

は、粉末冶金年産量は、鍛造年産量の $1/10 \sim 1/40$ 、その他の国では大体 $1/100$ とみて間違いはない。従って、この比率で逆算するとラフな数字であるが、5万トン／年程度と推定できる。

次に、鍛造年産量と鑄造年産量を比較すると、工業先進国では $1:2$ ないし $1:3$ 、その他の国では鑄造品の方が断然多く、 $1:5$ ないし $1:10$ の比率になる。従って、タイの鑄造年産量を60万トンとすれば、鍛造年産量は6～12万トン／年と推定できる。

鍛造品はとかく「村の鍛冶屋さん」の範疇に属する仕事が多く、統計に汲み上げにくいのであろうが、ごく大雑把にみて5～10万トン／年程度と見積もれば間違いなであろう。

この場合、鍛造の分類は熱間の自由鍛造が大部分と思うが、今後の技術改善の方向としては金型鍛造に移行して、寸法精度と形状精度を向上させることにより、需要を開拓することが大切であろう。

前項3-5-1と同様に、日本側から輸出入統計でみると次のようになる。

1992年、1993年共にタイから我国への輸入はない。また、輸出は1992年に0.46億円で、表3-1の鍛造品輸出全体金額26.6億円の1.7%、1993年は0.41億円で、同24.5億円の1.7%になる。

3-6 インドネシアの鑄物と鍛造工場の現状

3-6-1 鑄造関係

インドネシアの鑄造メーカーは3つに分類することが出来る。

第1のグループは、日本側出資率51%以上の日系企業、または、出資率49%以下であっても日本メーカーの技術管理下にあり強力な合併関係をもつ現地企業。これらの企業は、自動車メーカー、オートバイメーカーおよびそれらの部品メーカーが主体であり、約30社ある。

このグループにおいては、品質的な問題はほとんどなく、合計して約10万トン／年と、インドネシア鑄造年産量の5分の3を占めている。

これらの企業の生産能力指数を100とする。

第2のグループは、日本または、それ以外の鑄造専門メーカーの技術支援を受け、或いは独自に努力をしている現地企業であり、約30社ある。

自動車部品鑄物をつくるには、技術的にも、また、管理的にも未だ問題を有するが、合計して約3万トン／年とインドネシア鑄造年産量の5分の1を担っている。

生産能力指数は30である。

第3のグループは、全くの零細企業か、或いは規模は大きくても技術改善を怠っている企業で、約450社が存在する。

これらの企業の生産量は、合計して約3万トン／年とインドネシア鋳造年産量の5分の1を担っている。

生産能力指数は2。

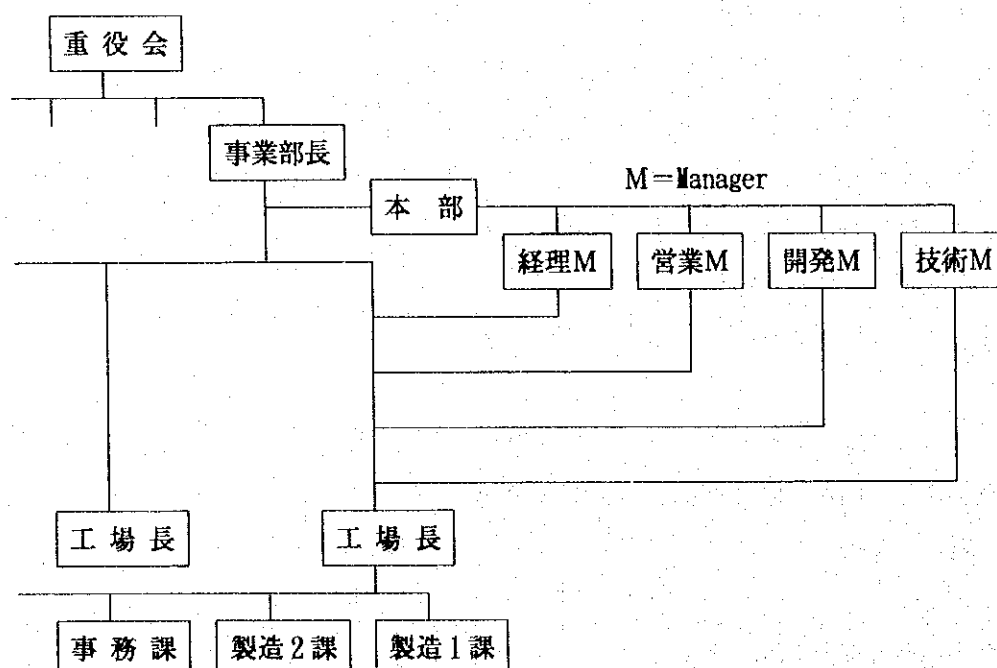
筆者は1992年10月から3ヶ月間、1993年12月から12ヶ月間、合計2回で15ヶ月間、インドネシアの鋳造メーカーに赴任し技術協力にあたった。この間、多くの機会に多数の現地企業や大学研究室を訪問して実状を見聞し、ここで日本とはかなり相違する点があることを知った。

その最たるものは、生産現場である工場はあくまでも物づくりに専念し、だまって指示された通りの製造作業をすればよい。すべては本社デスクワークのコントロールに従えという工場管理方式である。

こういう方式は国営企業や歴史の古い企業に多いと言うが、大なり小なり、業務分担が上意下達の命令系統として区分され、設定されているようである。従って、生産現場からの改善提案は、極めて少なく、改善意欲も能力もあまり期待出来ない。

第2の相違点は交絡管理体制である。図3-4に模式図を示す。

図3-4 工場の交絡管理体制



事業部のすべては事業部長に委ねられており、全権が集中していることは、時には機動力の発揮として作用するが、適正能力を欠く場合は、権限の委譲がされていないために決断の時機を失し、時には機械装置の補修の予算支出の可否が宙ぶらりんで、時が流れ去るような事態を招く。

また、工場長という役職が日本のそれとかなり違っており、日本の場合に対応させれば、職場長か班長クラスである。表現が適切でないかもしれないが、人足頭に近い権限しかない。極端に言えば、自発的には何も決定できず決断できない。

15ヶ月間の滞在中の筆者の職位は工場長補佐であったが、ある時は、大きな形状のダイカスト製品を受注したから某日までに××個送品せよと本部指示がくる。現有ダイカスト機の型締力及びプランジャ容量の双方で出来ない大きさの製品だから受注を断るか、外注に廻せと答申してもそれは認められない。

或いは、この製品は左右同形に出来ないから、ダイカスト金型は1ヶ取りがよいと助言しても2ヶ取り、時には4倍の能率だと、いつも4ヶ取りの金型が支給されてくる。当然のことながら、不良率は大きく、機械停止時間が頻発し、能率は1個取りの金型に劣る結果になる。

グラビティ鑄造機のキャパシティが△△だから、新規受注分の納期は2週間後にしてくれと言っても1週間と厳命が下り、24時間体制の上に更に残業増加で対処することになる。

この鑄物の検査規格を満足させるには、金型鑄造がよいと助言しても、受注価格が安いから砂型でやってくれという要求がくる。当然のことながら、品質は低下する。

これらはいずれも工場長に対して指揮権をもつ、本部マネージャーの指示の形になり、それぞれが交絡して工場長を拘束する。

若し本部マネージャーが現場の状況と技術内容を熟知していれば、これは大変強力な、そして機動力のある工場運営になるが、現場の状況は紙面でしか知らず、現場経験も技術力も不足な場合は大混乱を招くことになる。この結果、無理な製法で無理な生産をし、員数合せて不良品を混ぜ込んで送品するとか、とても実施出来ない規格や管理体制を客先に約束し、現場は時にはその事実を知らされずに、後で返品の始末をさせられることになる。

インドネシアの鑄造メーカーの内、上記の第1グループは、夫々がどんどん生産能力を拡大し、技術改善をすすめて行くであろうが、第2グループの企業に対しては、固有技術と管理技術を車の両輪として同時に技術移転をすることが必要であり、それによってはじめて第2グループから第1グループに参入出来るようになるであろう。

次に、統計資料からインドネシアの鑄造を概観する。

1994年のインドネシアの鑄造生産量は、16～17万トンと推測される。1994年、インドネシアは自動車等の産業に対して部品の国産化率を細かく分類して、それぞれに優遇的或いは懲罰的税率を定めたが、これにより一挙にインドネシア国内の鑄造需要量は急増し、25万トン程度が必要になったが、60％程度の供給率にとどまっている。

図3-5に参考資料として1992年の世界の鑄物生産量を示す。

インドネシアの1992年の鑄物

総生産量は14.0万トンであり、右図において、第10位の台湾の鑄物生産量131.7万トンの約11％弱に相当し、世界全体量に対しては0.21％に相当する。

ちなみに、タイの鑄物総生産量は60万トンで、台湾の45.6％、全世界の0.92％に相当する。

表3-3は近隣諸国の鑄物生産量を人口1人当りで比較した資料である。

これで見ると、タイが中国に続いて10kg／1人以上に達しているのに対し、インドネシアは0.8kg／1人と異常に低いことがわかる。

図3-5 1992年の世界の鑄物生産量
(単位：万トン)、総合計6,639.3万トン

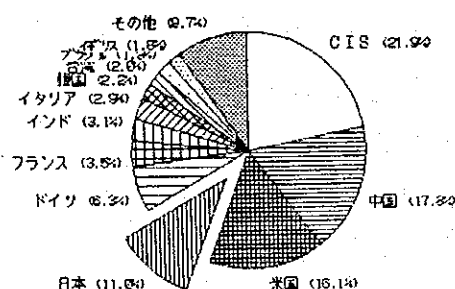


表3-3 近隣諸国の人口1人当り鑄物生産量比較

(1992年度)

順位	国名	生産量kg／1人	総生産量 (万トン)
1	台湾	65.9	131.7
2	日本	58.5	719.7
3	韓国	34.9	140.9
4	シンガポール	18.5	5.0
5	香港	15.5	9.0
6	中国	11.3	1,161.6
7	タイ	10.8	60.0
8	パキスタン	5.5	60.0
9	マレーシア	4.1	7.0
10	フィリピン	3.2	19.0
11	ネパール	2.7	0.2
12	インド	2.4	200.0
13	バングラデッシュ	0.9	10.0
14	インドネシア	0.8	14.0
15	スリランカ	0.6	1.0

次にインドネシアと我国の鑄造品の輸出入の例を表3-4および図3-1、図3-2でみ

てみると、圧倒的な輸出超過であり、同時に鋳物としての輸出以外に後加工により、より付加価値を高めて、構造部品として相当倍率の量が出ていることを窺わせている。

表3-4 我国とインドネシアの鋳造品、鍛造品の輸出入

輸出

年度	鋳造品		鍛造品	
	量(千トン)	金額(億円)	量(千トン)	金額(億円)
1992年	14.5	26.03	0.05	0.15
1993年	2.4	8.49	0.03	0.14

輸入

年度	鋳造品		鍛造品	
	量(千トン)	金額(億円)	量(千トン)	金額(億円)
1992年	0.09	0.12	0.04	0.05
1993年	0.13	0.20	-	-

3-6-2 鍛造関係

鋳造に関するデータに比較して、鍛造関係のデータは更に少ない。鍛造の近代的工場は自動車メーカーの集中するジカルタおよびその近郊のブカシ、ボゴールから、大学の街と言われるバンドンを結ぶ地域に偏在している。筆者が滞在していたバンドンより更に東に位置する石油の街チルボンには、自由鍛造という鍛冶屋さんのような鍛造工場はいくつかあったが、規模も小さく、作っているものも雑多な1品生産でとても統計的数値の網の対象にはならない。

インドネシアでは自動車、オートバイの生産量が急増するに伴って、5～10万トンの需要があると推測されるが、現在の生産量は3～5万トン程度で需要の50%を供給するにとどまっている。

日系企業が現在3社あり、更に3社が進出を計画中で、現地企業も独自に進出を検討し、大学研究室とタイアップしている例もある。

鍛造専門ないしは後加工を含めての鍛造製品メーカーは現在5～10社で、1995年後半には20社位になるものと見込まれている。

鍛造は鋳造に比較してやや高次の技術で、過去の発展拡大の軌跡を顧ると、先ず鋳造がスタートし、やや遅れて鍛造が始まり、しばらくしてダイカストが鋳造に加わり、次に精密鍛

造がはじまる。

生産量で比較すると、鍛造対鑄造の比率が1：10位が工業化スタートの時点で1：2或いは1：3が最終比率のように思う。

1. 鑄型の種類と適用製品

鑄型分類	系 統	粘結剤	代表的製造法	用途・鑄物製品・備考
生型	生砂	ベント (吸引)	生砂型、高圧造型 Vプロセス、消失模型	約70%、量産性が大きく コスト有利、鑄物全般 (乾燥砂) 異形管、車両 部品、カウンタウェイト、ピストン レーム、浴槽、バルブ類
熱硬化性 鑄型 自硬化性 鑄型	有機系 無機系	フェノール系 フロン系 珪酸ソーダ 系 セメント系	シェルモールド法 ホットボックス法、ウォーム ボックス法 K、N、Hプロセスなど ダイカ 法、エスチル法 プレメント型、OJプロセス Kプロセス	車両部品、機械部品 車両部品、機械部品 船舶部品、機械部品 船舶部品、機械部品
	有機系	フェノール系 フロン系 ウレタン系	アルファセト法 フロン法 ベセト・リノキア法	車両部品、機械部品、 建機農機 (同上) (同上)
ガス硬化性 鑄型	無機系	珪酸ソーダ 系	CO ₂ 法、VRH法	船舶部品、建機農機、 機械部品
	有機系	フェノール系 フロン系 ウレタン系	ベセト法 ハードボックス法 ゴールドボックス法	車両部品、機械部品、 構造部材 (同上) (同上)
(その他) 磷酸系鑄 型 水溶性鑄 型 石膏鑄型 金属鑄型		磷酸アルミ系 アルミシ酸ソー ダ系 (石膏) (金属性)		機械部品、構造部材 バルブ、コック類、油圧機器 精密成形部品、工芸部品 マンホール蓋、建機農機

II. 美術鑄物について

タイでは仏像や置物として、銅合金の美術鑄物があるが、量的には小さな規模である。

また、台湾のロストワックスメーカーを、台湾CPC、MIDRCの委託で25～30社を巡回指導したが、その折りに「何故タイに工場移転をしないのか」と尋ねたところ、①蠟型用金型調達難 ②熟練工不足 ③電気代が高い などの理由でコスト的に不利だからと云う理由を挙げていた。

前述の「タイ国 鑄物と鍛造工業の現状：鑄物関係」で述べた様に、コスト高と国内市場が小さいために見るべきものがない。

インドネシアでは、2～3社の大手鑄造メーカーが兼業で精密鑄造を行っていると言う話を聞いたことがあり、インドネシア滞在中に何人かこの技術を聴きに來た人がいたが、企業化・操業化は聞いていない。

貴金属の精密鑄造は、歯科関係でお世話になるが、例えばステンレス鋼をみると、精度の高い機械産業、食品加工装置産業、石油精製装置産業の基盤がない地域では発展できない。高合金鋼関係では兵器産業、航空宇宙産業が部品供給先になるが、非公開工場が多い。

ちなみに、日本の1994年（平成6年）の全鑄物生産金額1,778,360百万円に対して、精密鑄造品は38,622百万円で、全量の内約2.2%、同じく1993年（平成5年）は、1,756,452百万円対40,378百万円で2.3%である。（注：平成6年は35,306百万円、平成5年は37,624百万円という読み値もある。）

全世界の約16%の鑄物生産量を占めるアメリカの統計値をみると、1992年の全鑄物生産量10,537千トンの内、精密鑄造品は32千トンで約0.3%にしかすぎない。

筆者はかつて、勤務先から、1964年（昭和39年）に精密鑄造の技術導入のためにアメリカに4ヶ月間派遣され、全国のメーカーを訪問したが、当時1個1ドル以上の製品でないと採算がとれないと異口同音に言っていたことを思い出す。技術的にも、また、個人的にも興味深いものであるが、環境保全の観点からの重要度は小さい。

Ⅲ. 鑄造の省エネルギーおよび余熱の有効利用

筆者は、鍛造の際の省エネおよび余熱の有効利用に関して、塑性加工学会での講演、民間企業、あるいは船用工業会を対象として技術調査・指導を行って来ているが、これらの経験を通じて、鍛造の省エネを列挙すると、

