速回転し、砂粒相互に衝突し合い、摩擦によって表面が研磨される。砂粒表面の付着物は微粉となって集塵装置に集められる。

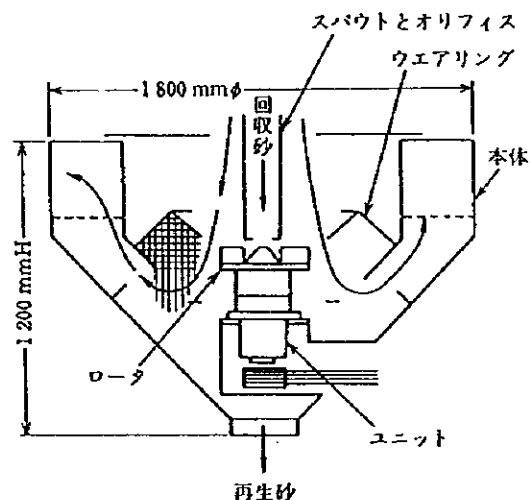


図 5.11-3 ロードコンディショナー

出典：村田徳治著 「最新リサイクル技術の実際」

一方、空気噴射式再生装置であるニューマティック・サンドスクラバとニューマティック・サンドリクレーマの基本的な原理は同じである。

まず、シュート（砂入口）に定量供給された廃砂は、ノズルからの高压空気によりプラストチューブ内を互いに摩擦し合いながら上部のターゲットに衝突する。タ

ターゲットで急回転した廃砂は集塵装置に集められ、一部の砂は再度エントリーピースに導かれ再び処理され、一部の砂はターゲットに沿って落下し、次のセルへ移される。

② 湿式法

砂粒を水に浸し、粘結剤を軟化し、これを回転羽根などによる攪拌作用または水の噴射による衝撃などにより付着物を除去する。粘結剤が水溶性かまたは水によって崩壊する場合の処理方法として有効である。湿式破碎洗浄法と超音波洗浄法がある。再生処理に際して発生する汚泥の処理・処分に課題が残されている。

● 湿式破碎洗浄法

回転ドラムに投入された廃砂は、ドラムの前の部分で破碎され、後の部分でジェット水流により攪拌される。回転による砂粒相互間の摩擦により、砂粒表面のソーダ分が除去され、ほぼ新砂に近い状態にまで再生される。洗浄水は、砂に付着している炭酸ソーダと水ガラスのためのアルカリ性を呈するので、pHが8前後になるように硫酸で中和する。この方式による砂の再生率は約94%程度である。

● 超音波洗浄法

プールタンクに投入された砂は機械的に攪拌されて予備洗浄される。サンドポンプによって送られた砂はサイクロンによって水と分離されて洗浄槽へ流入する。洗浄槽で超音波洗浄された砂は、サンドポンプ・サイクロンを通り、電磁フィーダーによって水切りされた後、ドライヤで乾燥されて取り出される。

③ 燃焼式

砂粒を加熱して粘結剤の焼去あるいは脆化除去する方式である。有機系の粘結剤を用いた廃砂に付着している有機物を加熱燃焼させて分解除去する方法である。シェルモードなど樹脂性粘結剤を用いた廃砂の再生に多く用いられている。

燃焼式には、ロータリーキルンを使用する方式と流動焙焼炉を使用する方式がある。有機系粘結剤の残留量が多いものは、補助燃料の使用量が節減できる。

b) 工場外でのリサイクル

戻り砂として工場内リサイクルできなくなった廃砂、再生工程で生成する微粉化したダストやスラッジは、鋳物工場では再利用できないので他の産業の原料とする以外にない。再利用先としては、成分によって、セメント原料あるいはアスファルトファイラーへの利用となる。

工場内での再生工程で発生する鋳物ダストは、微粉末状の鋳物砂である。その成分は(前出の表5.11-1参照)、SiO₂が80%である。しかしセメント原料として適さないMgO分が多く、リサイクルの用途はアスファルトファイラーが主要である。鋳物ダストには多量の粘土質が含有される。

セメント原料

鑄物砂の主成分は SiO_2 であり、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 と微量の CaO 、 MgO が含まれる。一方、セメント原料は CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 が主成分（4主成分）である。したがって鑄物砂は不純物の少ないものであれば、セメント原料の石灰石、高炉スラグ、石炭灰のシリカ補給原料として使用が可能である。セメントの性能に影響を与えない程度であれば不純物の混入も可能であるが、セメント製造業側には好まれない。日本のセメント工場における鑄物砂の受け入れ条件例を以下に示す。

- $\text{SiO}_2 > 75\%$
- アルカリ $< 1\%$
- 水分 $< 10\%$
- 混入物なし(マグネシウムなど)

仮に鑄物業者から廃砂が再利用を目的として回収するとなると、その品質が問題となる。チュニジア国には大小8社の鑄物業者があり、発生する廃砂の品質が一定でない（4主成分の比率が一定でない）という難点がある。また、安定供給のためにストックヤードを利用するとなると、セメント工場への供給時に誰が均一な品質を保持するのかという責任が生じる。

アスファルトフィラー

マグネシウムを多量に含む廃砂、微粉末（ダスト）、スラッジはセメント原料に適さない。セメント焼成中に酸化マグネシウムとなる。コンクリート中で徐々に水と反応して水酸化マグネシウムに変化し、コンクリートに亀裂を入れる原因となる体積膨張を起こすからである。こうした廃砂をアスファルトに混合して、アスファルトフィラーとして利用する方法がある。

また炭酸カルシウムの粉末は道路舗装材料であるアスファルトのフィラーとして以前から使用されている。鑄物ダストはこの炭酸カルシウムの代替品として使用できる。アスファルトフィラーとして利用されている石粉は、石灰岩粉末または火成岩類を粉砕したもので、水分 1.0% 以下の微粒子の団粒になったものでなければならない。

日本における研究では、鑄物ダスト（再生処理工程の集塵機から発生）をアスファルトフィラーとして使用する場合、一部に規格に適合していないものもあったが、ほとんどのものがフィラーとして使用できるという結果が得られている。日本ではアスファルト中に混合できる鑄物ダストの割合は 5% 程度であるのが実際である。

5.11.3 回収システム

工場外リサイクルの場合として、主にセメント原料があげられよう。廃砂を回収しエンドユーザーまで輸送する必要がある。エンドユーザーでは廃砂を原料として扱うため、廃砂が供給されない場合は、操業に支障をきたすことになる。