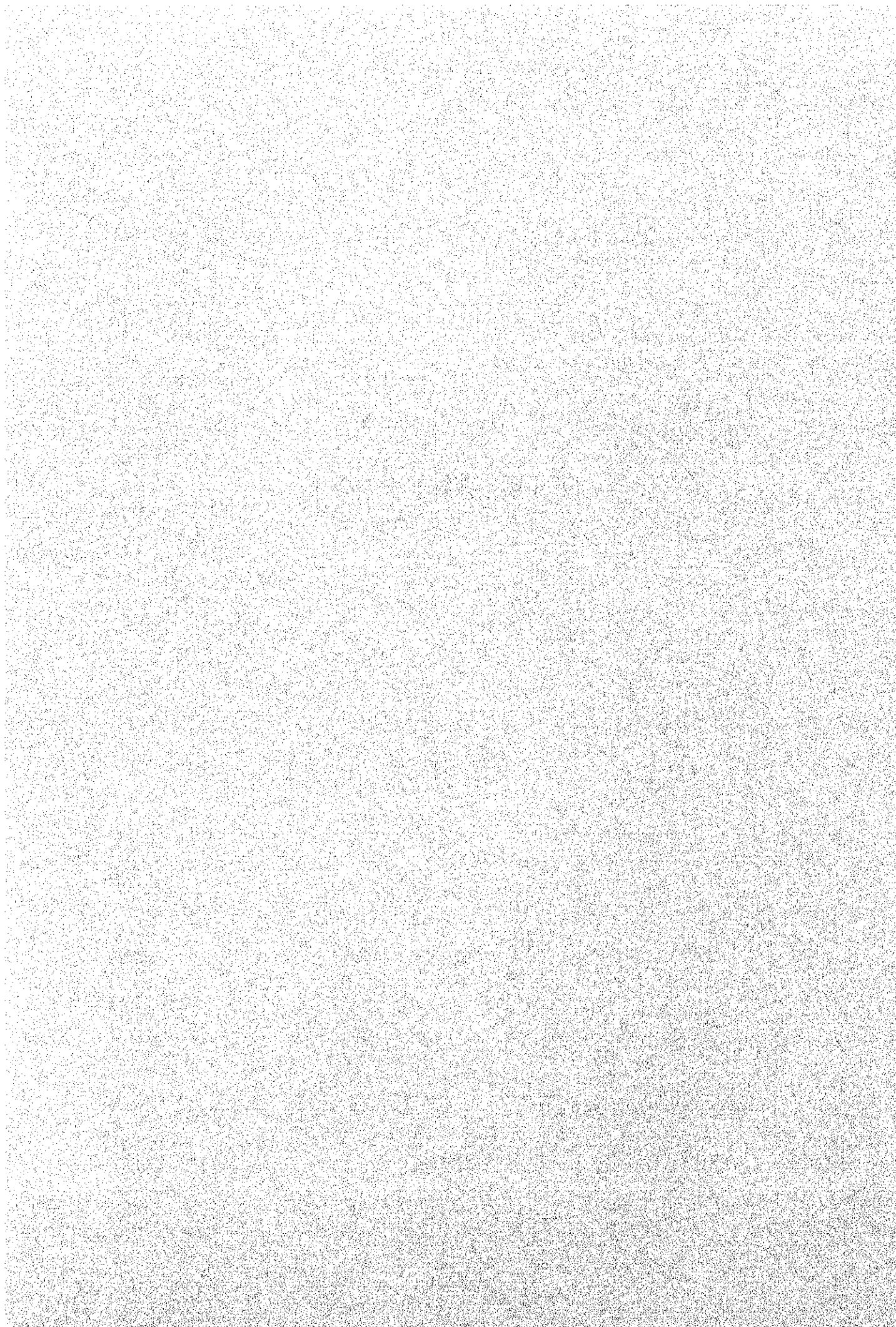
- ① 炉内容積を極力小さく適正サイズにする。
- ② 排気口を絞り、内圧を高くする。
- ③ 素材取りを、同じ体積の場合には出来るだけ小径にする。(長くなる)
- ④ 燃焼炉の場合は、余剰空気送風を排し、熱交換機による熱風送風にする。
- ⑤ 適正加熱温度をキープし、過熱および長時間の加熱を避ける。
- ⑥ 誘導加熱の場合は、高周波－低周波の組み合わせ型とする。

などがある。

また、冷間鍛造の場合も含めて、使用機械容量の適正化により、機械稼働の節電を図る必要があるが、機械容量を小さくし過ぎると、金型鑄造が短くなる弊害が出てくる。最近では、機械部品類についても、熱間鍛造時の余熱を活用して、直接あるいは僅かに再加熱して熱処理する「鍛造熱処理」または「加工熱処理」の実用化例も散見されるが、鍛造製品の温度バラツキの制御が問題になる。

省エネ対策として、この熱処理を採用することは有意義であるが、製品形状により、適用出来るものと、出来ないものがあるし、鍛造後に機械加工を施す場合には、採用できないという面がある。

第4章 非鉄・セメント



第4章 非鉄・セメント

4-1 非鉄製造工程の概要

非鉄金属製錬は、国内・海外鉱石およびスクラップ等の原料から溶鉱・電解等の工程を経て、非鉄金属地金を製造する産業である。

現在日本において製錬が行われている常用金属（コモンメタル）は、銅、亜鉛および鉛であり、本調査においてもこれらの金属の製錬を主たる対象とする。

製錬工程は、それぞれの金属とその化合物の各種の性質を利用して組み立てられている。基本になる反応は、通常電氣的に正の状態で存在する原料中の金属電子に、なんらかの方法で電子を与え、電氣的に中性の遊離金属とする。すなわち広義の還元であり、この際、固-液、液-液など異相間の分配の関係を利用して随伴不要物質との分離をはかることが多い。目的とする化学反応や異相分離のためには、かなりのエネルギー投入を要するのが一般で、これらをまとめて円滑に金属を生産する工程が製錬（extractive metallurgy）と呼ばれる。

還元法は金属の種類や状態に応じ、種々の方法が行われている。すなわち、(a) 炭素質還元剤により $MO + C \rightarrow M + CO$ 、 $MO + CO \rightarrow M + CO_2$ の様に金属Mを得る方法。本法は酸化鉱または予備処理により酸化物に変化させた鉱石に広く適用され、錫（Sn）や鉛（Pb）の製錬はこの例である。(b) 還元剤として水素を用いる方法。タングステン（W）やモリブデン（Mo）製錬の様に予備処理で精製した化合物に適用することが多い。(c) $MX + Y \rightarrow M + XY$ の様に、元素Xに対する親和力の強い物質Yを用いる方法。 Cr_2O_3 のAl還元によるCr製造、 $TiCl_4$ のMg還元によるTi製錬などの金属還元剤の使用がこの例である。(d) 熱解離により金属を得る方法。 $Ni(CO)_4 \rightarrow Ni + 4CO$ の様にニッケルカルボニルからニッケルの製造はこの例である。(e) 水溶液中での還元。この場合、電解還元、水素還元、金属（置換）還元などが行われる。具体例としては、 $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ 、 $Cu^{2+} + H_2 \rightarrow Cu$ 、 $Cu^{2+} + Fe \rightarrow Cu + Fe^{2+}$ などが挙げられる。(f) 電位列で水素より格段に卑な金属は、水溶液電解による還元は困難で、熔融塩中での電解還元が行われる。氷晶石（ Na_3AlF_6 ）にアルミナ（ Al_2O_3 ）を溶解させて電解し、Alを得るのは典型的な例である。

実際には、上述の様な金属への還元段階の前に、原料鉱石を高温、あるいは水溶液などで、種々の予備処理をする場合が多い。一般に、製錬操作は燃料の燃焼や、電熱などによる高温状態で行うことが多く、これを乾式製錬または乾式冶金（pyrometallurgy）と呼ぶ。これに

対し、常温付近で水溶液のような溶媒により、抽出したり、置換したり、還元したりする方法を湿式製錬または湿式冶金(hydrometallurgy)という。以上のうち、電熱や電解を利用する製錬をまとめて電気冶金(electrometallurgy)という。

環境対策面から見た場合、非鉄金属製錬業は、早い時期から環境問題に直面し、このため公害対策の歴史も古い。原料鉱石の多くが硫化物であることにより、SO_xの発生・排出、および製錬に伴うエネルギーの大量消費が主たる環境負荷因子であり、現在までの環境対策も、これらを中心になされてきている。

戦後、特に昭和30～40年代には、急拡大する非鉄需要に対応し新しい製錬技術（銅：溶鉱炉→自溶炉、反射炉、三菱連続製銅法、亜鉛：蒸留法→湿式製錬、ISP法）が導入され、これにより、生産効率の向上とともに、排ガス中の二酸化硫黄が高濃度化することにより硫黄回収効率も向上した。

非鉄金属製錬業の公害防止関係設備投資は、昭和45年度から急増し、以降は増加傾向で推移。石油危機後の不況期には、全設備投資額が大幅に減少する中で、公害防止関係設備投資の比率は増大し、昭和51年度には全設備投資の40%近くを占めることとなった。

表4-1に平成元年～4年度の日本における銅、鉛および亜鉛の生産量を示す。

表4-1 日本における銅、鉛、亜鉛の生産量の推移

(単位：千ト)

年 度	平 1	平 2	平 3	平 4
銅	999	1,022	1,100	1,171
鉛	260	265	272	267
亜鉛	684	696	732	723

(出典) 資源統計年報

また、近年需要が増加しているアルミニウムに関しては、現在日本においてはホール・エルー法を原理としたボーキサイトからの一次精錬はほとんど行われていないため、本調査においては、その精錬工程そのものには深入りせず、アルミ製品のリサイクルを中心とした調査を行う。

4-1-1 銅製錬の製造工程

銅製錬の対象となる鉱石としては硫化鉱が多く、中でも黄銅鉱が主であり、輝銅鉱、斑銅鉱も対象となる。地域的に限られるが、酸化鉱や自然銅も処理される。硫化銅鉱は賦存状態、鉱床の大きさ、採掘の難易にもよるがCu 1%前後のものが選鉱によってCu 20~30%の精鉱になる。銅製錬の原料の大部分はこの銅精鉱である。

製錬法の主流は乾式製錬であり、選鉱が経済的でない低品位鉱や酸化鉱を対象とするときのみ湿式製錬が用いられる。

銅の乾式製錬はマット (matte) (*) を造る溶錬、マットから粗銅を得る製銅、粗銅を精製する電解製錬の3つの工程に大別できる。図4-1に銅の製造工程を示す。

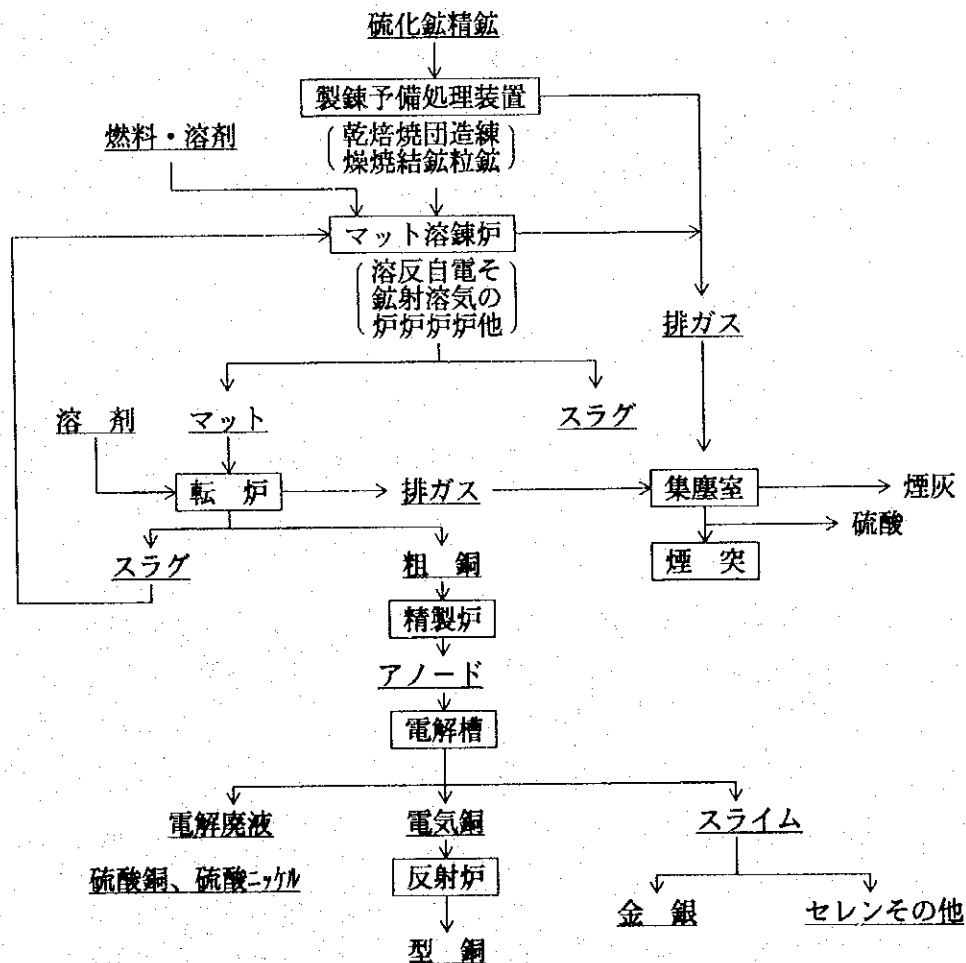


図4-1 銅の製造工程

(1) マット溶錬

溶錬工程では、ドライヤーで乾燥した精鉱(CuFeS_2)、溶剤である珪酸鉱(SiO_2)等をマット溶錬炉に投入し、酸素富化空気を吹き込むことにより20~30%の銅分を含む精鉱を40~60%の銅分を含むマット、鉄および二酸化珪素を主成分とするスラグ^(*)および亜硫酸ガスとする。からみ^(**)は水砕されてスラグとし、亜硫酸ガスは硫酸工場に送られる。

マット溶錬炉としては、従来溶鉱炉と反射炉が主体であったが、近年多くの製錬所でオートクランプ式自溶炉 (Outokump Flash Furnace) が導入され、現在では銅精鉱の溶解は自溶炉と反射炉が主体となっている。中でも自溶炉は、精鉱の酸化反応熱を利用するため、他の方法に比べて燃料消費率が低く、環境を汚染することも少ない。このため、わが国ではCu製錬所の大型化に伴い、多くの製錬所がこのタイプの炉を採用する様になってきている。

(*) (**) マットは「かわ」とも呼ばれ、いくつかの硫化物が炉中で溶け合って生成する人工的な均一融体である。Cu、Ni製錬では極めて重要な中間産物で、Pb精錬でも粗鉛相のほかにマット相が出ることもある。
スラグ (slag) とは、炉に対する装入物中の脈石成分である SiO_2 、 Al_2O_3 や目的としている金属（あるいはマット）に入ることが望ましくない不純物など、主として酸化物同士が混合溶融して均一な液体となっているもので、非鉄製錬のスラグでは酸化鉄も主成分の一つとなっている。非鉄金属製錬では「からみ」という方が普通である。

(2) 転炉製銅および電解精製

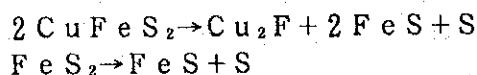
熔融マットは転炉、精製炉等において、さらに精製され、銅分が99%を越える粗銅が得られる。転炉スラグはCu 3~7%であり、マット溶錬炉に戻される。排ガスは排熱ボイラー、EPによって熱回収、煙灰除去を行った後、マット溶錬炉からの排ガスと一緒にして硫酸工場へ送る。

電解工程では、鑄造した粗銅を陽極として、硫酸銅水溶液の入った電解槽において電気分解し電気銅 (99.99%) とする。

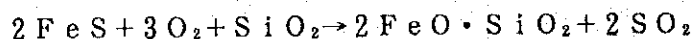
炉内における主要な反応は次の通りである。

1) マット溶錬炉における反応

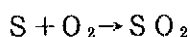
・マット



・スラグ

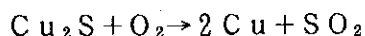


・その他

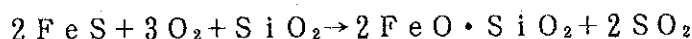


2) 転炉における反応

・粗銅



・スラグ



4-1-2 鉛製錬の製造工程

鉛 (Pb) の鉱石の中で最も重要なのは方鉛鉱 (PbS) で、日本ではせん亜鉛鉱 (ZnS) と共存することが多い。これは優先浮選法でPb精鉱 (Pb50%以上) とZn精鉱 (Zn50%前後) に分離する。またPb精鉱中には銀 (Ag) が含まれていることが多く、Pb製錬ではAgの分離回収も重要である。

鉛製錬の製造工程は、精鉱の焼結工程、焼結鉱の溶解工程、粗鉛の電解工程等から構成される。図4-2に鉛の製造工程を示す。

(1) 鉛製錬

高品位 (Pb70%以上) のPb精鉱の標準的な処理方法は焙焼・焼結-還元法である。まず焼結工程では、鉛精鉱をケイ砂、石灰石等の溶剤とともに焼結機に投入し、重油バーナー等で点火し、酸素富化空気を吹き込むことにより、鉛精鉱中の硫化鉛を酸化鉛に酸化し、焼結させる。その際、鉱石中のS分は亜硫酸ガスとして回収され硫酸工場へ送られる。焼結工程での主反応： $2\text{PbS} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{PbO} + 2\text{SO}_2$

溶鋅工程での主反応： $\text{PbO} + \text{CO} \rightarrow \text{Pb} + \text{CO}_2$

(2) 粗鉛の精製

脱銅粗鉛の精製は、一般的に電解によって行われる。Pbの電解精製はBetts法と呼ばれる電解法であり、 H_2SiF_6 と PbSiF_6 からなる電解液^(*)を用い、粗鉛を陽極とし純鉛種板を陰極とし電解する。

^(*) PbSiF_6 の溶解度が小さいため、硫酸電解液は用いることが出来ない。

4-1-3 亜鉛精錬の製造工程

Zn鉱石の中で現在製錬の対象になるものは主としてせん亜鉛鉱(ZnS)であり、Zn精鉱はZnを50%前後含む。また、Zn精鉱にはわずかながらCdSが随伴するため、Zn製錬の副産物としてCdが回収される。

亜鉛の製錬法には、大別して乾式法と湿式法の2種類がある。乾式法は ZnS を酸化焙焼して ZnO とし、これを還元蒸留して金属Znを得るものである。

乾式法による製錬法のいくつかを次に示す。

—水平レトリート法 (horizontal retort process)

古くから行われている方法であるが、人手を要し、高熱下の作業であるため、世界的に衰退している。日本では全て新しい別の方法に代わっている。

—立形レトリート法 (vertical retort process)

水平レトリート法は高熱の下で熟練を要する回分式作業である上、レトリートの寿命が短く、容量も小さく、Znの採取率、熱利用率が悪い。これらの欠点を避けるため、カーボラダム製の大きい立形レトリートを使用し、連続化することを考えた方法が立形レトリート法である。