現実的には、鑄物業者から発生する廃砂を貯蔵し、セメント工場で受け入れても

らえるだけの量を確保してから供給するになる。日本での一例として、共同で廃砂を集積するストックヤードを建設し、量的あるいは安定供給の問題に対応している。表 5.11-3に鑄物砂再利用の必要条件とチュニジア国における問題点を示す。

表 5.11-3 鑄物砂再利用の必要条件とチュニジア国における問題点

必要条件	チュニジア国における問題点
量的供給	発生量が少ない(高炉スラグの発生量に比べ)。
安定供給	大手2社が操業を停止した場合、供給できなくなる。
分別、粉碎、ふるい分け、加湿処理	中小鑄物業者での設備投資は難しい。
鑄物廃砂の品質保持	鑄物砂の原料として、純度の低い海砂を使用している。

量的供給については、工場内でのリサイクルを推進すると鑄物廃砂の発生量は減少する。したがって廃砂の品質を高めることによって需要を確保する必要がある。海砂を鑄物砂として利用することに問題はないが、純度を高めてから利用する必要があり、コスト高になる。

6 磷酸石膏の利用方法の検討

6.1 石膏製品の需要

石膏の主要な用途は建材とセメント凝結調整材である。

建材用としては1996年に全世界で43億 m^2 の石膏ボードが生産されている。

石膏ボードの一人当たりの年間消費量はアメリカでは10 m^2 、日本では5.3 m^2 、ヨーロッパでは3.3 m^2 である。チュニジアの人口は約900万人なので、ヨーロッパと同じ消費量と仮定した場合には、年間3000万 m^2 の需要が期待される。

チュニジアで現在生産されている石膏ボードは表面に紙が貼付されておらず、日本でいう石膏ブロックに相当するものであるが、その生産量は2~4万 m^2 /年で一人当たりの消費量は0.005 m^2 にすぎない。

チュニジアは天然石膏資源に大変恵まれているにもかかわらず、石膏製品はあまり生産されていない。チュニジアの主要な建築材料は赤煉瓦であり、室内の間仕切り等にも主として赤煉瓦が使われている。表面の塗装にセメントモルタル等が使われているのみである。表 6.1-1に建築材料の生産額とその割合を示す。石膏製品の割合は0.3%と極めて少ない。

また1996年の建築材料の生産能力を表 6.1-2に示した。生産能力からみても主要建材である赤煉瓦に対して約2%程度である。

同国で生産される石膏の大半はセメント用凝結調整材として使用されており、使用量は一年に約30万~40万トンである。

セメント用の石膏の値段はセメント工場への納入価格として10 TD/t (製品3.5 TD/t、輸送費6.5 TD/t)である。

石膏建材の会社は数社あったが需要が年間5~6万トンと少ないため廃業しLes Plâtres Tunisiens一社のみが製造販売している。同社の各石膏製品の生産能力は表 6.1-3に示す通りである。

このうち石膏ブロックの生産量は100,000 m^2 /年で、厚さ7cmと10cmのものが製造されている。全石膏製品の生産量65,000トンのうち、35,000トンが国内向けで、残り30,000トンは輸出向けである。

現状では石膏ボードやブロックなど石膏建材への需要は少ないといえる。またこれらの石膏製品は同国で豊富に産出する天然石膏を利用しているため、建材用材料として磷酸石膏を利用することは大変困難であるといえる。

表 6.1-1 テュニジアにおける建築材料の生産額と輸出入額

分野	生産額 百万DT	割合 %	輸出額 百万DT	割合 %	輸入額 百万DT	割合 %
結合材	1192.2	31.1	334.1	66.5		
1 セメント	960.7	25.1	248.1	49.5		
2 セメント(CHA)	53.2	1.4				
3 消石灰(CHN)	20.3	0.5				
4 白色セメント	146.8	3.8	86.0	17.0		
5 石膏製品	10.7	0.3				
6 石膏ブロック	0.5					
セメント製品	632.8	16.5				
7 モザイクタイル	368.4	9.7				
8 管	182.3	4.7				
9 各種土木材料	82.1	2.1				
セラミック	1049.5	27.3	100.1	19.9	56.6	17.3
10 煉瓦、粗石積み	583.5	15.3				
11 陶器	309.6	8.1	51.9	10.3		
12 衛生陶器	63.5	1.6	11.5	2.3	31.7	9.7
13 台所陶器	71.4	1.8	36.7	7.3	3.6	1.1
14 耐火煉瓦	21.5	0.5			21.3	6.5
ガラス	107.6	2.8	37.4	7.5	102.2	31.3
15 ビン用ガラス	87.6	2.3	27.4	5.5	58.9	18.0
16 板ガラス					43.3	13.3
17 強化ガラス	20	0.5	10.0	2.0		
その他	857.4	22.3	30.5	6.0	167.9	51.4
18 骨材	535.5	14.0				
19 大理石	204.1	5.3			28.2	8.6
20 浴槽用エナメル	39.9	1.0	5.7	1.1	11.4	3.5
21 フリット、珐瑯	15.6	0.4	4.5	0.9	34.5	10.6
22 その他	62.3	1.6	20.3			
23 半製品					93.8	28.7
合計	3839.5	100.0	502.1	100.0	326.7	100.0

出典: Les Industries des matériaux de construction, céramique et verre en Tunisie, 1997

年7月, Agence de Promotion de l'Industrie, Ministère de l'Industrie

表 6.1-2 建築材料の生産能力 (1996年)

種類	生産能力
粗骨材、細骨材	30,000,000 m ³ /年
普通セメント	4,700,000 t/年
耐硫酸塩セメント	350,000 t/年
白色セメント	222,000 t/年
混合セメント(CHA)	500,000 t/年
消石灰 (CHN)	200,000 t/年
石膏製品	120,000 t/年
石膏ブロック	400,000 m ² /年
ヒューム管	324,000 t/年
石綿-セメント管	92,000 t/年
モザイクタイル	16,000,000 m ² /年
加工大理石	500,000 m ² /年
赤煉瓦、粗石積み	5,700,000 t/年
磁製タイル	20,000,000 m ² /年
耐火煉瓦	10,000 t/年
衛生陶器	15,500 t/年
エナメル浴槽	80,000 個/年
台所陶器	6,000 t/年
ガラス瓶	40,000 t/年
安全ガラス	3,000 t/年
フリット、珐瑯	10,000 t/年

出典: Les Industries des matériaux de construction, ceramique et verre en Tunisie, 1997
年7月, Agence de Promotion de l'Industrie, Ministère de l'Industrie

表 6.1-3 石膏生産品の種類と生産量

形態	品目	生産量
粉体	1 一般用焼き石膏 (天井用漆喰)	3,000 t/年
粉体	2 スタッフ用焼き石膏	45,000 t/年
粉体	3 陶磁器用焼き石膏 (微粉)	3,000 t/年
粉体	4 白色セメント用リターダ	7,000 t/年
製品	石膏ブロック	8,000 t/年
合計		65,000 t/年

出典: Les Plâtres Tunisiens提供資料

6.2 磷酸石膏の発生・処理状況

チュニジアでは豊富な磷鉱石資源を活用し、当初は磷鉱石の形で輸出していたが1950年代より自国で磷酸を製造し、その磷酸をベースとして各製品を製造するようになった。これら磷酸製品の大部分は輸出されている。表 6.2-1に磷酸製品の種類別生産量の推移、表 6.2-2 に同製品の種類別輸出量の推移を示す。

表 6.2-1 磷酸製品の種類別生産量の推移 (単位 1,000t)

種類	1992	1993	1994	1995	1996
磷酸54%	861	858	973	1018	1064
スーパー磷酸72%	34	12	-	-	-
トリプルスーパーホスヘート	786	642	820	780	785
磷酸二アンモニウム	694	751	746	831	926
磷酸二石灰	66	74	80	72	86
硝安	206	167	103	171	169
磷安	14	16	10	21	16
トリポリ磷酸ソーダ	43.9	35.7	40.8	55.6	64.3
造粒肥料G27+G18	35.3	26.5	27.5	23	34.7
PK+NPK	18.7	5.5	17.6	24	16.7
スーパー16%	21.3	13.9	20.3	16.2	19
複合肥料	2.4	3.9	3.8	3.6	3.3
合計	2781.7	2605.5	2842	3015.4	3184

出典: Les Industries cimiques en Tunisie, 1997年7月, Agence de Promotion de l'Industrie, Ministère de l'Industrie

表 6.2-2 磷酸製品の種類別輸出量の推移

種類	1992	1993	1994	1995	1996
磷酸54%	506	492	610	633	635
スーパー磷酸72%	37	6	-	-	-
トリプルスーパーホスヘート	783	624	767	746	690
磷酸二アンモニウム	657	717	698	750	840
磷酸二石灰	54	68	68	62	74
硝安	83	35	14	65	19
磷安	7	4	4	8	4
トリポリ磷酸ソーダ	34.8	33.7	40.5	47.6	56.5
造粒肥料G27+G18	31.8	27.2	30.2	29.1	29
PK+NPK	16.3	7.6	13.2	26.9	17.7
スーパー16%	19.3	17.5	17	16.9	15
複合肥料	2.8	3.7	3.8	3.8	3.4
合計	2232	2035.7	2265.7	2388.3	2383.6

出典: Les Industries des matériaux de construction, ceramique et verre in Tunisie, 1997年7月, Agence de Promotion de l'Industrie, Ministère de l'Industrie

主な輸出先はフランス、イタリア、イギリス、スペイン、インド、キューバ、中国、リビア及びトルコである。

これらの磷酸製品の大部分は磷鉱石より作られる磷酸を使って製造されている。磷酸は湿式で硫酸を使用して製造されているので、その際大量の石膏が副産物として発生する。磷酸は全てGroupe Chimique Tunisien 社が製造している。同社の工場別の磷酸生産能力と磷酸石膏の発生量を表 6.2-3 に示す。

発生した磷酸石膏は、現状では他に利用されずに廃棄されている。表 6.2-4に磷酸石膏の廃棄状況を示す。陸上の場合には台形状に積み上げ（現地でタビアと呼ばれる）で放置している。

磷酸石膏の排出量は23,750 t/dと大量である上、過去数十年にわたり蓄積している。石膏は有機物のためか黒い色を示している。陸上では屋外に放置されているため、有害物質の溶出など環境への影響が懸念されている。海中への投棄についても同様に環境問題となっている。

表 6.2-3 工場別磷酸生産能力と磷酸石膏発生量

工場名	SFAX	SKHIRA	GABES	M-DHILLA	合計
磷酸生産能力	360 t/d	1100 t/d 2-550 t/d	2210 t/d 310 t/d 400 t/d 3-500 t/d	500 t/d	4170 t/d
発生石膏量	2,000 t/d	5,000 t/d	14,000 t/d	2,750 t/d	23,750 t/d

出典: Groupe Chimique Tunisieでのヒアリングによる

表 6.2-4 磷酸石膏の廃棄状況

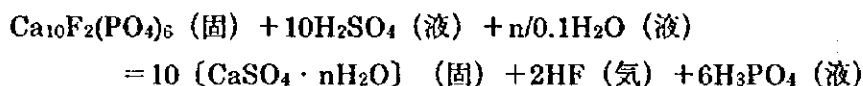
工場名	処理石膏の形態	輸送方法	処理場所
SFAX	スラリー（石膏30%水70%）	パイプ	陸上タビア
Skhira	石膏フィルターケーキ	ベルトコンベヤ	陸上タビア
M-Dilla	スラリー（石膏30%水70%）	パイプ	陸上タビア
Gabes	スラリー（石膏30%海水70%）	パイプ	海中

出典: Groupe Chimique Tunisieでのヒアリングによる

6.3 燐酸製造プロセス

湿式燐酸の製造方式は副生する石膏の形態に応じて二水石膏法、半水・二水石膏法、二水・半水石膏法、半水石膏法、無水石膏法の5種類が知られている。

湿式燐酸の製造工程は、硫酸により固相の燐鉱石 $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ ($=3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$)を分解し、生成物として液相に燐酸 H_3PO_4 固相に石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ を得る(1)式の反応で表される。



チュニジアで製造されている方法は同国で1950年代に開発されたSIAPE法 (Societe Industrielle pour la Fabrication de l'Acid Phosphorique et d'Engraisの略語)であり二水石膏法に属する。

本方式は燐酸を安価で容易に製造できるもので、トルコ、ギリシャ、エジプト、ブルガリア、ルーマニア、シリア、ユーゴスラビア、パキスタンやセネガルに技術導出している。

本方式のフローシートは図 6.3-1に示すとおりである。

二水法の代表的方式であるDorr法やPrayon法に対し反応槽が一つである点の特徴である。

原料はGafsaで採掘、粉砕された燐鉱石粉末を貨車で輸送している。輸入した硫黄分より製造した硫酸を使用して燐酸(28% P_2O_5)を造りこれより種々の燐酸製品を製造している。