—電熱蒸留法

円筒形の大型電熱炉を使用して還元蒸留する方法である。電気炉は外熱式の立形レトリート法とは違い、上部と下部の数本の電極から装入物そのものに通電し、その抵抗で加熱し還元揮発を行う。

－溶鉱炉法 (Imperial smelting process, ISP)

この方法はZn精鉱とPb精鉱を溶鉱炉で同時に製錬するものである。Zn鉱石にはPbを随伴するのが普通であり、Au、Agなどの貴金属もPbに入り回収できるから非常に有利な方法といえる。

また、湿式法はZn精鉱を焙焼してZnOとし、 H_2SO_4 溶液（亜鉛電解尾液）で浸出し、得られた $ZnSO_4$ 溶液から電解採取によって金属Znを得る方法である。本法の製錬工程は、精鉱の焙焼工程、浸出工程、清浄工程、電解工程等より構成される。

湿式法により得られたZnは純度が高く（Zn 99.997%以上）、環境対策も乾式製錬に比較すると容易であることや、これまで問題であった浸出残滓の処理法開発されているため、現在世界の亜鉛地金生産の大半は湿式法製錬により得られている。湿式法の各工程は次の通りである。

(1) 焙焼工程

亜鉛精鉱を流動焙焼炉において焙焼し、焼鉱（酸化亜鉛）とする。発生した 亜硫酸ガスは硫酸工場へ送られる。

焙焼工程での主反応： $2ZnS + 3O_2 \rightarrow 2ZnO + 2SO_2$

(2) 浸出工程

焼鉱は、浸出工程に送られ、浸出液により焼鉱から亜鉛を浸出させる。浸出工程では目的のZnだけを完全に選択的に溶出させることは不可能であり、鉱石中の他の含有成分も量の多少に違いはあるが浸出されるのが通例である。従って、目的金属のZnの回収に悪影響を及ぼす不純物（Cu、Cd、Pb、Ni等）は、浄液（purification）清浄によって溶液中から除去、回収する必要がある。このため、何段かにわたり浄液を行い、共沈、置換沈澱等により不純物の除去を行う。これらの操作により電解液を得る。

浸出工程での主反応： $ZnO + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2O$

(3) 電解工程

電解工程においては、アルミ板を陰極板、鉛－銀板を陽極とし、陰極板に亜鉛を電着させる。これを鑄造し、電気亜鉛とする。

図4－3に湿式亜鉛製錬の工程を示す。

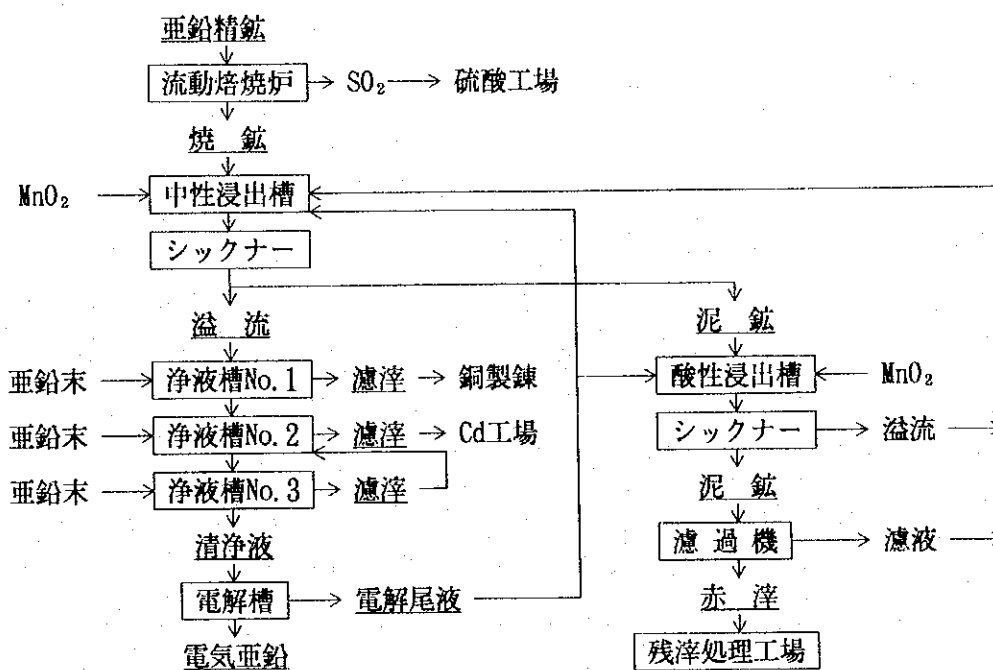


図4-3 湿式亜鉛製錬工程

4-2 非鉄金属工業における環境調和形製造工程技術

4-2-1 非鉄金属工業における環境対策

非鉄金属製錬業は、日本の産業の中で最も早く近代化を成し遂げた産業の一つであるが、足尾鉍毒事件（水質汚濁：明治20年代末）、四阪島・日立等の煙害問題（大気汚染：明治末期から大正初期）の発生等環境問題に古くから直面した。このため、環境保全に向けた努力の歴史も戦前に遡る。非鉄金属製錬の事業活動に伴う主な環境負荷は、鉍石の多くが金属の硫化物であることにより、焙焼炉、熔錬炉等から大量の SO_x が発生すると共に、排ガス洗浄水等の工程排水が酸性で、鉛、砒素等の重金属を含むものが多いことである。特に排煙中の亜硫酸ガスの回収については、昭和3年に住友四阪島製錬所に硫酸製造設備が導入建設されて以来、各製錬所に硫酸製造設備が完成し、一定の煙害防止が図られた。また、この他に、溶鉍・電解工程におけるエネルギー消費が大きいこと、およびこのエネルギー消費に伴う NO_x 、 SO_x 、 CO_2 等の排ガス、スラグ等も大きな環境負荷因子である。

上述の様な環境負荷に対し、 SO_x 対策としては、硫酸または石膏としての回収により99%以上の硫黄捕集率を達成すると共に、電気集塵機、バグフィルター等の集塵設備による各工程ダストの回収・再利用を実施している。また排水処理に関しても重金属除去等の公害対策を実施してきている。更に、省エネルギー対策として、精鉍乾燥ドライヤーの熱効率改善、廢熱回収等を実施すると共に、製錬工程から生ずるスラグをセメント原料、コンクリート用細骨材、プラスト原料等として再生利用してきている。

上記は、End of Pipe(EOP)としての非金属製錬産業における環境・公害対策であり、従来の金属材料の高性能化、高機能化、高付加価値化を追求する過程において、有害物質を環境に排出しない、あるいは副生物および随伴物質を分離、有効利用する観点より実施されてきたものである。しかしながら、この様な、従来形の材料性能の追求、生産効率向上の面からの材料評価のみではなく、今後は、特に金属材料に関しては、環境負荷を配慮した評価も不可欠である。即ち、精製、製造、加工、使用、消費、廃棄、再利用のサイクルを通して総合的に環境負担性が低い材料および技術を志向する必要がある（エコマテリアルの概念）。ここで、材料および技術の環境負担性とは、「環境調和」の逆の意味であり、材料の製造、加工など材料にかかわる技術がその材料の製造過程などでどれくらいエネルギーなどを消費し、環境に負担をかけたか（環境負荷）の目安である。

本調査では、以上の様な観点に立ち、非金属製造工程技術を見直す。図4-4に金属材料

と地球環境の関連を示す。

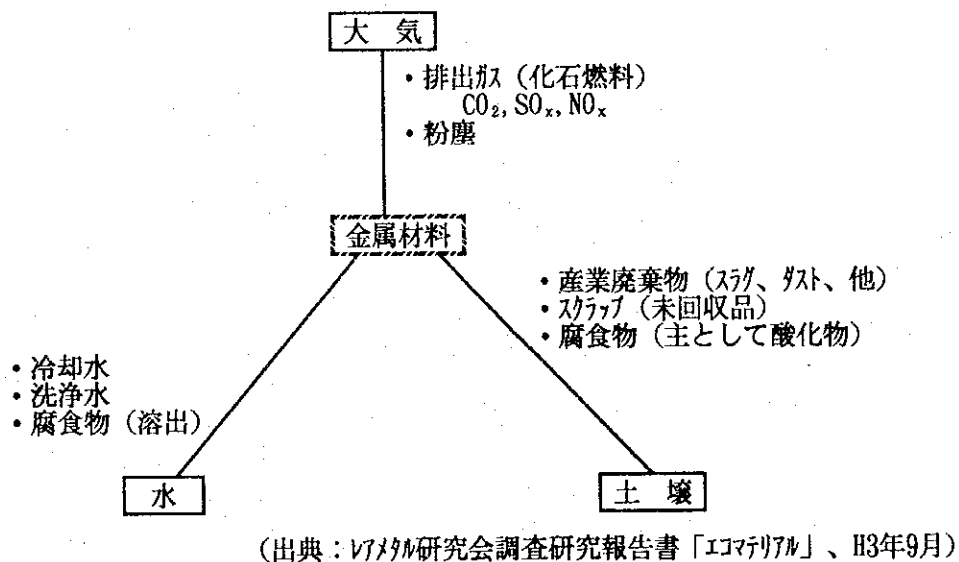


図4-4 金属材料と地球環境の関連

4-2-2 製造段階における環境負荷および環境配慮

銅、鉛および亜鉛の製造（製錬）工程の概略は、4-1に示した通りである。製造工程を通じた環境負荷は、重油、石炭、石炭コークス等の燃料消費、電力消費、 SO_x 等排ガス、スラグ、排水等である。

鉱石は基本的には金属の硫化物であり、焙焼炉、熔錬炉等から大量の硫黄分を含む排ガスが発生する。また、排ガス洗浄水等の工程排水が発生するが、これらは酸性で鉛、砒素等の重金属を含むものが多い。

以上より、非鉄金属製錬における重要な環境負荷因子は、 SO_x を主とした排ガス、種々の不純物、重金属類を含む排水、エネルギー消費、随伴金属の分離・回収および廃棄物処理であると云える。

環境負荷の視点より見た銅、鉛、亜鉛の製造工程を図4-5～図4-8に示す。

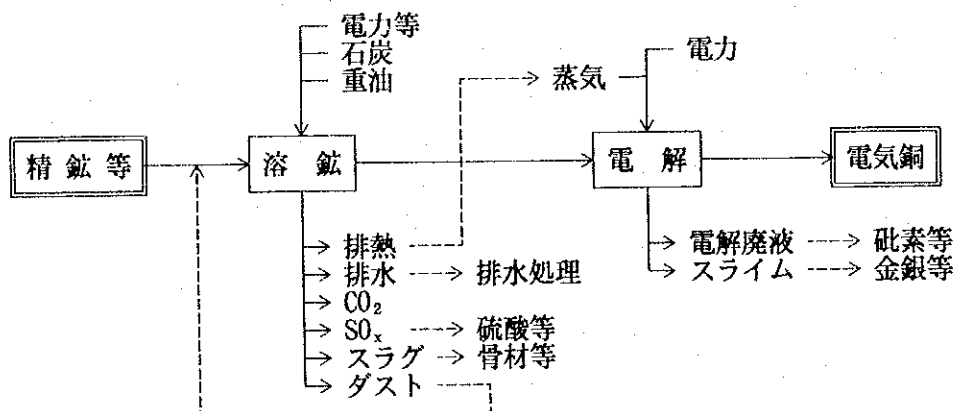


図4-6 銅の製造工程

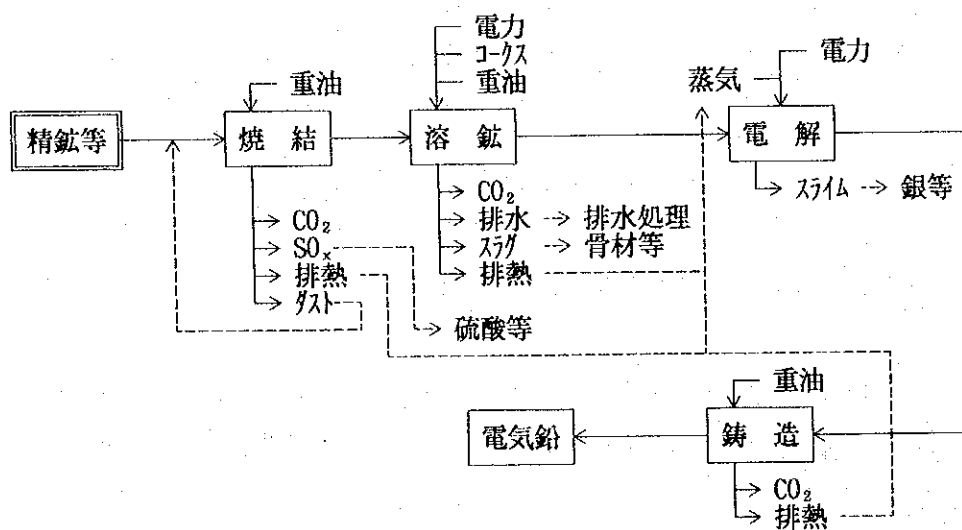


図4-7 鉛の製造工程

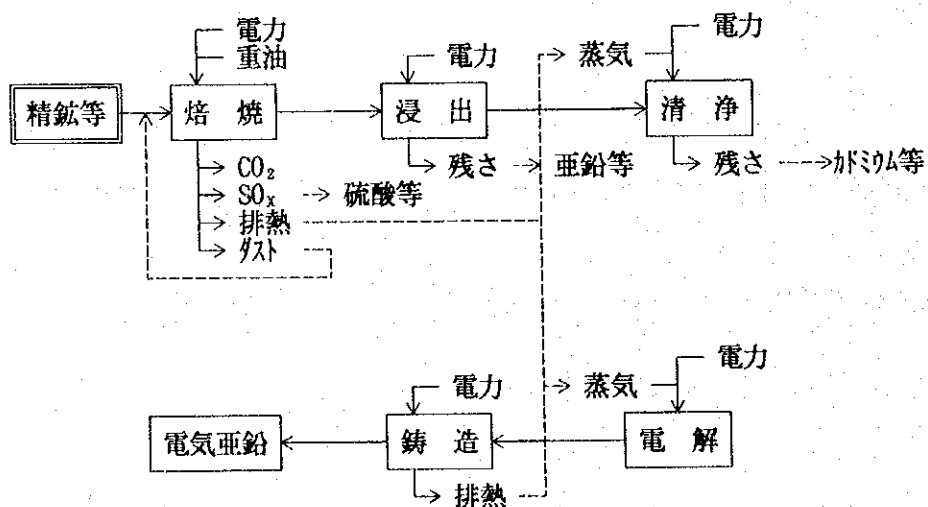


図4-8 亜鉛の製造工程(湿式法)

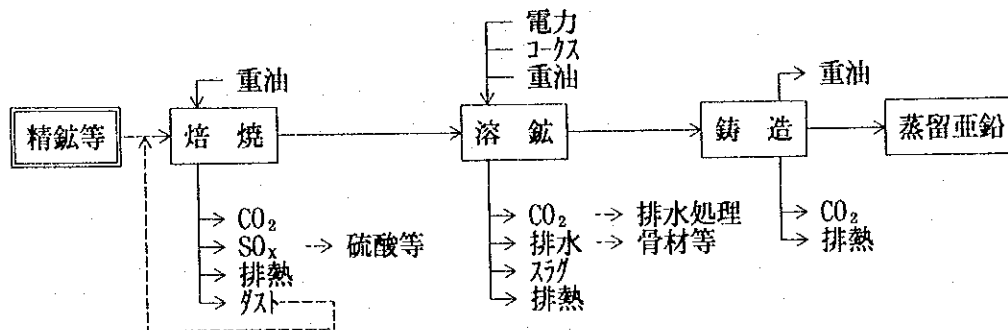


図4-9 亜鉛の製造工程（乾式法）

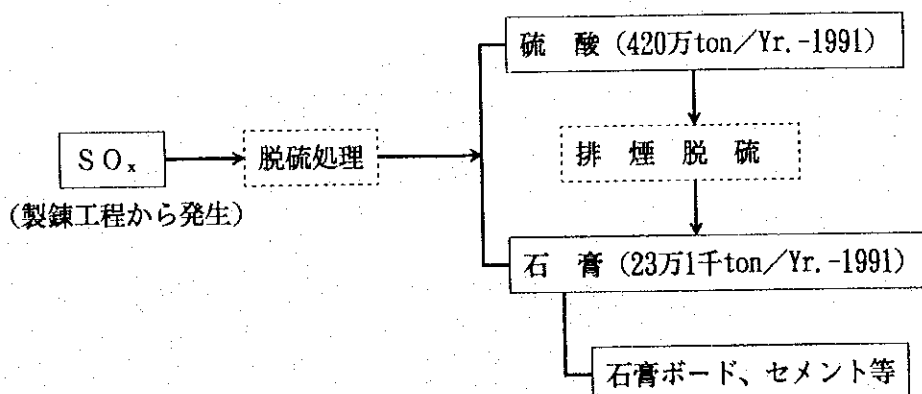
4-2-3 環境調和型製造工程技術

- (1) 「産業廃棄物排出削減のための工程内廃棄物の削減およびその有効利用を図る技術であり、排気・廃水・廃棄物と有害物質の量の削減技術および廃棄物の有効利用を図る技術。」
(定義(2)の技術)

1) 排ガス対策

S分を多く含む排ガス脱硫処理することが環境保全上不可欠の課題である。

現在、各種対策により、硫黄分を除去し、硫酸または石膏として回収している。図4-9に1991年の日本国内における銅、鉛、亜鉛の製錬工程から排出される硫黄の収支を示す。また表4-2には平成2-4年の原料別の硫酸の生産量を示す。



(出所：金属鉱業事業団 資源情報センター MMAJフォーラム'93
小長井「日本の非鉄金属鉱業と環境保全への対応」)