反応温度は78~80℃とやや高めである

石膏を分離するフィルターはベルト式濾過機やトラベリングバン濾過機が用いられている。

フィルターでの洗浄液中の燐酸濃度の例を表 6.3-1 に示す。

表 6.3-1 フィルター洗浄液中の燐酸濃度の例

段階	燐酸濃度
母液	28%
第一洗浄液	17% (反応槽へ)
第二洗浄液	5%
濾布洗浄液	0%

出典:Groupe Chimique Tunisieでのヒアリングによる

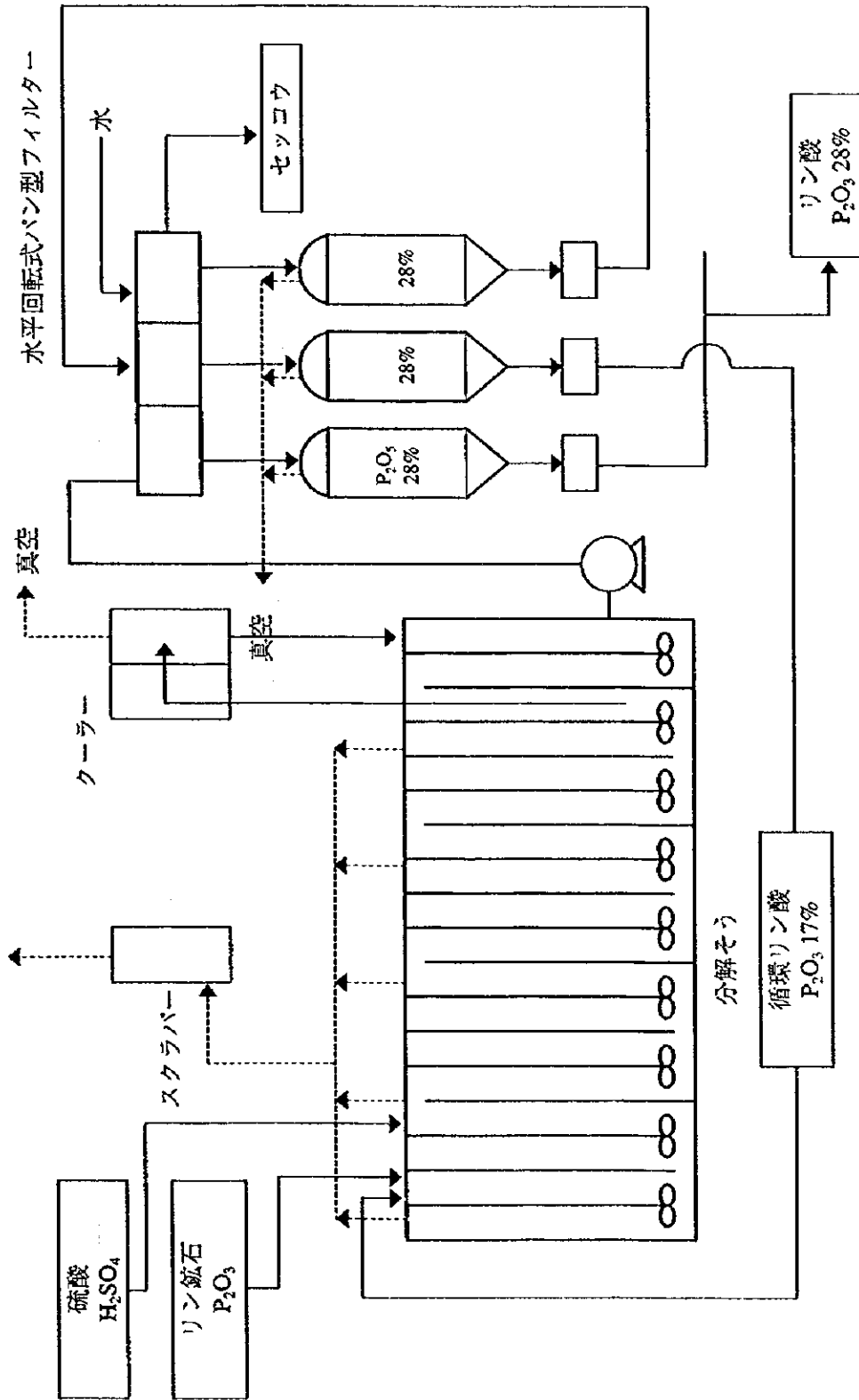


図 6.3-1 SIAPF法燐酸製造プロセス

6.4 磷鉱石及び磷酸石膏の品質

磷酸製造に使用されている磷鉱石はガフサGafsa（南部）に埋蔵されている堆積岩質磷鉱石を採掘し、水洗、粉砕したものである。

その代表的化学成分および粒度は表 6.4-1 の通りである。

この磷鉱石のリンの含有量は他の代表的な磷鉱石（ P_2O_5 32~39%,BPL70~85%）に比較してやや低めである。磷鉱石中の有害物質であるヒ素As、カドミウムCdおよび水銀Hg含有量についてはデータが得られず確認していない。

表 6.4-1 磷鉱石の特性値

		Gafsa 65/68% BPL	Hyperphosphate	
化学成分	五酸化磷	P_2O_5	29~30%	28~29%
	三酸化硫黄	SO_3	3~4%	3~4%
	二酸化炭素	CO_2	6.0%	7.0%
	全シリカ	SiO_2	2.5~3.5%	3.6%
	酸化カルシウム	CaO	48~49%	48~49%
	酸化マグネシウム	MgO	0.45~0.70%	0.6~0.9%
	酸化鉄	Fe_2O_3	0.2~0.3%	0.3~0.4%
	酸化アルミニウム	Al_2O_3	0.4~0.6%	0.5~0.8%
	酸化ナトリウム	Na_2O	1.3%	1.2~1.4%
	酸化カリウム	K_2O	0.04~0.10%	0.1%
	フッ素	F	3.0~3.5%	3.3%
	有機質炭素	CO	0.5~0.8%	1.0%
		水分	Max.3%	Max.3%
微量成分	亜鉛	Zn		370ppm
	銅	Cu		19ppm
	コバルト	Co		20ppm
	マンガン	Mn		27ppm
粒度組成	500 μ 残分		10~20%	10~30%
	250 μ 通過分		70~80%	60~80%

出典: Groupe Chimique Tunisien 提供資料

一方副産物の磷酸石膏の化学成分、粒径分布、物理特性を表 6.4-2から表 6.4-4に示す。

表 6.4-2 副産磷酸石膏の化学成分

化学成分	97.5.1 データ ¹⁾		97.11.2 データ ²⁾
	無水石膏ベース	二水石膏ベース	二水石膏ベース
CaO	39	30.9	30.6
SO ₃	55	43.6	44.3
P ₂ O ₅	3.5	2.8	1.2
SiO ₂	3.6	2.9	1.7
F	0.9	0.7	1.3
Al ₂ O ₃	0.09	0.07	0.11
MgO	0.08	0.06	0.02
Fe ₂ O ₃	0.06	0.05	0.05
Na ₂ O			0.7
有機物			0.4
Cl			0.045
結晶水		(20.7)	19.5
Cd			5 ~ 20ppm
Cr			10 ~ 30ppm
Cu			5 ~ 18ppm
Pb			>5ppm
V			>5ppm
Sr			1100
Zn			50 ~ 100ppm
Ti			50 ~ 60ppm

出典: 1) 本調査事前調査団入手資料 2) Groupe Chimique Tunisien 提供資料

表 6.4-3 副産磷酸石膏の粒度分布

粒径(μ)	頻度分布	積算分布
1	0.6	0.6
1.5	0.1	0.7
2	0.4	1.2
3	0.4	1.7
4	0.6	2.3
6	1.1	3.5
8	1.5	5.0
12	3.7	8.7
16	6.1	14.9
24	8.6	23.6
32	8.3	31.9
48	18.6	50.5
64	10.6	61.2
96	22.4	83.7
128	15.5	99.2
192	0.7	100.0

平均メジアン径は47.5 μ である。

出典: 本調査事前調査団入手資料

表 6.4-4 副産磷酸石膏の物理特性

特性	特性値
石膏の比重 (乾)	2.32
石膏の比重 (水分30%)	1.67
工業用水への石膏の溶解度	2.3 g/l
海水への石膏の溶解度	3.5 g/l
スラリーの密度 (固形分30%水分70%)	1.2
濾過後の石膏水分	32~35%(max40%)
濾過後の石膏温度	60~65%(max80%)

出典: Groupe Chimique Tunisien 提供資料

調査団は種々の質問状を用意し種々のデータを入手検討しようとしたが、企業機密等の理由で提供を受けられないものもあった。得られたデータは上記の三つの表に示したもののみである。これらのデータのみでは詳しい検討は難しいが、検討考察した結果は次の通りである

- 1) 燐酸石膏中の P_2O_5 分が多い。表 6.4-2で得られたデータのうち、今回得たデータは1.2%であるが、工場を訪ねた際得られたのは3.0% 及び1.2~2.5%であり、本社で口頭で得られた数値も3%である。又事前調査団質問状への答えでも2.8%である。 P_2O_5 含有量は工場により異なると思われるが、少ないときでも1.2%、多いときは3%、通常は2.5~3.0%程度と推定される。又数値の変動も大きいと思われる。

この値は一般的な二水石膏法の燐酸プラントから副産する燐酸石膏の P_2O_5 含有量(0.8~1.2%)を大きく上回るものである。

又石膏中に P_2O_5 分が多いということは、本来製品となる燐酸分が石膏に残留していることになり、燐酸の収率が悪いことになる。

調査団は石膏に含まれている P_2O_5 の形態についての検討を行う予定であったが、口頭で水溶性燐酸分が0.3~0.4%との回答を得たのみで、その形態は明確でない。

- 2) フッ素については使用している燐鉍石の特性により左右されるが、チュニジアの燐酸石膏の含有量は一般の燐酸石膏の数値(0.24~1.27%)に比べ多めである。
- 3) 石膏の粒度は平均粒径約 50μ と細かく、石膏の結晶も小さいため、強度が確保できず建材用としては不適である。

6.5 日本及び世界の磷酸石膏の利用の経験

6.5.1 磷酸および石膏の製造方法の改善

欧米では元来天然石膏に恵まれているため、湿式法による磷酸製造の際副生する磷酸石膏の利用はほとんど考えられず、廃棄されていた。

一方、天然石膏に恵まれていなかった日本では、磷酸石膏の有効利用を図る目的と、磷酸製造における磷酸の収率を向上させるという両方の目的から、磷酸石膏の改質について研究が行われた。

磷酸製造工程で副産する石膏の結晶成長が悪く微細になると、スラリー粘度も高くなり、磷酸の分解速度も遅くなるため、副産石膏の結晶はますます小さくなる。そのため、濾過の際フィルターが目詰まりをおこしやすく、濾過能力不足から洗浄不十分となり、結果的に磷酸収率の低下を招く。副産する石膏の結晶の成長を良好にすればこれらの問題は解決され、磷酸収率が向上する。

二水石膏法による磷酸の製造で副産する石膏には P_2O_5 として0.8%程度の磷酸が含まれているが、その磷酸分がセメントの凝結を遅らせるため、セメント用の石膏として利用できない。建材用に利用する場合も同様のことが問題となる。

一方、磷酸製造法自体についても従来の二水石膏法ほかに良質の石膏を得る目的で各種の製造法が研究された。その結果副産する石膏の結晶品質ともに良好になる方法が開発され、特に改質する必要もなくセメントや建材用に直接使用が可能となった。

そのおもな磷酸副産石膏の品質改善法は次の通りである

(1) 石灰乳中和による磷酸分の除去・無害化

二水法で副産される石膏中に含まれる磷酸分は次のような形態で存在すると考えられている。

- 1) 磷酸液として石膏の表面に付着
- 2) 磷酸液として石膏の結晶内部の空隙中に入る
- 3) 石膏中の SO_4 イオンの一部を置換し HPO_4^{2-} イオンが入る
- 4) 未分解磷酸石膏

これらのうち1) および2) の部分は洗浄を良くすれば、それらの磷酸の大部分は除去できる。また、4) の部分は不活性のアバタイトの形態であり、量も少ないので石膏への影響は小さい。

石膏中に存在する磷酸の大部分は3) の部分である。

この磷酸の除去・無害化対策として次の方策が採られた。即ち、副生した石膏を焼成して先ず半水石膏に変化させ、これを再水和させて二水石膏とする。その際遊

離してくる磷酸分を石灰乳で不活性の磷酸石灰塩まで変化させ無害化する。この処理によれば前記1) 及び2) の磷酸分も同時に無害化される。

(2) 半水・二水石膏法による高品質石膏の生産

硫酸による磷鉍石の分解を分解、水和の2工程に分離して、反応温度や濃度を調節することにより、まず石膏を $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ の結晶として生成させ、次にこれを水和させて $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の大きな結晶に成長させる方式である。二水石膏の結晶を粗大にし良好な形状に成長させ、ろ過洗浄効率を良くして磷酸の収率を高めるとともに副産石膏をボード用やセメント用に使用出来るようになる。