図4-9 製錬工程からの硫黄の流れ

表 4 - 2 原料別硫酸の生産量

(単位：1,000トン)					
年	製錬ガス	硫化鉱	回収硫黄	その他	計
1990 (%)	4,094 (59.5)	517 (7.5)	1,996 (29.0)	272 (4.0)	6,879 (100)
1991 (%)	4,233 (59.9)	544 (7.7)	2,024 (28.6)	266 (3.8)	7,067 (100)
1992 (%)	4,301 (60.4)	502 (7.1)	2,034 (28.6)	282 (4.0)	7,119 (100)

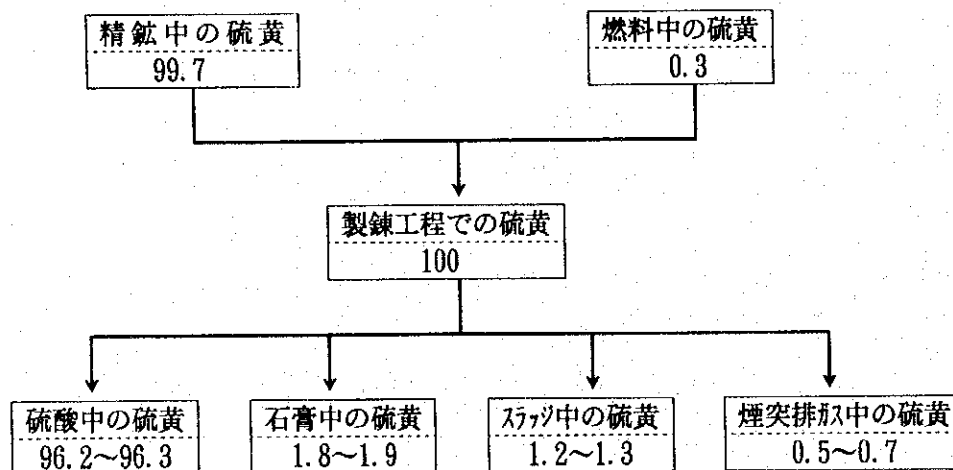
(出所：'93年版化学工業年鑑)

表 4 - 2 および「'93 年版化学工業年鑑」によると、日本における原料別硫酸生産比率は、製錬ガス出約60%、硫化鉱出約7%、硫黄出約29%、その他出約4%となっており、硫酸製造における製錬ガスのウエイトが大きいことを示している。製錬ガス出のうちでは、銅製錬出が約70%を占めている。

SO_x処理の具体的な対策としては、亜硫酸ガスの濃度管理、排ガスの効率的収集（炉口における局所吸引（炉へのフードの設置、フロアの増強））亜硫酸ガスの効率的硫酸化（硫酸工場排ガス中の微量亜硫酸ガスをダブルコンタクト方式により触媒で吸収）、硫酸として捕集されなかったS分の固定化（石膏として回収）等を行っている。

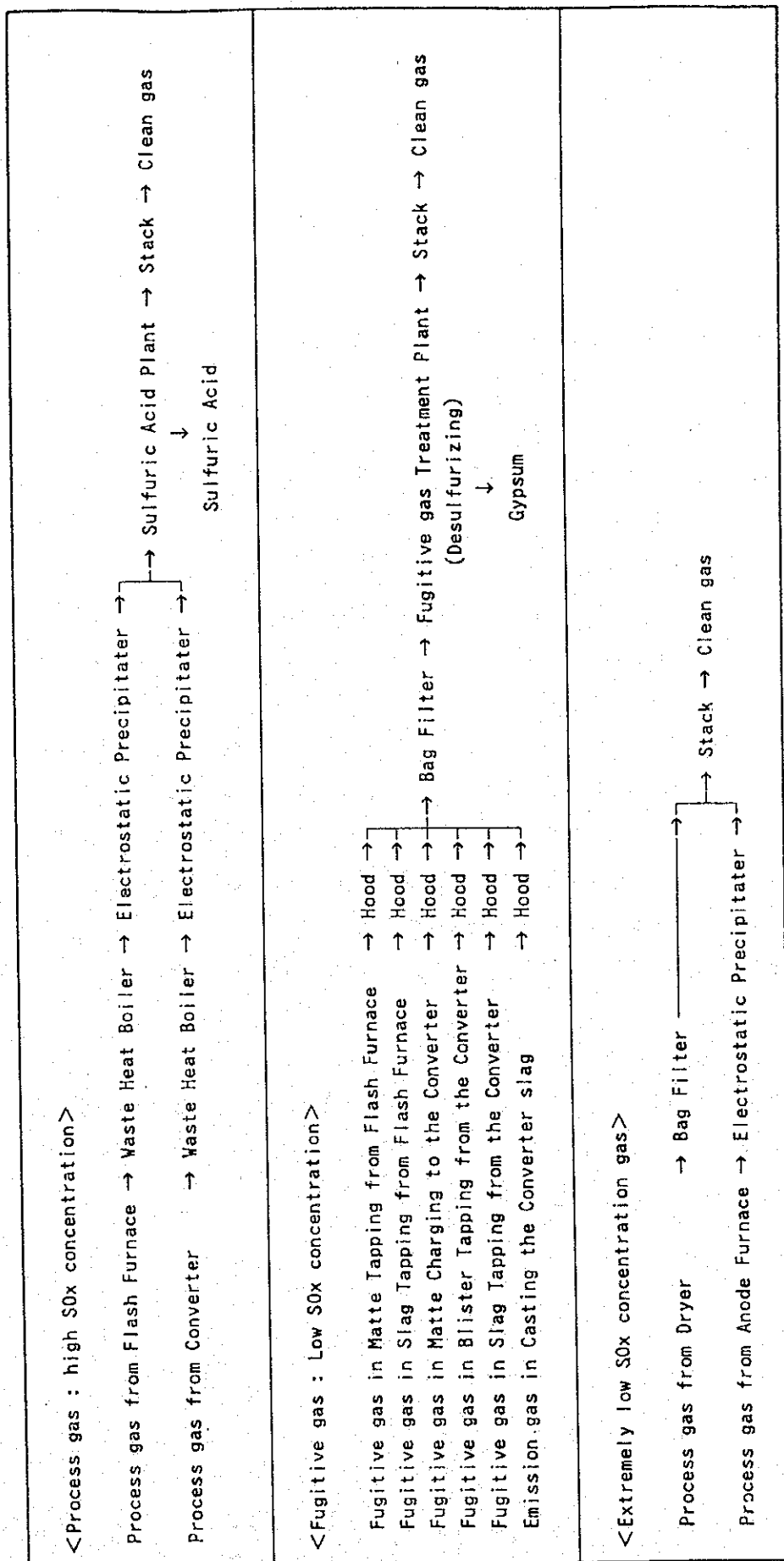
また、反射炉法のようなSO₂濃度が低い排ガス（約2%）についても石灰石膏法等の排煙脱硫装置により処理している。

図 4 - 10 に銅製錬工程における硫黄の収支を示す。また、頁17には同じく銅製錬でのSO_x含有ガスの処理フローを示す。



(出所：金属工業事業団「ENVIRONMENTAL POLLUTION CONTROL TECHNOLOGY IN COPPER SMELTING」, 1993)

図 4 - 10 銅製錬における硫黄の収支



銅製錬におけるSO_x含有ガス処理フロー

日本における非鉄金属製錬所での排煙脱硫技術の変遷は次のようである。

大正期 －高い煙突による拡散。

昭和初期 －硫酸製造技術の導入。

30年代 －硫酸回収技術の向上。

40年代 －新製錬技術（自溶炉等）の導入による回収率の更なる向上。

SO_x 以外の各工程のダストは、EP、バグフィルター等の集塵設備を設置し、回収再利用（炉への再投入）を行っている。

2) 排水対策

非鉄金属製錬所では、乾式、湿式を問わず、水資源の節約と環境汚染防止の両面の効果をねらい、使用水は原則として排出しないで、排水処理をほどこした後、工場内で繰り返し使用する、いわゆる閉回路方式(closed system)を採用し、排出量を出来るだけ抑える努力が払われている。通常行われている排水処理は、処理すべき対象(SS、COD/BOD、pH、重金属等)に応じ、物理的処理法、生物的処理法、化学的処理法等を単独あるいは組み合わせにより行うものである。

製錬工程を鉱石中に随伴する重金属（不純物）の分離、除去、回収の観点から見た場合、これらの多くは浸出液あるいは浄液等から、上記の様な排水処理で用いられるのと同様の分離方法によって行われている。従って、これらの回収等が実施されていない場合には、重金属類はスラッジやダスト等で環境に排出されていることになり、製錬工程を環境調和の観点から見る場合、この重金属の回収は極めて重要である。例えば、銅鉱石、鉛鉱石、亜鉛鉱石には様々な金属が随伴するが、日本国内の非鉄製錬所では、これらの成分を廃ガスやスラグ、電解スライムなどから回収し、貴重な金属源としている。図4-11に銅、鉛、亜鉛の製錬工程と随伴する重金属の回収工程のフローチャートを示す。図下部の各成分の重量は、銅、鉛、亜鉛をそれぞれ1トン製錬した際に回収される各種金属の量の例である。日本国内の製錬所のような回収・製錬システムを採用していない場合には、これらの金属は環境中に放出されることになる。

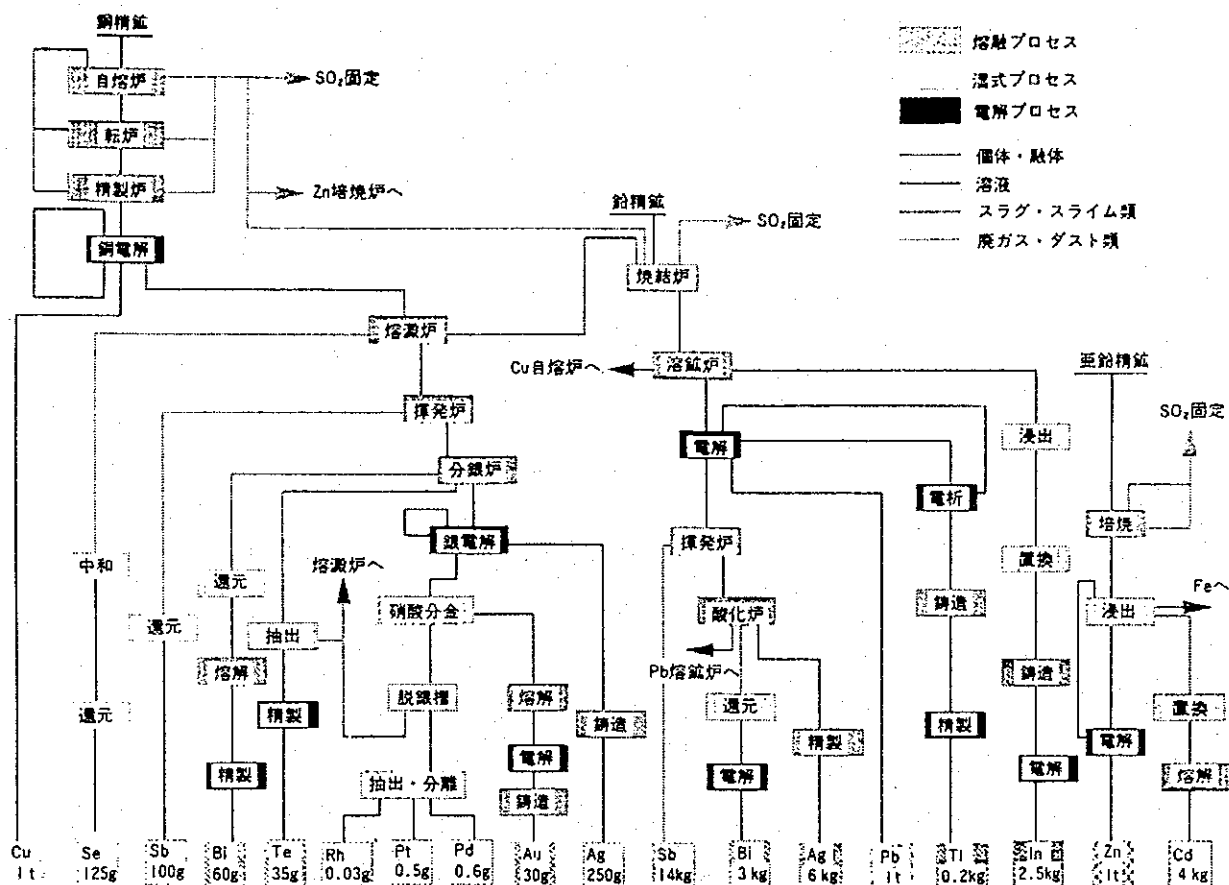


図4-11 銅・鉛・亜鉛の製錬と副産物の回収

(出典:「日本の科学と技術」1994 Vol.35 No.273)

(2)「省エネルギー、省資源のための製造工程の改善、製品のリサイクルを図り易くするための製造工程の改善および製品のリサイクルをはかる技術。」(定義(3)の技術)

1) 省エネルギー対策

エネルギー多消費型産業である金属製錬業では、生産工程の合理化、省エネルギー機器の導入等により、省エネルギー対策を図ってきている。この結果、非鉄金属製錬全体でエネルギー消費の原単位は昭和56年と比較して約16%改善され、また、平成4年の電力消費の原単位は昭和50年と比較して約13%改善するに至っている。

非鉄金属製錬業におけるエネルギー消費原単位の推移

(単位: 原油換算kl/金属t)

年 度	56	60	元	2	3	4
銅	0.42	0.40	0.39	0.38	0.35	0.34
鉛	0.38	0.36	0.44	0.42	0.43	0.45
亜鉛	0.68	0.60	0.58	0.57	0.57	0.58
非鉄金属	0.51	0.47	0.46	0.45	0.45	0.43

(資料) 資源統計年報、石油等消費動態統計年報

非鉄金属製錬業における電力消費原単位の推移

(単位：千kWh／金属1トン)

年 度	50	56	60	元	2	3	4
銅	1.05	0.88	0.99	1.03	1.03	1.04	1.00
鉛	0.67	0.75	0.72	0.63	0.61	0.66	0.69
亜鉛	3.24	2.96	3.13	3.11	3.11	3.07	3.06
非鉄金属	1.90	1.64	1.76	1.70	1.70	1.70	1.66

(資料) 資源統計年報

現在までに講じられた主な省エネルギー対策としては次の様なものがある。

(a) 溶錬工程

- ・精鉱乾燥ドライヤー（炉に投入する前の精鉱の乾燥）の熱効率の改善
- ・銅製錬（マット溶錬）における自溶炉の採用

すでに述べた如く、自溶炉は精鉱の酸化反応熱を利用するため、省エネルギー的に優れているが、更に次の様な利点を有する。

- 銅精鉱の硫黄分を製品（硫酸他）として完全回収できる。
- 大型化、自動化等、省力的で生産性が極めて高い。

炉体は、反応シャフト、セツラーおよびアップテイクからなり、反応シャフトには1～3本の精鉱バーナーを備え、これより乾燥した微粉精鉱を酸素富化空気あるいは高温熱風と同時に吹き込み、瞬間的に酸化反応を起こす。酸化反応だけでは熱量不足をきたすので、通常精鉱バーナーから重油を助燃する。

得られるマットは50～60%Cuと、溶鉱炉、反射炉からのマットより高品位である。スラグは1%前後のCuを含むので、一般的には更に別の電気炉で鍊カン(slag cleaning)し、銅をマットとして回収し自溶炉からのマットと合わせ転炉で処理する。

排ガスは約1600Kの高温でSO₂含有率10%前後であり、付属設備の廃熱ボイラーを通し、高圧蒸気として回収したのち、硫酸工場に送り硫酸を製造する。

- ・廃タイヤの代替燃料化（反射炉における廃タイヤの燃料としての活用）
- ・ポンプ・フロアにおけるインバータ制御の採用
- ・廃熱回収（硫酸工場へ送られる亜硫酸ガスからの熱回収）

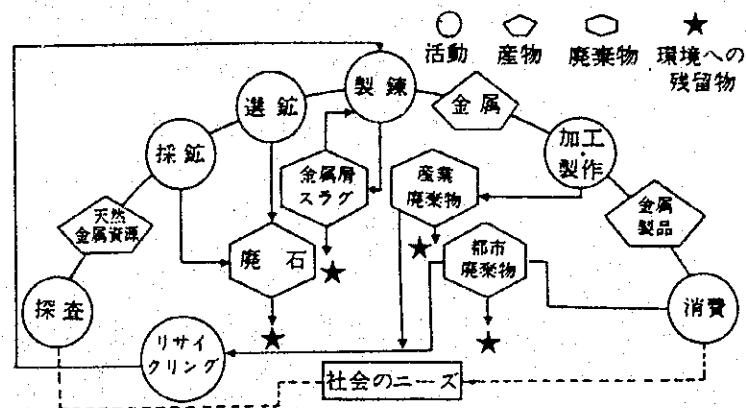
(b) 電解工程

- ・電解液管理（適正な反応確保のための不純物濃度の低減、適切な反応温度の確保のための電解液の保温等）

- ## 2) スラグ対策

3) 非鉄金属のリサイクル

これらの問題を解決するためには、資源の有効利用の確保と、廃棄物の発生を抑制すること、すなわち資源リサイクルを推進することが有効である。資源リサイクルとは、廃棄物を資源として再び活用することであり、「資源を社会システムの一環（たとえば産業活動における生産ルート）に組み入れた形で循環使用すること」（資源・素材学会／資源リサイクル部門委員会編、「資源リサイクル」）と定義することができる。この資源リサイクルは、極めて環境調和型技術であり、これにより「資源の延命」と「環境の保全」の二つの問題の解決を図ることが可能である。図4-11に金属生産の場合の、社会システムと資源リサイクルの関係を示す。



- 361 -

を余儀なくされたが、中にはそれまでに蓄積した技術と設備を元に、前述の都市鉱物を原料とするリサイクル溶錬に業態を転換したところもある。例えば、イトムカ鉱業所における含水銀廃棄物処理、三菱マテリアル／生野製作所における錫滓からの錫製錬、住友金属鉱山／四阪工場における製鋼煙灰からの亜鉛、鉛の回収、あるいは足尾製錬における故銅、銅滓、産業廃棄物からの金、銀、銅などの回収がこれに当たる。これらはいずれも、基本的には、都市鉱物を当該金属の製錬に戻して再生する、いわゆる「山元還元」と呼ばれる方式で行われている。従って、技術そのものは基本的に一般の製錬技術と類似のものであり、不純物の多い場合や、廃棄物の形状によっては前処理を必要とする。

金属のリサイクリングをその対象別に考えると、

- ・ 金属製錬工程から生ずる中間産物、残渣、
- ・ 金属を利用する結果生ずる産業廃棄物およびスクラップ
- ・ 金属を利用した後の一般廃棄物およびスクラップ

などである。

これらの処理に当たっては、対象金属の化合物が有害であるためこれを無害化する目的で行う場合と、金属を有価物として回収する場合の2通りがある。

前述の如く、非鉄金属のリサイクリングの単位操作技術そのものは基本的に製錬技術であるため、この点に関する問題は少ない。問題点はむしろ適用単位操作の周辺に存在し、リサイクリングが効を奏するためには、効率的な回収システムの構築、リサイクリング原料中の対象金属の簡単な同定と選別技術の開発等が不可欠である。

以下にいくつかの非鉄金属のリサイクリングに関して記す。

(a) アルミニウムのリサイクル

アルミニウムは電気の塊と云われており、新地金の製錬には多量の電気エネルギーを消費する。そのため、我国のアルミニウム新地金製造業は石油危機以降の電力費の高騰によって壊滅した。しかし、目下のところ、現行法（バイヤー法によるアルミナの製造とホールエルー法によるアルミナの電解還元）に勝る製錬法は無い。一方、スクラップからの再生は、溶湯中への精製用ガスの吹き込みで容易に達成される。この際必要なエネルギーは、バージン資源から地金を製造する際に要するエネルギーに比べて極めて小さいため、アルミニウムのリサイクリングを行う意義は極めて大きいものと言える。図4-12にアルミニウム地金1トン製造に必要なエネルギーを示す。本表より、ボーキサイトからアルミニウム新地金1トン製造のためには $50,533 \times 10^3 \text{ kcal}$ (20,600kWh) という莫大なエネルギーが必要であるのに対し、廃アルミニウムから再生地金1トンを製造するためのエネルギーは、 $1,451 \times 10^3 \text{ kcal}$ (590kWh) であり、ボーキサイトから新地金

を製造する場合のエネルギーの3% ($590 \div 20,600 \times 100 = 3\%$) で足りる。このことから、アルミニウムを回収して二次地金として生かすことは、アルミニウム資源の有効利用と共に、エネルギーの節約になることが分かる。

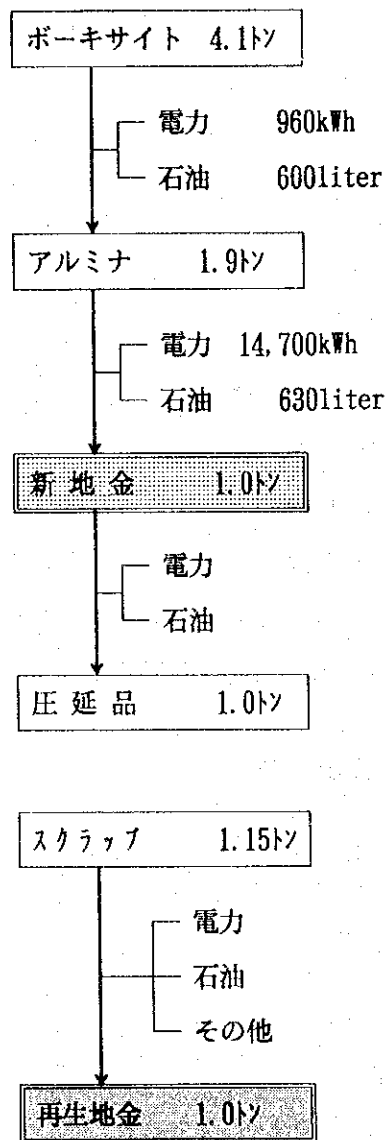
26頁に日本におけるアルミニウム製品のフローを示す。平成6年で、アルミニウム製品の総需要は約380万トンである。原料の内、新地金新地金は234万トンであり、回収された発生屑や市中屑を再溶解し、成分調整した後成形した二次地金は127万トンである。従って、原料地金中、新地金の比率は約65% ($2,343 / 3,617 \times 100 = 65\%$) であり、二次地金すなわち再生地金の使用率は約35%である。しかしながら、製品用途でみると、サッシ、飲料缶、印刷版、電線などの、材質中の不純物管理が厳しい展伸材は大部分新地金が使用されており、再生地金の配合は10%以下である。また、展伸材ほど高純度を必要としない鋳物・ダイカスト材は二次地金の使用が多く、その配合率は80%を越えている。回収された製品が、元の製品にリサイクルされる場合には、生産→消費→廃棄→生産の閉じたループが形成され、理想的な完全リサイクルとなるが、現状では完全リサイクルは未だ行われず、例えば、上述の様に、回収された展伸材は再び展伸材へリサイクルされることは少なく、鋳物・ダイカスト材等へ再生される、いわゆるカスケードリサイクルされる場合が多い。表4-3に製品別の二次地金の使用割合を示す。

表4-3 二次地金使用割合

(単位：千トン)

	プロセス新地金 (A)	再生地金 (B)	合計 (A+B)	比率 (B/(A+B)) %
圧延品	1,817	203	2,020	10.0
鋳造品	126	277	403	68.7
ダイカスト	33	675	708	95.3
鍛造品	26	4	30	13.3
電線	88	5	93	5.3
脱酸素剤	35	75	110	68.2
その他	149	31	180	17.2
合 計	2,274	1,270	3,544	35.8

(出所：経産統計年表1993.3)



a. ボーキサイト→圧延品

$54,931 \times 10^3 \text{kcal}$

A. ボーキサイト→新地金

$50,533 \times 10^3 \text{kcal}$

$2,290 \times 10^3 \text{kcal}$

$5,910 \times 10^3 \text{kcal}$

$8,200 \times 10^3 \text{kcal}$

$36,065 \times 10^3 \text{kcal}$

$6,268 \times 10^3 \text{kcal}$

$42,333 \times 10^3 \text{kcal}$

$2,505 \times 10^3 \text{kcal}$

$1,893 \times 10^3 \text{kcal}$

$4,398 \times 10^3 \text{kcal}$

b. スクラップ→圧延品

$5,849 \times 10^3 \text{kcal}$

$304 \times 10^3 \text{kcal}$

$1,107 \times 10^3 \text{kcal}$

$40 \times 10^3 \text{kcal}$

B. スクラップ→再生地金

$1,451 \times 10^3 \text{kcal}$

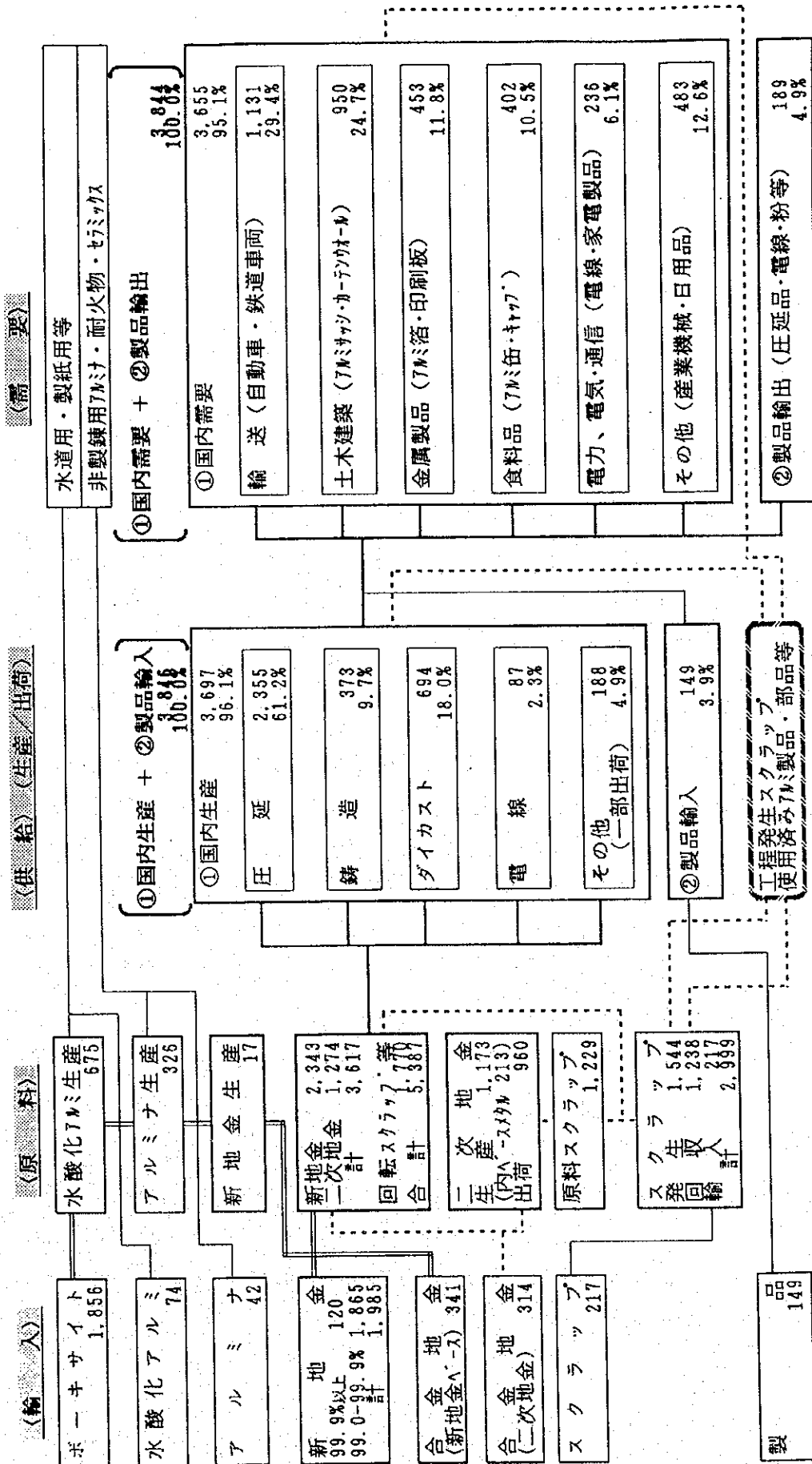
(出所: (社) 日本アルミニウム連盟)

$$B/A = 0.029, b/a = 0.106$$

図4-12 アルミニウムの製造エネルギー

日本のアルミニウム製品フロー（平成6 暦年）

（単位：千トン）



（出所：（社）日本アルミニウム連盟）

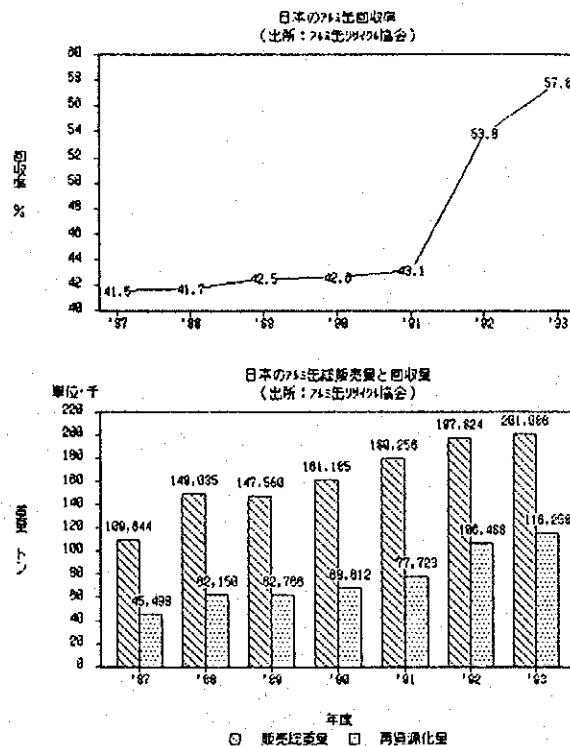
現在日本においては年間約 300億缶の缶入り飲料水が消費されている。その約三分の一がアルミニウム缶であり、残りの約三分の二がスチール缶である。

右図にアルミニウム缶の国内販売量・回収量および回収率を示す。

現在のアルミニウム缶は、蓋と胴の異なるアルミニウム合金の2ピースから構成されている（蓋材はAl-Mg系の5000番材、胴材はAl-Mn系の3000番材）。また、これらの重量比は、ほぼ蓋材/胴材=20/80である。このため、回収したアルミニウム缶をそのまま溶解すると、両者の混合した組成となり、その組成は、胴材には合格するが蓋材には不適なものとなる（蓋材としてはSi、Fe、Cu、Mnが

過剰で、MgとCrが不足する。）。従って、再溶解による2次地金は胴材として用いられるが、蓋材は新地金あるいは5000番台のスクラップからの2次地金を必要とする。飲料缶のような消費サイクルの短い用途に新地金を使用することは合理的とはいえない。新地金の節約は、回収されたアルミニウム缶を、その缶材製造工程にリサイクリングした量に相当する分だけ行われる。上述の様な理由により、回収アルミニウム缶→再生アルミニウム缶の利用率に限界があるわけであるから、蓋材と胴材の2種の合金を分離してそれぞれの製造工程に戻せば、新地金の節約につながる。

この点から、米国アルコア社では空き缶合金選別装置の開発を行っている。米国においては、アルミ缶の蓋材はAA5128(0.35%Mn, 4.5%Mg)で、胴材はAA3004(1.25%Mn, 1.05%Mg)で構成されている。温度 620℃前後では、両合金の引張破壊応力の違いにより、AA5128は簡単に粉砕されるが、AA3004はそのまま原型を保つ。そこで熱振動装置にチップングとデコーティング処理をした回収アルミ缶をチャージし、炉温を 620℃程度とすることで、融点の低いAA5128は簡単に粉砕され、AA3004と分別することが可能となる。図4-13に熱振動分別装置を示す。



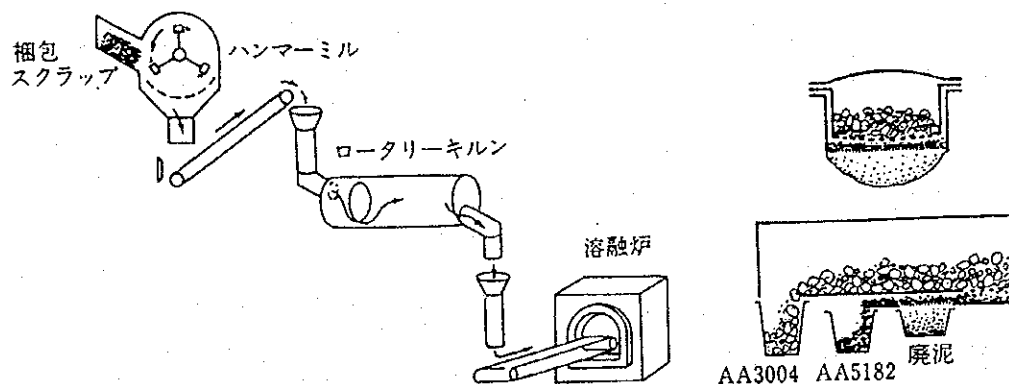


図4-13 アルミニウム熱振動分別装置

(b) 水銀含有廃棄物処理・再資源化技術

乾電池は亜鉛、マンガン、水銀等を含み、使用後そのまま廃棄されると環境にインパクトを与えると共に、人の健康に危害を与える懸念があるため、適切な処分・処理が求められる。しかしまた、廃乾電池は、上記の様な有価金属を含むため、視点を変えてみれば、有害廃棄物のみとしてではなく、新たな資源と見なすこともできる。この意味から、廃乾電池の無害化処理と同時に再資源化が望まれるゆえんである。

廃乾電池の処理方法としては、①埋立、焼却による廃棄処分 ②一時保管 ③再資源化処理の3通りが考えられる。これらを次の図4-14に示す。このうち、①に付いては、有害物質の溶出による土壌、地下水等の汚染、又、燃焼排ガス中の有害成分による大気汚染等が懸念され、②に付いては、文字通り一時的な解決にしかない。従って、最終的には、廃乾電池の処理は③の再資源化処理に頼らざるを得ない事になる。