磷酸の収率も高く、副産する石膏の結晶も $100\sim 400\mu$ と大きく品質も良好である(全 P_2O_5 0.3%以下、水溶性 P_2O_5 0.1%程度)。そのため特に改質処理の必要もなく、そのままセメントボード用に使用されている。

さらに高濃度の磷酸液(P_2O_5 40~45%)を直接得る方式もある。

(3) 二水・半水石膏法による高品質石膏の生産

本方式は二水石膏法の改良法である。この方法は、磷鉍石の分解が約 70°C の $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 安定域で行われる点では二水石膏法と同じである。分解槽の後にリン酸を分離し、石膏は次の改質槽に移される。改質槽に移された石膏(リンの残存する)は、98%硫酸で再分解が行われる。この分解時の希釈熱で半水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)の準安定域まで温度を上げることができ、半水石膏の結晶化すると同時に付着磷酸の回収、磷酸収率の向上が可能となる。

この半水石膏は凝集して生成するのでろ過しやすく、高純度である。セメント用を使用する場合は水で造粒を行い、造粒工程で二水石膏に変化させる。この方法で得られる磷酸液の濃度は二水石膏法の場合より高く、また既存の二水石膏法の設備に改質工程を組み合わせることで、二水・半水石膏法とすることができる。

セメント用に水和造粒された石膏の品位は付着水分10%以下、全 P_2O_5 0.1%、水溶性 P_2O_5 0.05%程度であるといわれている。

6.5.2 日本および他国での製造・利用状況

世界的には磷酸石膏をセメント用、建材用として利用している国々は次の通りである。

(1) 日本

現在日本では二水法を採用している工場はない。半水-二水法3工場、三水-半水法3工場であり、生産量は120万t/年である。

日本で製造された磷酸石膏は全量セメント用、プラスター用；石膏ボード用及び肥料用に使用されている。

(2) 韓国

長期間山状に堆積し雨水により自然に洗浄及び再結晶したため磷酸分が少なくなった磷酸石膏を天然石膏と混合し、セメント用建材用として使用している。

(3) インドネシア

半水-二水法で製造した磷酸石膏を(1)で述べた石灰での無害化してセメント用に使用している。また、水洗浄したものを建材用に使用している。

(4) フィリピン

長期間堆積させ、雨水により洗浄・再結晶したもののうち、水分12~13%、 P_2O_5 0.15%程度のものを建材用として輸出、 P_2O_5 0.3~0.4%のものをセメント用に使用している。

(5) ブラジル

(1)で述べた改質石膏をセメント用に使用している。

(6) 南アフリカ

石膏を熱分解し、硫酸とセメントの製造が行われている

無水石膏に変えたものに還元剤としてコークスとポルトランドセメントを作るのに必要な SiO_2 や Al_2O_3 の供給源である粘土(頁岩)を混合しチューブミルで 90μ 残分3%程度に粉碎しセメントキルン内で加熱分解しセメントと SO_3 を生産する。この方法による硫酸製造は設備費が硫黄燃焼法の場合より約4倍も高く経済性に問題がある。この方法は、硫黄産出の少ない欧州で開発され、ドイツ、イギリス等で企業化され、現在南アフリカで稼働している。

6.6 磷酸石膏の利用方法と利用可能性の検討

磷酸石膏の利用方法としては次のものが考えられる。

- (1) セメント用凝結調節材
- (2) 建材用材料
- (3) セメントと硫酸の製造
- (4) 特殊セメントの製造

以下では各利用方法の可能性を検討する。

(1) セメント用凝結調節材

一般にセメントの凝結調節材としてセメントの約5%相当量の石膏が使用されている。通常は天然石膏が利用されている。磷酸分はセメントの凝結を著しく遅延するので、磷酸石膏を利用する場合には、磷酸分の除去・無害化が必要となる。

セメント用石膏として許容される P_2O_5 分は水溶性 P_2O_5 分0.2%以下とするのが望ましい。

一般的二水法で製造される石膏は0.8~1.2%程度の磷酸分を含むため、そのまま使用できず前節で述べたような石灰乳による磷酸石膏の改質が必要となる。磷酸分が多い場合は、技術的には改質可能であっても、多量の石灰乳が必要となり処理コストが高くなる。

チュニジアで副産される磷酸石膏は磷酸分が3%前後と高いため、改質技術を適用するにも処理コストが高くなると考えられる。改質を効率よく行い、処理コストを抑えるためには、磷酸製造工程自体を改善し、石膏に残留する磷酸分を減らす必要がある。その上で改質すればセメント用石膏として十分に使用できるものになると考えられる。

セメントに混合する場合には、磷酸石膏が黒ずんでいても、元々セメントの色が黒っぽいため使用に耐える。

チュニジアのセメントの生産量は500~600万t/年であり、この5%とすれば20~30万tの石膏が使用できる。しかし、チュニジアでは天然石膏が豊富に産出し、その価格は工場納入価格で10TD/tと安価である。磷酸石膏はこれと競争する必要があるため、改質コストを引き下げる必要がある。

(2) 建材用材料

建材用としては磷酸分と結晶の大きさが重要である。建材用ボードの場合、強度、紙との付着及び凝結時間等を確保する必要がある。

磷酸分は石膏のPHを下げて紙の付着を悪くするため石灰等による中和が必要となる。磷酸分により凝結時間も遅くなる。

結晶の外形や粒径は強度に大きく影響する。柱状で100~200 μ のものが望ましいが、現在のチュニジアの石膏の場合、結晶が微細すぎて強度が確保できない。この

ため建材として使用するためには、石膏自体の改質が必要である。ただし、チュニジアでは石膏建材の使用量が極めて少ないため、たとえ磷酸石膏を改質したとしても、利用量は限られると考えられる。

(3) セメントと硫酸の製造

チュニジアは磷酸製造工程に要する硫酸を製造するため、硫黄分を輸入している。硫酸は磷酸工場に隣接した硫酸工場で製造している。

Müller-Kühne法は磷酸石膏を熱分解して硫酸とセメントを製造する方法である。これにより磷酸石膏を利用しつつ硫黄分の輸入を低減させる方策が考えられる。

しかし、近年では硫黄は天然ガスや重油からの脱硫操作により副産物として得られるため、世界市場では硫黄は非常に安価である。このため、投資してまでセメント・硫酸製造工程を導入する必要性に乏しいといえる。

また、技術的にみても以下のような問題があるため、現実の導入は困難であると考えられる。

① 燐分によるセメント強度の低下

セメントクリンカー焼成の際、磷酸石膏に含まれる燐分はセメント強度の主要鉱物であるトリカルシウムシリケート($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)の生成を妨げ、セメントの強度を低下させる。磷酸石膏中に含まれるフッ化物がある程度強度を補うが、一方凝結が遅くなる。