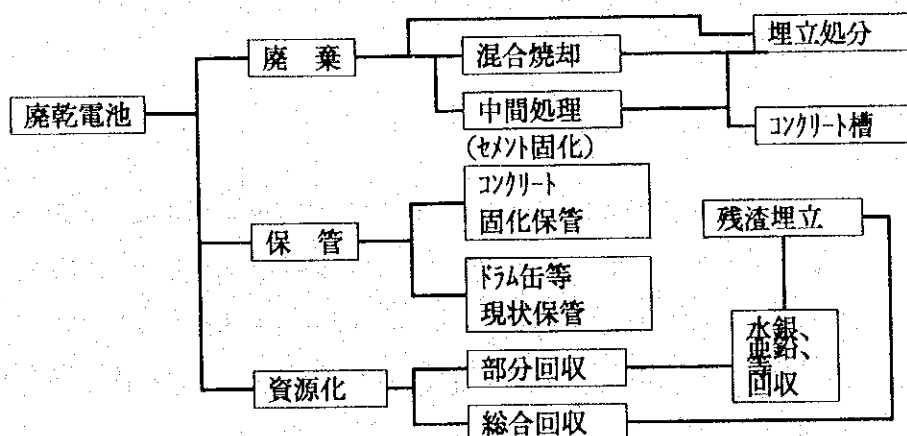


図4-14 廃乾電池の処理の流れ

廃乾電池（一次電池）を構成する有価金属を全て回収し、再資源化するための技術は、既にいくつか提案されているが、実用化されているものは未だ少ない。野村興産（株）の“イトムカプラント”及び住友重機械工業（株）の“使用済み乾電池処理設備”は、この廃乾電池からの総合的な金属回収再資源化技術の数少ない例であり、以下にこれらの技術について述べる。

a) 野村興産（株）イトムカプラント

背景・経緯

本プラントは、廃乾電池を代表とする水銀含有廃棄物の再資源化の為の実証プラントであり、1984年度の国庫補助事業の一環として、（財）クリーン・ジャパン・センターの主導により三井金属エンジニアリング・野村興産共同企業体の協力のもとに、“水銀含有廃棄物の再資源化実証プラント”として北海道常呂郡の野村興産（株）イトムカ鉱業所に建設されたものである。

本技術は、野村興産（株）イトムカ鉱業所の水銀精錬技術をベースに新たな精錬技術を取り入れ、更に乾電池処理分別技術、有用金属回収技術を組み合わせ、使用済み乾電池から水銀、亜鉛、鉄等の有価物を回収、再資源化する事により、資源エネルギーの有効利用を図るものである。

1985年7月にプラントが完成後、1987年9月に実証実験が終了している。現在は、野村興産の管理下に置かれ、自治体等から送られてくる水銀含有廃棄物の処理を行っている。

プロセス

図4-15に本プラントの工程図を示す。

本プラントの工程は、大別して選別、解体、解砕混合の各工程を含む前処理工程と、焙焼、凝縮、排ガス処理、排水処理の各工程を含む焙焼法水銀回収工程、及び焙焼工程より生ずる焼滓から、鉄くず、亜鉛等滓を回収する磁選工程からなる。

以下は各工程の概略である。

① 選別工程

廃乾電池を各々の形状と大きさの差で、単1形、単2形、単3形、及びボタン形と角形の5種類に選別し、次いで単1形については重量差を利用して、マンガン電池とアルカリ電池の2種類に自動的に選別する工程である。前者は振動モーションを利用した電磁式型選別機、後者は単体を計量して二分別するロードセル式重量選別機を使用している。

市中から分別収集された使用済み乾電池の中には、乾電池以外の異物がかなり混入

しており、自動選別工程のトラブルの原因となるので、ある程度の手選を実施している。

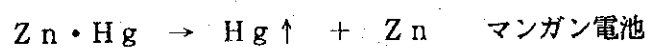
② 解体工程

選別された乾電池の一部を解体し、その金属外装銜を鉄くずとして回収する工程である。主要な設備として解体機を用いるが、本機は乾電池単体10個を一度に固定し、油圧で軸方向に打ち抜き、絶縁筒を境にして金属外装と内容物に分け、鉄分を回収する。

③ 焙焼工程

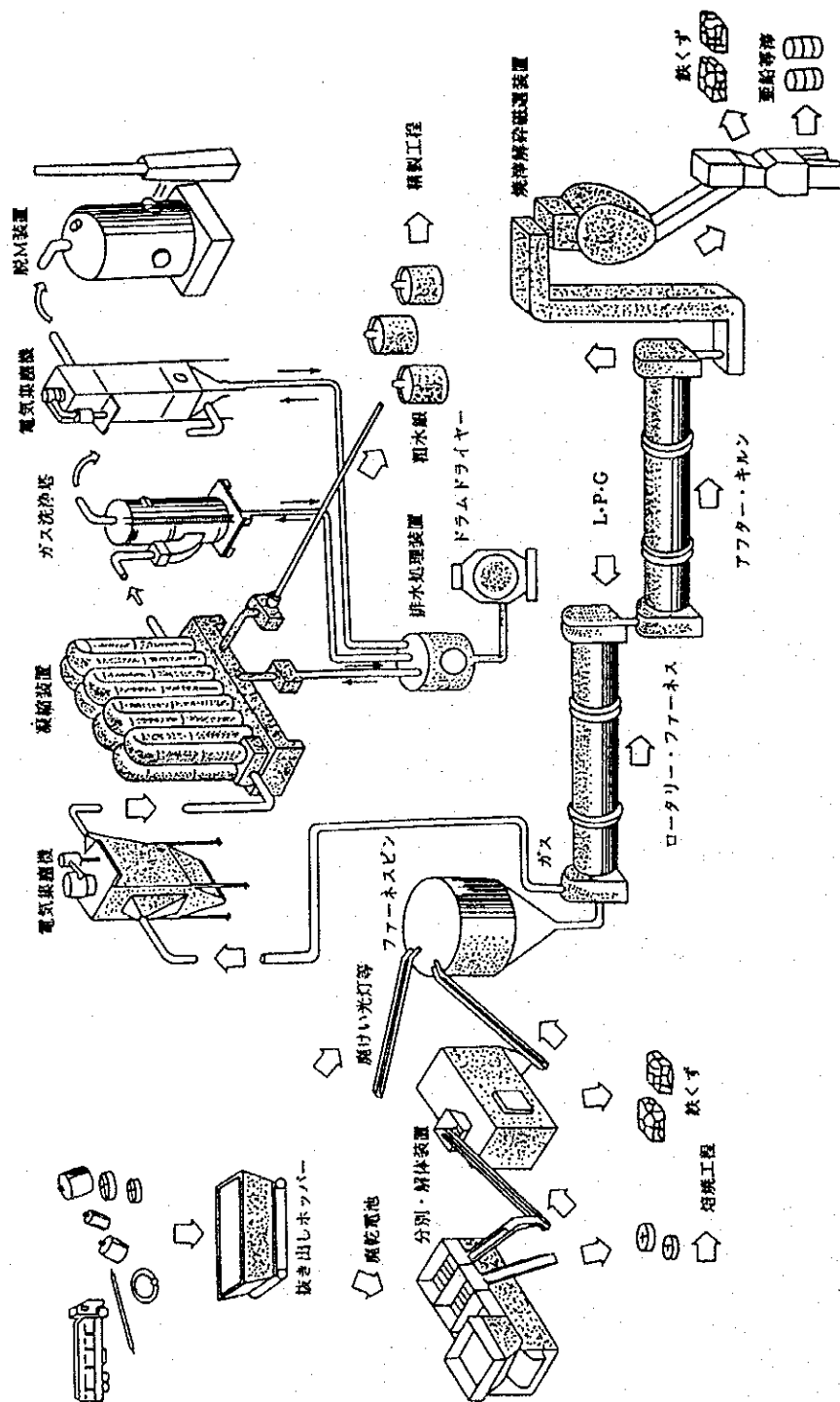
選別、解体等の前処理を終えた乾電池や、それらの処理を経ない乾電池を解砕混合機で解砕した後焙焼炉に装入し、炉内にて600～800℃の温度まで加熱し、水銀その他揮発制物質を分解、揮発させる工程で、乾電池中の水銀分を揮発させると共に、焼滓を冷却し、亜鉛等の回収原料とする。焙焼炉としてロータリーファーネスを用い、アフターキルンで冷却と熱交換を行っている。

炉の加熱燃料としてLPGを用い、装入原料とは向流で焙焼する。炉内に於ける水銀の反応は次の通りである。



アルカリ電池





④ 磁選工程

焙焼を終えた焼滓を常温まで冷却し、磁性物と非磁性物の分別を容易にするため、予め解砕した上で、磁力選別により鉄分とその他の部分に分離する工程である。ケージミル型解砕機、及びドラム型磁選機を用いて分離した磁性物と非磁性物は、ひょう量、包装して前者は鉄くず、後者は亜鉛等の原料となる。

⑤ 凝縮工程

焙焼工程より発生する水銀含有排ガスを予め集塵した後、水銀ガスを露点以下に冷却し、金属水銀として回収する工程である。集塵には、サイクロンダストコレクター、乾式電気集塵機を用い、冷却凝縮設備として空冷式ヘアピン型コンデンサーを使用している。

焙焼炉ガス出口を300℃前後で出た排ガスは、水銀ガス濃度にもよるが、100℃～150℃以下で水銀の凝縮が始まり、コンデンサー末端温度に見合った水銀常気圧との差がコンデンサー内に凝縮する。

内壁に凝縮した金属水銀の粒は、定期的に水洗して回収し、精製した後純度99.99%以上の製品として販売する。

⑥ 排ガス処理工程

凝縮工程を経た排ガスの中には、まだ微量の水銀ガス、塩化物等有害ガス成分が残っているため、これらを薬液洗浄、湿式電気集塵、水銀ガス吸着により完全に除去し無害化する工程である。処理設備として、スクラバー型ガス洗浄塔、ミストコットレル、吸着樹脂充填型脱M塔が用いられ、洗浄液は循環使用している。

使用薬液は主としてアルカリ系薬剤で、水銀ガス吸着には薬剤を添着した吸着樹脂を用いている。

⑦ 排水処理工程

本工程を含め凝縮工程、排ガス処理工程は全てクローズドサーキットを採用しており、これらの工程より発生する余剰水及び床排水は完全に集められ、水銀分を固定除去した後、排水を蒸発させて塩類を晶析させるものである。

集められた排水は、水銀固定剤添加後攪拌機で反応させ、pH調整した後フィルター濾過し、濾液はドラムドライヤーで蒸発乾固して、濾渣等は全て炉に繰り返している。

b) 住友重機械工業（株）の使用済み乾電池の処理、資源回収技術

経緯

住友重機械工業新居浜研究所では、従来より製鉄機械を中心にした冶金分野の研究

を行っており、その一環として製鉄所で発生する廃棄物の処理に関する技術開発にも取り組んできていた。その中には、例えば、電気炉内で製鋼する際に発生するダスト中の有価金属を、無毒化して回収する、といった技術も含まれていた。1984年乾電池中の水銀が有害物質として社会問題化した際、上述のダスト成分が、廃乾電池の成分と類似していることに注目し、廃乾電池を金属化合物複合体とみなして、これまでの技術的蓄積の上に、愛媛大学工学部の石森教授との共同研究のもと、「使用済み乾電池の処理、資源回収技術」開発を行ったものである。

無公害な処理と完全な金属再資源化の可能な技術の開発を目標として、1987年に毎時100 kgの処理を行う試験設備を完成させ、実証試験を開始。1989年には、実証試験を完了している。

また、1990年8月には、処理能力2,000 トン/年の1号機を、スイスにおいて建設している。

プロセス

〈プロセスの概要〉

処理対象となる電池は一次電池で、回収金属は水銀、亜鉛、鉄、マンガンをあり、これらの金属の沸点と融点の違いを利用して、分離、回収を行う。

設備は酸化炉（縦型シャフト炉：上から投入した処理物が少しずつ下がりながら加熱される）、溶融炉（密閉型低周波誘導炉）の2つから構成されている。まず、乾電池を酸化炉の上から投入し、約800℃で加熱すると、低沸点金属である水銀が、次に溶融炉で加熱すると、中沸点金属である亜鉛が気化・分離する。これらの金属蒸気を冷却し、水銀と亜鉛をそれぞれ凝結回収する。残ったマンガンを及び鉄は溶融炉で溶融還元し、フェロマンガ（マンガニ鉄合金）として回収する。これで環境汚染防止としての水銀の除去及び資源再利用としての有価金属の回収が可能になる。

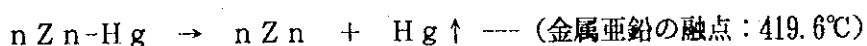
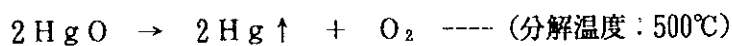
又、排水、排ガスについても十分な配慮がなされ、水銀、ダイオキシン、硫黄酸化物、窒素酸化物等いずれも基準値以下にて排出される。

図4-16にフローシートを示す。また、次に各工程の概要を示す。

① 水銀の分離回収工程

廃乾電池を破碎せずそのままの状態、図4-1に示す縦型のシャフト炉（酸化炉）に投入し、下部から上昇してくる酸化雰囲気ガス中で700～800℃に加熱すると、乾電池中の紙類、プラスチック類などの可燃性成分は燃焼してしまい、水分・水銀とその化合物も完全に気化する。廃乾電池中の水銀は、亜鉛アマルガム・金属水銀・酸化水銀（水銀電池中）のような状態で存在している。金属水銀の沸点は356.66℃であり、酸化水銀は500℃で金属水銀と酸素に分解する。亜鉛アマルガム中からの金属水銀が

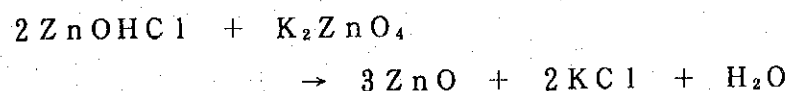
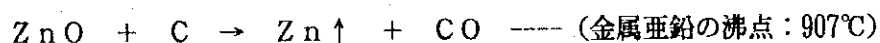
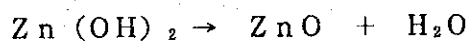
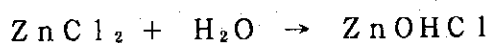
気化する温度は不明であるが、おそらく金属亜鉛の融点以上に加熱すれば、水銀は気化するものと予想される。



加熱により気化した水銀は排ガスとともに、焼却炉①に送られ、未燃分を完全に燃焼した後、高温用フィルターで除塵する。フィルター捕集物は酸化亜鉛であり、これは熔融炉に戻る。除塵されたガスは、ガスクラバーで冷却・洗浄する。ここで水銀は、液化し沈澱層から粗水銀として回収できる。スクラバーの水は、pH調整して固形物をフィルタで除去し、循環再利用するが、電池に含まれている水分量だけは、排水処理施設で処理して放流する。スクラバーを出た排ガスは、水銀の蒸気圧を低下させるために氷冷器で約5℃まで冷却する、氷冷器を出た排ガスは、ミストセパレーターを経て活性炭充填等に送られ、ここで気体の水銀を吸着除去した排ガスは大気中に放出する。

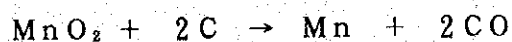
② 亜鉛の分離回収工程

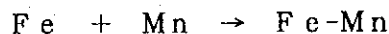
水銀を分離回収した廃乾電池は、熔融炉へ送られ1,400～1,450℃に加熱される。熔融炉中では電池中に含まれている炭素によって酸化亜鉛は、還元されて気化し、コンデンサーで冷却されて金属亜鉛として回収される。回収された金属亜鉛は、JIS蒸留亜鉛1種の規格に適合する品位である。還元用の炭素が不足する場合には、コークスを還元剤として添加する。副製するCOガスは、シャフト炉加熱用の燃料にする。塩化亜鉛の状態で存在している亜鉛は、水銀回収工程で加熱されると、加水分解してオキシ塩化亜鉛になる。亜鉛酸カリの状態で存在している亜鉛は、亜鉛分離工程でオキシ塩化亜鉛と反応して酸化亜鉛と塩化カリとに分解し、塩化カリはスラグになる。



③ マンガンと鉄の回収工程

熔融炉内で1,400～1,450℃に加熱された酸化マンガンは、還元されて金属となり、共存する鉄と合金（フェロマンガン）を形成する。回収されるマンガン・鉄合金は、JIS高炭素フェロマンガんに比較するとマンガン成分が低い、ステンレス鋼等の合金製造用原料としては、充分利用可能である。





〈本プロセスの特徴〉

本プロセスは、破碎等の前処理を行わず廃乾電池の処理を行うことが出来、又、乾電池の構成成分である水銀・亜鉛・マンガン・鉄などの有価金属をすべて回収できるプロセスであり、しかも回収された金属の純度が高く、商品価値も高い。又、水銀を含む排ガスの出口が、酸化炉上部に1ヶ所しかなく、しかも水銀を活性炭充填層で吸着させることにより、環境汚染の防止が可能である。又、乾式処理であり、薬剤の添加が皆無なので二次公害発生の可能性が小さい。

廃乾電池中に含まれている可燃物や各炉での反応によって生成する可燃性ガスの燃焼熱などを熱源として活用するため、系外からのエネルギー供給は電気溶融炉に必要な電力のみである。

回収金属

回収される金属は、水銀、亜鉛、フェロマンガン及びスラグである。この内、水銀は、回収量も少なく（住重のレポート等に水銀の回収量の記載は無い。イトムカプラントの場合で、投入廃乾電池に対して0.05wt%の水銀が回収される。これから考えると、本プラントの場合も、回収される水銀は、廃乾電池1トン当たり、せいぜい1kg程度と考えられる。）価値も低いので無視されている。

フェロマンガン及び亜鉛の回収量は次の通りである。

回収フェロマンガン	: 330 kg/トン廃乾電池
回収亜鉛	: 210 kg/トン廃乾電池



一般にセメントというとポルトランドセメントを意味し、特に普通ポルトランドセメントを指す場合が多い。これはポルトランドセメントの用途範囲が非常に広く、また生産量の大半が普通ポルトランドセメントであることによる。(*)

-375-

表 4-4 セメントの種類

JISで規定されているセメント	ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント 早強ポルトランドセメント 超早強ポルトランドセメント 中熱ポルトランドセメント 耐硫酸塩ポルトランドセメント	同・低アルカリ形 同・低アルカリ形 同・低アルカリ形 同・低アルカリ形 同・低アルカリ形
	混合セメント	高炉セメント(A, B, C種) シリカセメント(A, B, C種) フライアッシュセメント(A, B, C種)	
特殊セメント		白色ポルトランドセメント セメント系固化材(軟弱地盤の安定処理) アルミセメント 超速硬セメント コロイドセメント その他の特殊セメント	

(出典) セメントの常識

ポルトランドセメントは「主として石灰質原料および粘土質原料を適当な割合で十分にまぜ、その一部が溶融するまで焼成して得られたクリンカーに、適量の石膏を加え、粉砕してつくる」(JIS R 5210)と規定されている。また、混合セメントは、クリンカーと石膏のほかに、相当量の混合材を混合してつくったセメントであり、JIS規格で定められている混合剤は、①高炉スラグ、②シリカ質混合剤、③フライアッシュの3種類である。ここで、普通ポルトランドセメントでは、高炉スラグ、シリカ質混合材、フライアッシュまたは石灰石をそれぞれ単独または適宜に組み合わせたものをそれらの総量でセメントの5%以下まで加えてもよいことになっている。また、混合セメントは、基本的にはポルトランドセメント用のクリンカーと石膏に高炉スラグ、シリカ質混合材、あるいはフライアッシュを、おのおの5%以上加えて混合粉砕、または、粉砕後に混合されたセメントである。この様に、ポルトランドセメントも混合セメントも、製造方法の違いはわずかであり、特殊セメントも多くはポルトランドセメントを基材としてつくられるものが多い。

(*) 輸出用クリンカー等を除いたセメント生産量中、ポルトランドセメントは約80%を占める。

ポルトランドセメントの製造工程は、セメント工場に原料や、燃料を受け入れてから、「原料調合工程」→「焼成工程」→「仕上げ工程」の3工程に大別される。図4-17に製造工程の概要を示す。

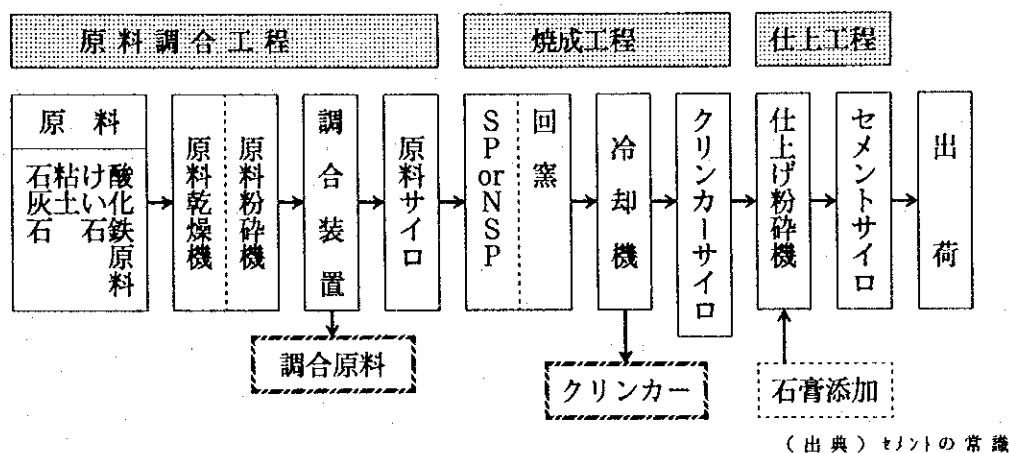


図4-17 ポルトランドセメントの製造工程

4-3-1 セメント製造工程

(1) 原料調合工程

セメントの主成分は CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 の4成分である。したがって、原料調合工程では、石灰石（主成分 CaCO_3 ）、粘土（ SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 ）、けい石（ SiO_2 ）、酸化鉄原料（ Fe_2O_3 ）を適切な比率で混ぜ合わせ、出来上がったときのセメントの化学成分を設計する。また、次工程の焼成工程において焼成しやすくするために、原料乾燥機で乾燥した後に原料粉砕機（原料ミル」ともいう）で原料の微粉砕も行う。

微粉になった原料混合物は、化学成分をチェックし、不足している成分を補足して均一に調合する（調合原料の生成）。このために、蛍光X線分析装置およびコンピューターを用いて成分分析と調合管理を行う。

(2) 焼成工程

調合原料に化学変化を起こさせ中間製品としてのクリンカを作る工程が「焼成工程」である。この化学変化は、調合原料を高温（ 1400°C 超）で焼くことによって起こさせるので「焼成」と呼ばれる。焼成により生成する化合物は、 $3\text{CaO}\cdot\text{Si}_2$ （ C_3S ）、 $2\text{CaO}\cdot\text{Si}_2$ （ C_2S ）、 $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ （ C_3A ）、 $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ （ C_4AF ）の4結晶である。

焼成はセメント製造工程の中心的な工程で、これにはロータリーキルン（回転窯）を用いる。日本のセメント工場では、調合原料を直接キルンに送り込むのではなく、予熱装置（プレヒーター）を通過させてから、キルンに送る方法を採用しているのが普通である。プレヒーターにはSP（suspension preheater）方式およびNSP（new suspension preheater）方式（SP方式の機能に仮焼炉〔calciner〕を組み込んだ回転窯）の2つのタイ

プがある。’94年度においては、全生産能力(97,989千ト)に対して、NSP方式が82.5%、SP方式が15.0%を占める。

キルンでできた生成物を空気により急冷するとクリンカといわれる黒い大粒の塊が生成される。

(3) 仕上げ工程

仕上げ工程では、焼成工程で作られた中間製品(クリンカー)に3~4%程度の石膏を混ぜて仕上げミル(粉砕機)により微粉砕することにより、ポルトランドセメントが作られる。なお、高炉セメント等混合セメントを製造するときには、クリンカーと石膏の他に、混合材として高炉スラグ等も加え粉砕する。粉砕機を通過した粉末は、セパレータ(分級機)で粒度選別を行い、粗粉は粉砕機に再投入し微粉を取り出し、製品としてのセメントができる。

4-4 セメント工業における環境調和型製造工程技術

4-4-1 セメント工業における環境対策

セメント産業は粉砕と焼成工程が主体のエネルギー多消費産業である。そのエネルギーコストシェア(使用エネルギー額/生産額)は素材産業中最も高く(約20%)、エネルギー消費構造もシンプルである。このため、製造における省エネルギーが大きな課題であり、このための対策が早い時期よりなされきた。

製造工程における環境負荷は、燃料としてキルンにおいて消費される石炭、粉砕に必要な電力等のエネルギー消費と、これらに伴うCO₂、NO_x、粉塵、焙塵等の排出である。従って、セメント産業における環境対策は、省エネルギーと粉塵、煤塵対策が主体となる。また、セメント製造上特徴的なことは、上記の燃料消費によるCO₂の排出に加えて、焼成工程にて石灰石(CaCO₃)の分解(脱炭酸)を行うため、同工程においてCO₂が発生する。このため、セメント産業におけるCO₂の発生は他産業に比べやや多く、国内全排出量の5.7%を占めている(1990年)。表4-5に1990年におけるセメント1ト当たりのCO₂発生量を示す。

表 4-5 セメント製造におけるCO₂排出量 (1990年度)

項 目			CO ₂ 排出量 (C 算)		
			(百万t-C)	構成比	原単位
				(%)	(kg-C/t-cem)
エネルギー	燃料	セメント製造用	6.4	35	68
		自家発電用	0.4	2	4
	小 計		6.8	37	72
	購入電力…		0.8	4	8
	計		7.6	42	80
石灰石 (原料)			10.6	58	113
計			18.2	100	193

(注) 1. 燃料、電力、石灰石使用量：セメント協会資料

2. 国内のCO₂ (炭素換算) 排出量：318百万t-C (1990年環境庁資料)

3. CO₂ (炭素換算) は下記換算係数で計算

石炭：0.72t-C/t(D.B)、石灰石：0.11t-C/t (セメント協会計算値)

重油：0.85t-C/t、その他燃料：0.81t-C/t (通産省資料)

電力：0.136t-C/kWh (化学工業会資料)

製造工程におけるエネルギー消費の内、特に焼成工程において、製造工程全体のエネルギー消費量の90%以上を消費し (中でも焼成用燃料の石炭の消費がエネルギー消費全体の85%を占める)、従って、省エネルギーの観点からは、焼成工程の省エネルギーが最も重要である。その他のエネルギー消費としては、粉砕に要する電力等が各工程において5~10%程度を占めている。下図にセメント製造各工程におけるエネルギー消費を示す。

	原料工程	焼成工程	仕上工程	その他
各工程のエネルギー消費	3.3%	91.6%	4.8%	0.3%
(内訳)				
燃料 石炭	0.1%	85.5%	0.0%	0.0%
重油	0.1%	1.2%	0.2%	0.1%
その他	0.0%	1.9%	0.1%	—
電力	3.1%	3.1%	4.5%	0.3%

(出所) 石油等消費動態統計及びセメント協会調べ

図 4-18 製造工程別のエネルギー消費の概要

上記に関する省エネルギーは通常エネルギー効率の高い設備・機器への転換による設備改善あるいはプロセスの部分的改良等によって行われる場合が多い。この様な設備改善、改良による省エネルギーに加え、セメント製品にはポルトランドセメント以外に、混合セメント等多くの種類が存在するため、製品セメントの観点から省エネルギー、環境負荷を見ることも可能である。即ち、セメントはクリンカーに石膏、高炉スラグ等の混合材を加えて製造するため、クリンカー、混合材の性質によりその性質が大きな影響を受ける。従って、クリンカーの製造条件あるいは混合材の性質、混合の割合を考慮することにより、環境負荷低減型セメントが開発されており、また新たに開発されつつある。

クリンカーを構成している主要な化合物は「けい酸カルシウム」であり、けい酸カルシウムはエーライト ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) [C_3S 「アリット」ともいう] およびビーライト ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) [C_2S 「ベリット」ともいう] より成り、セメントの種類によってその量が異なる。また、エーライト、ビーライトの他に、それらの結晶の隙間を埋めるように存在している「間隙相」と呼ばれる化合物があり、これらは「アルミネート相」 ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) [C_3S] および「フェライト相」 ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) [C_4AF] と呼ばれる。クリンカーを構成しているのは以上の4種類の化合物であり、これらの化合物は、種類によりそれぞれ強さの発現、水和熱、化学抵抗性等が異なる。従って、セメントの性質、特性はこれらの化合物の混合の割合により決定される。

粉塵、焙塵に対しては従来型のEOP技術であるEP等集塵機の設置により対処しており、また、高温燃焼の焼成炉から発生する NO_x については、炉型式が NO_x 発生に抑制効果のあるSPキルンあるいはNSPキルンに移行することでその発生低減に効果を上げている。

なお、 SO_x については、キルンそのものが脱硫装置として働くため、焼成段階において98～99%の硫黄分がセメント原料に吸収されている。

上述の他、セメント産業では、従来より、他産業から排出される廃棄物や副産物の積極的活用を図っており、このことが、資源のリサイクルや大局的観点からみて省エネルギーと CO_2 の排出量削減に貢献している。

また、図4-19に環境負荷の視点より見たセメントの製造工程を示す。

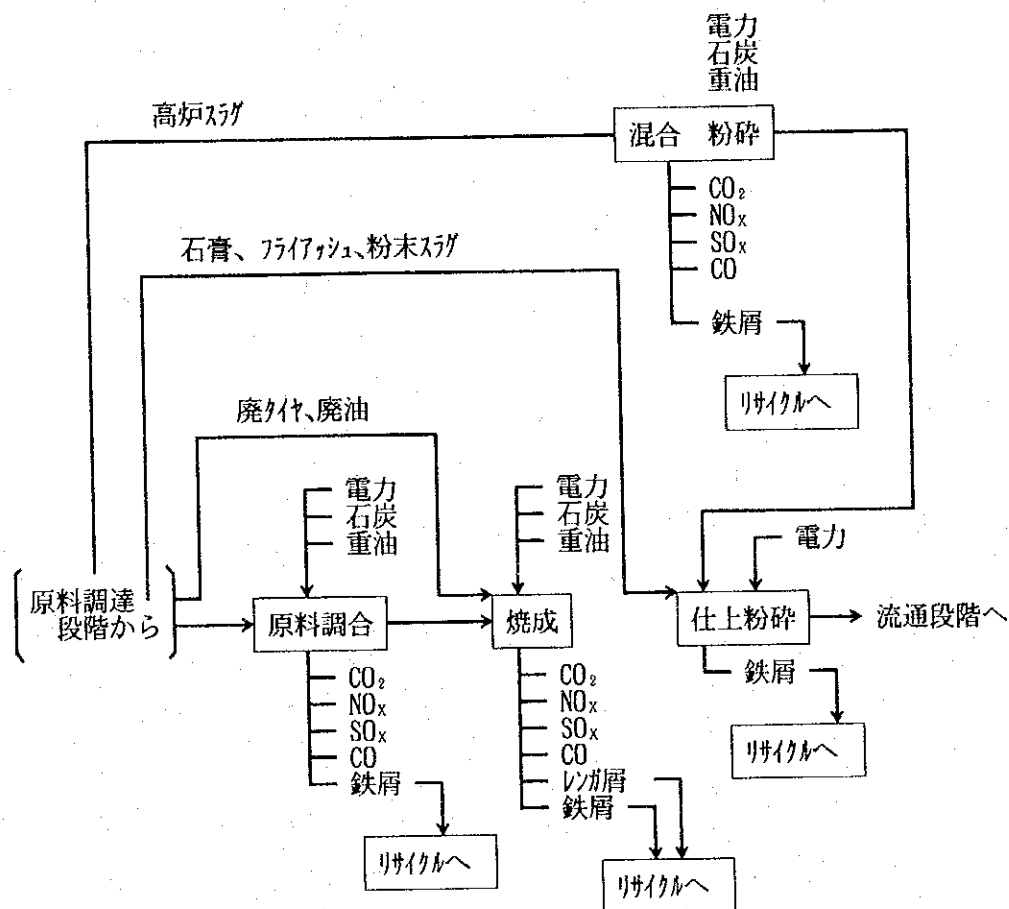


図4-19 セメント製造段階のフロー

4-4-2 環境調和型製造工程技術

- (1) 「産業廃棄物排出削減のための工程内廃棄物の削減およびその有効利用を図る技術であり、排気・廃水・廃棄物と有害物質の量の削減技術および廃棄物の有効利用を図る技術。」
(定義(2)の技術)

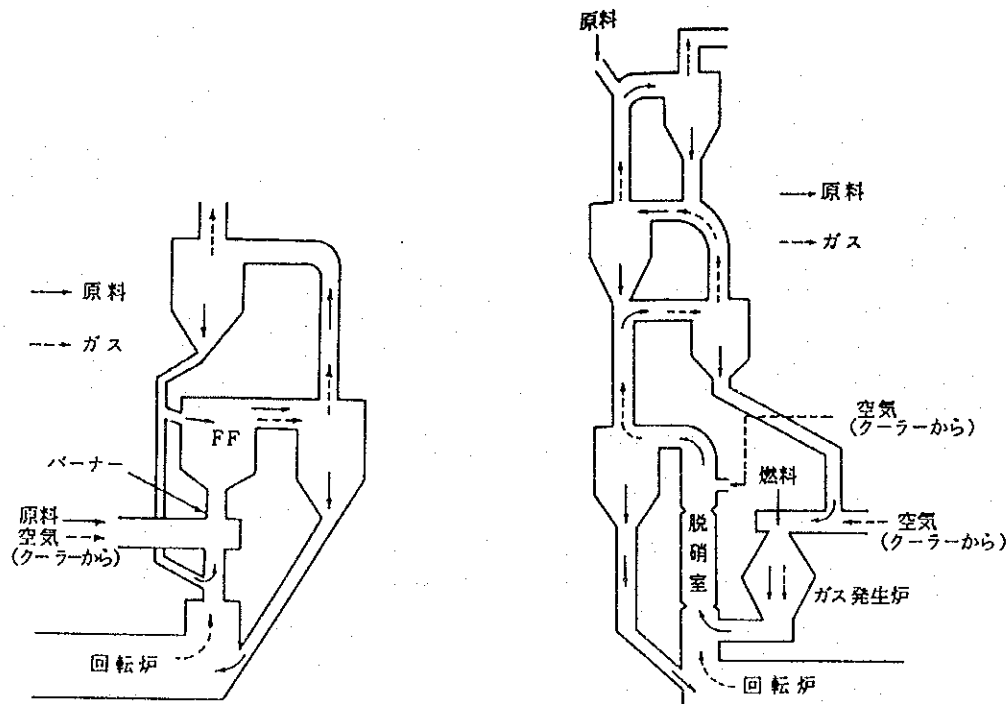
1) NO_x 対策:

- (a) 省エネであると同時にNO_x 低減にも資するNSP、SPキルンの設置。
(b) キルンとSPとの間に加熱炉（フラッシュファーンネス：FF）の設置。

通常のキルンでは、全ての熱量が回転炉に加えられるので、高温でしかも滞留時間が長くなり、NO_x が増す。FF炉では、燃料とクーラからの熱風を用いて原料を加熱し、石灰石の熱分解を行ってから回転炉に入れる。このため、キルンの熱負荷を下げ、NO_x の抑制が図れる。（図参照）

- (b) GGプロセスの採用。

S Pとキルンの間に、ガス発生炉（GG）を持ち、燃料を不完全燃焼して還元性のガスを発生する。この還元性のガスをキルンからの排ガスに加え、 NO_x を還元して N_2 とする。その後、ガスにさらに空気を加えて完全燃焼し、これで原料を加熱する。（図参照）



セメント焼成のFFシステム

セメント焼成のGGプロセス

- 2) 煤塵、粉塵：電気集塵機、バグフィルタ等の防塵設備により回収し再利用。
 - 3) 騒音：粉碎の際のサイレンサーの設置。設備をコンクリートブロック壁等に囲われた建物内に収納。
 - 4) 振動：防振構造の採用。（従来式のボールミルに代わり、堅型ミルの採用等）
- (2) 省エネルギー、省資源のための製造工程の改善、製品のリサイクルを図り易くするための製造工程の改善および製品のリサイクルをはかる技術。」（定義（3）の技術）
- 1) 省エネルギー、 CO_2 削減対策