クリンカー中の許容燐分濃度は通常1%以下、最高でも2~2.5%である。この場合水溶性でも不溶性でも許容値以下にする必要があり、水洗等の操作が製造コストを上げることになる。

② 無水石膏の不完全脱硫により残留する硫黄分に基づくセメントの品質低下

磷酸石膏からセメントクリンカーと硫酸を製造するプロセスの中で、磷酸石膏より生成した無水石膏の完全脱硫が難しく硫黄化合物がクリンカーに残留する。

CaSO_4 が K_2SO_4 や $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2, 3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ と反応して複塩を作るため、分解反応が遅くなり、クリンカーの生成反応を妨げる。一方 K_2O と SO_3 の反応によりキルン内にコーティングができて、脱硫作用を妨げるため、 SO_4 がクリンカーの中に大量に残留する。このクリンカーから製造したセメントを使用した場合、膨張破壊するおそれがある。

③ 磷酸石膏から出るガス中のフッ化物による硫酸製造触媒の機能阻害

磷酸石膏から出てくるガス中のフッ化物が硫酸製造に必要な触媒の機能を阻害し、生産効率を低下させる。

(4) 特殊セメントの製造

石膏を使用した特殊セメントとして速硬セメントが挙げられる。特殊なアルミン酸カルシウムと無水石膏によるエトリンガイトの生成により早期強度発現性を持つセメントである。

主なエトリンガイト生成制御系特殊セメントは表 6.6-1に示す通りである

チュニジアのLes Ciment Artificiels Tunisiens社でUltimax社との技術提携により速硬セメントを製造しているとのことである。詳細は不明であるが上記の特殊セメントの一つと考えられる。これらのセメントは技術的には製造可能であり日本でも種々のセメントが製造されている。

しかしにも示すように、緊急工事を中心としたもので、製造コストも高く、大量生産しポルトランドセメントに代わって使用されるものではない。

CAT社でも1995年に1,000t製造し外国に輸出したのみでチュニジア国内で販売された実績はない

表 6.6-1 エトリンガイト生成制御系特殊セメントの機能と用途

機能	主要構成化合物	用途
急結	非晶質 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$	吹き付けコンクリート、止水材
急硬、超速硬	$11\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaF}_2$ 又は 非晶質 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$	緊急工事、補修材、地盤改良
超早強	C_3A +無水石膏又は $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 系ガラス	早期脱型コンクリート製品、 緊急工事
高強度	C_3A +無水石膏	高強度コンクリート製品 耐摩耗ライニング
膨張	アウイン ($3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$)	収縮補償コンクリート、 ケミカルプレストレスコンクリート

6.7 磷酸石膏の製品への影響と品質管理

天然石膏を利用する場合は、主成分であるSO₃やCaO含有量を管理すれば良い。

一方、磷酸石膏はかなりの不純物を含む。不純物の内容や量は原料鉱石、磷酸製造プロセスや後処理により異なるが

不純分のうち主要な成分（石英、フッ化物、磷酸塩、有機物および鉄アルミの化合物）は主に製造プロセスにより変わる。一方微量成分（重金属や放射性成分）は原料となる磷酸鉱石によって大きく変わる。

現地入手資料によれば、チュニジアの磷酸石膏の微量成分は表8.4-1

に示すとおりである。全般的に微量成分含有量は低く問題はないといえる。しかし、本資料ではHgや放射性成分については記載されていない。

一方M.J. Rouissi, and A. Bensalah "Phosphogypsum management in Tunisia: Environmental problems and required solutions", 1990 (In Proceedings of the Third International Symposium on phosphogypsum) および M.J. Rouis and M. Zairi "Fermeture de l'ancienne decharge de Phosphogypse de la NPK Sfax 1994"による磷酸石膏の微量成分を表6.7-1に示す。

表 6.7-1チュニジア磷酸石膏の微量成分の濃度

微量成分	濃度(mg/kg)	ケベック州規格(mg/kg)
磷酸分(P ₂ O ₅)	31,000	*
フッ素	40,000	*
Zn ⁺⁺	315	100
Cd ⁺⁺	39.8	1.5
Hg ⁺⁺	14.5	0.2
Ni ⁺	15.4	50
Fe ⁺⁺	58.4	*
Cu ⁺⁺	5.9	50
Mo ⁺⁺	5	2
Co ⁺⁺	7.6	15

注：チュニジアには適用できる規格がないので比較のためカナダケベック州の規格を使用している。

この表より磷酸分、フッ素、Cd、及びHgの量がかなり高いといえる。

現在チュニジアの磷酸プラントから発生する磷酸石膏は陸上でタビアに積まれるか海中に投棄されている。

堆積された磷酸石膏の環境に対する悪影響としては次のものが挙げられる。

- (a) フッ化物その他有害物質の大気中への汚染
- (b) 酸、重金属成分及び放射性物質による土壌・地下水汚染
- (c) ラドンガス

(d)放射性ダストの吸入

(e)γ線の直接被曝

チュニジアの燐酸石膏は燐酸分が多くPHが低いいため、Hg やCdなど重金属が溶出しやすく、土壌および地下水汚染が問題になると考えられる。

一方燐酸石膏に含まれる放射性物質は燐鉍石に含有されるU-238とTh-232である。チュニジアの燐鉍石は堆積岩型なのでほとんどがU-238でありThは少ないと推定される。

よって、燐酸石膏に含まれている放射性物質の主体はU-238から出てくるRa-226であると考えられる。

チュニジアの燐酸石膏についてはデータが得られなかったが原料の燐鉍石のウラン分は表 6.7-2に示すとおりである

表 6.7-2 燐鉍石中のウラン含有量

燐鉍石の種類	産地	ウラン含有量(%)
結塊燐鉍石	フロリダ	0.0085~0.017
	フロリダ68	0.014
	フロリダ77	0.007
	モロッコ	0.0093~0.0119
	ヨルダン	0.007~0.0149
	サハラ	0.006
	チュニジア	0.0032~0.0047
結塊燐鉍石	アルジェリア	0.011~0.0132
	イスラエル	0.012~0.014
	トーゴ	0.011
グアノ質	ロシア	0.004
	マカテア	0.006
燐鉍石	アンガウル	0.005
	ナウル	

出典：動燃東海事業所：PNCT842-75-05(1975)

チュニジアの燐鉍石のウラン含有量は他の燐鉍石と比較して低いので燐酸石膏の放射性物質の含有量も低く環境への影響も小さいと推定される

燐酸石膏を利用するための具体的な品質管理は次の通りである。

セメント用凝結調節材として使用する場合は石膏中のSO₃含有量の他に燐酸分やフッ素分、石膏の形態、粒度分布が品質管理の対象となる。

燐酸分やフッ素分はセメントの凝結に悪影響があるので厳密に管理する必要がある。石膏の形態に関しては二水石膏であればよいが半水石膏の形は望ましくない。粒度分布については化学的には問題ないがハンドリング面での配慮が必要となる。

建材として使用する場合はすでに述べた如く強度、紙への付着性に影響するPH値等の管理とともに、放射性物質含有量の低減が必要となる。PH値が低い場合には強度の低下や紙への付着が悪くなる。放射線についてはRa-226から発生するラドンによる汚染が問題になると考えられる。

石膏建材からの放射線についてEUやWHOでは特に規制値を設けてはいないが、アメリカやオランダの建材の放射線に関する規制値は表 6.7-3に示すとおりである。また、燐鉱石や石膏の平均的な放射線量は表 6.2-4に示す通りである。

表に示す如く燐酸石膏は放射能を持っているので、建材として使用する場合には規制値以下となるよう、一般には天然石膏と混合するなどの方法を講じる必要があるがチュニジアの燐酸石膏の場合幸いなことに放射能が低いと推定されるので混合割合は少ないと思われる。

表 6.7-3 建材からの放射線の規制値

国名	Ra-226 (pCi/g)
アメリカ	10
オランダ	5~10

出典: J.J.Schultz, D.I.Gregory and O.P.Engelstad "Phosphate Fertilizers" in Conference on Ecologically Sustainable Industrial Development, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Copenhagen, 1991

表 6.7-4 燐鉱石・石膏の放射能

素材名	Ra-226 (pCi/g)
燐鉱石	38
土壌	0.5
燐酸石膏	30.8
天然石膏	0.1~2
燐酸石膏の限界値	4~5
一般建材 (石膏無使用)	0.1~2
石膏建材: 石膏タイル (燐酸石膏)	10
石膏建材: 石膏ブロック (燐酸石膏)	1

出典: J.J.Schultz, D.I.Gregory and O.P.Engelstad "Phosphate Fertilizers" in Conference on Ecologically Sustainable Industrial Development, United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Copenhagen, 1991

6.8 磷酸石膏の利用を推進するための課題

現在チュニジア国の磷酸工場では膨大な量の磷酸石膏がタビアとして積み上げ放置されている、あるいは海中に投棄されている。これらの有効利用を図ることは環境面からみても必要なことである。

磷酸石膏の利用は日々工場より新規に発生している石膏とすでにタビアとして堆積されたものの二つに分けて考える必要がある。

(1) 新規に発生する石膏の再利用に関する課題

再利用方法として最も可能性が高いのはセメント用凝結調節材として利用することである。使用量は年間20～30万トンであり発生量の5%程度ではあるが他の方法に比較して色や結晶の形や大きさも問題にならず、使用量確保できる。

しかしながら現在発生している磷酸石膏は磷酸分 (P_2O_5) が3%と多く、また石膏の結晶も極く小さいためにこのままセメント用凝結調節材に使用することは不可能である。

この石膏をセメント用凝結調節材に改質するためには、多量の石灰が必要となりコスト高となるため、天然石膏との競争には耐えられない。

SIAPE法による磷酸製造は磷酸を容易に安く製造するには適した方法と思われるが、発生する磷酸石膏の利用を考慮したものではないため、磷酸分が残留している。磷酸石膏を利用するためには、製造プロセスの改善が必要であると考えられる。

すなわち磷酸製造プロセスを改造して石膏の結晶を大きくし(平均 150μ)、フィルターでの濾過洗浄性を上げて磷酸収率の向上、磷酸分の少ない石膏の製造を計るべきである。一つの改善で二つのメリットが生じるので経済的にも有効と考えられる。

具体的には反応槽を増やし反応時間を長くして反応を十分行くと共に石膏の種結晶を循環し粒径の大きい石膏を製造する。

磷酸分が1%以下に減少した石膏を上述の石灰乳により磷酸の無害化処理を行えばセメントの凝結調節材として使用することも可能となると考えられる。

日本では磷酸製造プロセス改造により日々発生している磷酸石膏をそのまま再利用できるようになっている。

(2) すでに堆積された石膏の再利用に関する課題

一方韓国、フィリピン等では磷酸石膏をタビアの如く大きな貯蔵地に長期間(5～10年)貯蔵し雨水にさらすことにより、石膏中の磷酸分を洗浄するとともに石膏を再結晶させ、磷酸の少ない成長した結晶を得ている。この再結晶させた石膏を

そのまま、あるいはさらに改質して使用している。この方法では廃水が直接地面にしみ込まないように地面にはゴム板等を敷いている。

チュニジアにおいても新規に発生した石膏に比べ、タビアに積まれた石膏は雨水にさらされているため、磷酸分の洗浄除去や再結晶化が多少なりとも行われていると考えられる。

ただし、このような方法では降雨量及び積み付けられた石膏の性質（成分、結晶の大きさ、形）により効果が異なるので現状の石膏では非常に長い期間が必要と考えられる。

使用法からは、再利用について以下の課題を解決する必要があると考えられる。

① セメント凝結調節材

現在チュニジアではセメント凝結調節材として天然石膏が使用されている。チュニジアでは天然石膏が豊富に産出し、価格も工場納入価格で10TD/t位である。一方、磷酸石膏を改質するための改質コストは一般的には年産30万トンプラントで約20TD/tである。各国の燃料費、原料費によっても異なるが、商業ベースで考えると磷酸石膏を改質して利用することは、天然石膏との競争には耐えられないと考えられる。

仮に環境対策を重視する場合には、商業ベースではなく、環境施策として行政が何らかの対策を講じる必要がある。この場合、例えば国内では磷酸石膏を使用し、天然石膏は輸出向け商品とするような考え方が必要である。

② 建材

石膏建材は、日本を含む諸外国ではかなり大量に使用されているが、チュニジアでは極々少量しか使用されていない。チュニジアでは粘土が大量に産出するため、それを利用して作った赤煉瓦を使用している。個人住宅だけでなくかなり大きなビルでも床壁及び間仕切りには赤レンガを利用しているため、石膏の利用される範囲は極々限られている。

建材についても天然石膏との競争には耐えられないと考えられるため、セメント凝結調節材としての利用が適当であると考えられる。