セメント産業では、1973年の第一次石油危機以来省エネルギー対策に努め、燃料原単位および電力原単位を大幅に削減してきている（過去20年間に、燃料原単位で約35%、電力原単位で約20%の削減）。

製造工程別の省エネルギー対策は次のようである。

(a) 原料工程

原料工程で消費するエネルギーは、原料乾燥用に使用するわずかな燃料を除くと電力のみであり、その大半を原料粉砕機（本体およびファン）が占めている。近年ボールミルから、電力原単位の低い堅型ローラミルへの転換が進み（普及率約40%）、大幅な省エネルギーが図られている。

(b) 焼成工程

焼成工程で消費するエネルギーは、電力と熱に大別される。

このうち電力は、キルンの排気ファンおよびクーラーの吹込・排気ファン等、ファン関係が大半を占めており、これまでに各ファンの高効率化やSP部の圧力損失低減等による省エネルギーを図ってきている。

一方、熱エネルギーは、クリンカーを焼成するために使用する燃料がほとんどであり、この燃料を低減するために次のような省エネルギー対策が実施されている。

・燃料消費効率のよいNSPキルンへの転換

NSPキルンは4～5段のサイクロンと約30～60%の燃料を焼成出来る仮焼炉を組み込んだ予熱機付きの焼成方法であり、原料粉末は各段のサイクロンでキルン排ガスと熱交換・分離を繰り返しながら順次落下し、さらに仮焼炉で脱炭酸されてキルンに送入されるため、キルンの焼成能力は大幅に向上し、熱量原単位も低減する。

・排熱の回収と有効利用

焼成系からの排ガスはプレヒーターおよびクーラーから発生し、原料・石炭の乾燥熱源として回収利用されるほか、排ガスをボイラーに通して蒸気を発生させ、タービンにより電力として回収する排熱発電も行われている。

(c) 仕上工程

仕上工程で消費するエネルギーは、混合材乾燥用に使用するわずかな燃料を除くと電力のみであり、その大半を仕上粉砕機（本体およびファン）が占めている。ミル型式はボールミルが主流であり、これまで粉砕助剤の添加、ミル内部分級ライナーの使用、分級機の分級性能改善などにより省電力を進めてきている。

図4-20～図4-21に燃料、電力および総合エネルギー消費の原単位の変化を示す。
（出所：通商産業省環境立地局編「産業環境ビジョン（産業構造審議会地球環境部会報告書）」平成6年7月）

本図から分かる様に、日本におけるセメント産業は第一次、第二次の石油危機を経て、そのエネルギー原単位を大きく低下させてきているが、80年代半ばに低減率は低下しほぼ飽和していることが分かる。このエネルギー原単位の低下は主として設備改善によるものであるため、現在では設備改善による省エネルギーポテンシャルは少なくなっていると云

える。設備改善以外の省エネルギー対策としては、産業廃棄物・副産物の利用拡大および混合セメントの利用拡大等が考えられるが、これらに関しては後述する。

表4-6に既存技術による省エネルギー設備を示した。(出所：通商産業省環境立地局編「産業環境ビジョン(産業構造審議会地球環境部会報告書)」平成6年7月)

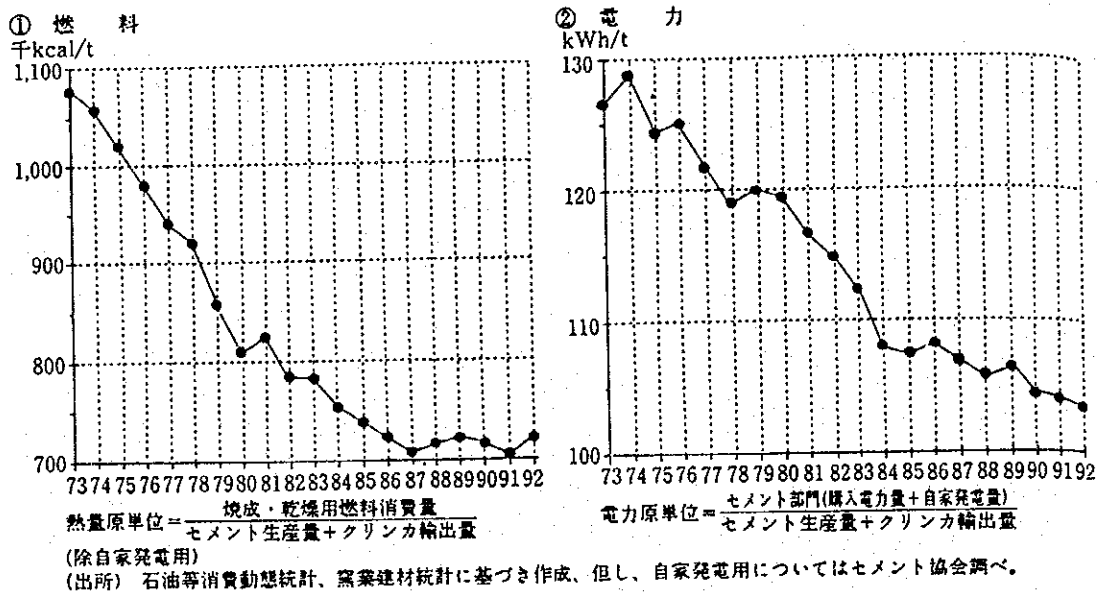


図4-20 燃料および電力消費原単位の推移

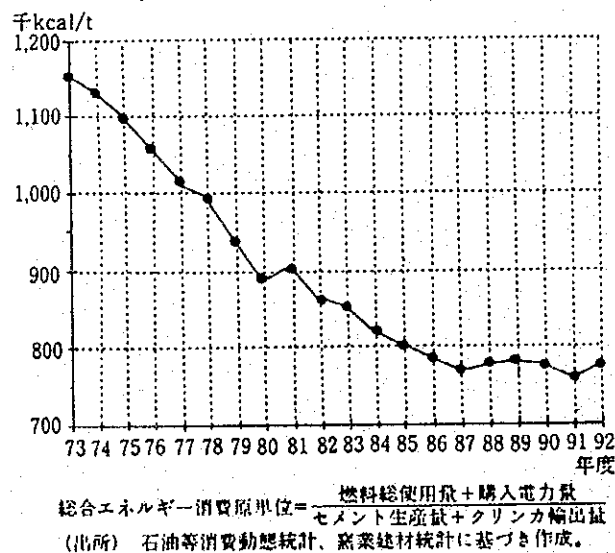


図4-21 総合エネルギー消費原単位の推移

表4-6 既存技術による主な省エネルギー設備

名 称	内 容	実用化 時期	現在の 普及率	省エネ率 (%)
NSPキルン (仮焼炉付予熱 装置型キルン)	焼成工程において、調合原料を直接回転窯に送り込むのではなく、仮焼炉で石灰石を分解し、また、予熱装置によりキルンの排ガスと調合原料との間の熱交換を行うことにより燃料効率を増大させた方式の回転窯。	73	72.8	16.4
笠型ミル	乾燥、粉砕、分級の3機能を同時に持っている原料粉砕機であって、従来型ボールミルに比べ稼働部が小さく、電力原単位の低減を図るもの。	仕上げ 及びスラグ →86 石炭* 原料*	18.3 80.2 33.6	64.4
予備粉砕機	本粉砕の前処理として粗粉砕を行う装置。併せて用いることにより、粉砕システム全体の電力原単位の低減を図るもの。	87	仕上げ →16.3	37.5
廃熱発電	大気中に捨てられていた中低温のキルン廃熱及びクリンカターラ廃熱を回収して発電を行い電力を得るもの。	75	24.7	25
高効率クリンカ ターラー	焼成直後の高温状態にあるクリンカを冷却・搬送するための装置。グレードと呼ばれる板（孔の空いたプレート集合体）の上にクリンカをキルンから落とし、グレードの下から孔を通して空気を吹き上げることで、クリンカと空気を熱交換させクリンカを冷却させる。従来型よりも熱効率を向上させ、熱回収率を向上させる。	92	1.2	40
高効率セパレータ	セメント粉砕過程において粉砕されたセメントのうち、未だ粗いものを再度ミルに投入するための分級機であって、分級性能を高め仕上げ粉の再投入率を抑えることによって、ミルの電力原単位の低減を図るもの。	*	44.5	25

(注) 実用化時期の欄の*は、実用化の時期が定まらない等により不明であるもの。

2) 産業廃棄物・副産物の有効利用

産業廃棄物の有効かつ適切な処理、処分は、有害物質の拡散防止および資源の有効利用の観点から、現代社会の最重要課題の一つである。

セメントの製造プロセスはその性格上、産業廃棄物の処理に最も適しているものの一つであると考えられる。日本においては、セメント企業に対し、産業廃棄物をセメントの原料または燃料としての使用に、政府、地方自治体からの協力要請があった。セメント企業では、その社会的責任を果たすと同時に、セメント製造原価の低減にもつながるとの見地からこの要請にしたがい、80年前半より使用技術の開発に着手し、徐々にその使用量を増加させてきている。

日本における主な産業廃棄物・副産物の種類と発生量を表4-7に示す。

表4-7 セメント業界における産業廃棄物・副産物使用量

(単位: t、%)

種類	年度	90	91	92	前年比	93	前年比
廃油	}	141,347	78,081	91,237	116.8	74,904	82.1
再生油			60,711	77,181	127.1	100,367	130.0
廃白土		40,892	36,855	34,633	94.0	43,108	124.5
廃タイヤ		101,038	127,084	170,819	134.4	219,873	128.7
高炉スラグ		12,228,325	13,498,066	13,554,903	100.4	13,102,882	96.7
転炉スラグ		778,728	1,269,871	1,132,305	89.2	1,064,775	94.0
非鉄鉱滓		1,232,726	1,415,723	1,368,606	96.7	1,276,311	93.3
鋳物砂		168,501	294,435	298,082	101.2	306,856	102.9
ボタ		1,600,476	1,807,455	1,880,149	104.0	1,803,569	95.9
未燃灰・ばいじん・ダスト		477,970	439,096	474,724	108.1	510,202	107.5
石炭灰		2,020,975	2,382,745	2,545,398	106.8	2,766,633	108.7
汚泥・スラッジ		311,571	532,525	622,334	116.9	757,237	121.7
副産石こう		2,299,709	2,216,436	2,212,486	99.8	2,191,758	99.1
建設廃材		6,164	9,257	4,948	53.5	610	12.3
その他		354,518	246,767	240,421	97.4	326,241	135.7
合計		21,762,940	24,415,107	24,708,226	101.2	24,545,326	99.3

(注) 1990年度は受入量

(出典: セメントハンドブック1994年版)

産業廃棄物をセメント製造の原料または燃料の一部として代替使用するに際して、守られるべき原則は、

- ・通常の原料および燃料を使用した場合に較べ利益があること
- ・セメントの品質に悪影響を及ぼさないこと
- ・産業廃棄物を使用することによって、新たな環境汚染を起こさないこと
- ・安定した供給が継続されること

等である。現有する技術力、受入れ産業廃棄物の物性に対応した新規設備投資の必要性、あるいは工場が立地する場所の有害物質の環境基準、排出基準等を考慮した厳密かつ慎重な技術的、経済的な事前の検討が必要である。

産業廃棄物・副産物の利用は、大局的観点からみて省エネルギーとCO₂の排出量削減に貢献しており、今後とも利用の拡大を推進すべきである。有効活用されている産業廃棄物の内、高炉スラグ、石炭灰および廃タイヤについて、(社)セメント協会環境特別委員会が行った調査の結果を次に記す。

(a) 高炉スラグ

高炉スラグは水滓化がさらに進む見通しで、セメント産業への供給は「徐冷スラグを減少させ、急冷スラグを増加させたい」と、スラグ供給サイドでは考えているようである。

(b) 石炭灰

石炭火力発電設備から発生する石炭灰は、セメントの混合剤としてのフライアッシュ

および粘土原料代替としてのアッシュダスト、アッシュクリンカーとして利用されている。

(c) 廃タイヤ

現在、国内セメント41工場中25工場で活用しており、さらに増加の方向にある。使用方法については丸タイヤのままプレヒーターから投入してきたが、チップ化することによって投入の自動化や使用量の増大を図る工場が増える傾向にある。

3) 混合セメントの普及拡大および環境負荷低減型セメントの開発

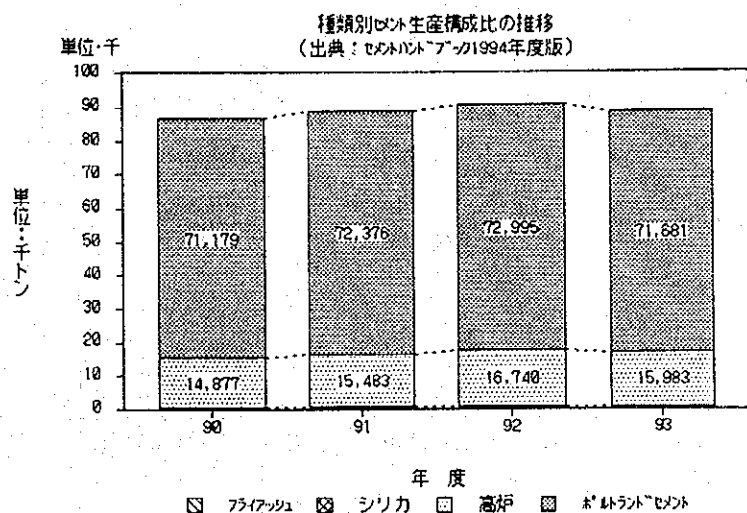
既に述べた如く、セメントは原料に多量の石灰石を使用し、また高温焼成により製造を行う。従って、製造工程において大量のCO₂と、環境レベルに比べ相当量のNO_xを発生するという問題を抱えている。CO₂の発生量の低減には燃料使用量ならびに石灰石使用原単位低減が、NO_x発生量の低減には焼成温度の低下が、また使用熱量の低減には石灰石使用原単位の低減と焼成温度の低下が有効である。

また、4-4-1に述べた如く、セメントの性質、特性はエーライト、ビーライト等のクリンカー組成に依る。「環境負荷低減型」セメントは、上述の様なセメント製造の特徴、クリンカーの特性等を考慮し、製造工程における省資源、省エネルギーを目的として、クリンカー組成の変更、混合セメントの改良を行ったものである。従って、「環境負荷低減型」セメントの場合、普通のポルトランドセメントに比べると、製造工程での原料、燃料消費の原単位が低減され、焼成温度も低下し、環境調和の観点から好ましいものと成っている。

(a) 混合セメント

図4- に日本におけるポルトランドセメントおよび混合セメントの種類別生産高を示す。混合セメントはセメント生産高全体の中で約18%を占めており、また、混合セメントの中では高炉セメントがその大部分を占めている。

高炉セメントは高炉の急冷スラグを混合材として用いたセメントであり、高炉スラグの量によって、A種、B種、C種の3種類がある。一般に高炉セメントは、強度出現性の面で劣るため、短期強



度は普通ポルトランドセメントに比べると低い。しかし、4週間程度経過すると普通ポルトランドセメントと同程度かそれ以上となる。また、逆に、発熱速度が遅いため、ひび割れなどの変形に強く、耐水・耐アルカリ・耐塩などに優るといふ利点を有している。このため、この特性を生かして、主に土木工事に使用される。

高炉スラグの主成分はCaO、SiO₂、Al₂O₃、MgO であるため、これを原料の一部に使用した場合、石灰石の脱炭酸反応に要する熱量（約500kcal/kg・cl）をスラグ置換分だけ節約できることとなる。従って、高炉セメントの普及は、省資源のみならず、省エネルギー効果もある。スラグ使用上の問題点としては、その中に含まれているTiO₂、MnO₂など微量成分のセメント品質への影響であり、これらの成分は厳重に管理する必要がある。また、高炉スラグの供給は、粗鋼の生産量および水砕スラグ処理設備の容量により量的制約を受ける共に、前述の如く、その輸送コストの制約も受ける。さらに、高炉セメントのシェアの突出した増大はセメント会社にとって原料調達自由度を減少させることとなり、この意味からも、高炉セメントの拡大にはある程度の限界があるものと考えられる。次表に平成元年における日本の鉄鋼スラグの有効利用の内訳を示す。

高炉スラグの有効利用状況

(平成元年度)

	利用量 (千ト)	%
徐冷スラグ		
道路用	5,959	23.6
セメント用	2,376	9.4
土木用	1,634	6.5
コンクリート用	590	2.3
建築用	377	1.5
その他	518	2.0
小 計	11,454	45.3
急冷スラグ		
セメント用	11,511	45.5
コンクリート用	785	3.1
土木用	746	2.9
肥料用	389	1.5
建築用	342	1.4
その他	75	0.3
小 計	13,848	54.7
合 計	25,302	100.0

(出所：公害研究対策センター「リサイクル環境保全ハンドブック」)

フライアッシュセメントは、石炭の燃焼によって発生する石炭灰の中のフライアッシュ

を混合材として用いたセメントであり、フライアッシュの量によって、A種、B種、C種の3種類に分類される。

現在の燃焼方式の主流である微粉炭燃焼ボイラから発生する石炭灰は、その発生箇所により、シンダ、フライアッシュ、クリンカの3種類に分類される。各々の内容を表4-8に示す。

表4-8 石炭灰の分類

名 称	JIS B0126 火力発電用語	発生箇所による分類
シンダ	燃焼によって生成される粗粒灰	微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスが空気余熱器・節炭器などを通過する際に落下採取された石炭灰
フライアッシュ	燃焼によって生成される細粒灰	微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスから集塵装置で採取された石炭灰
クリンカ	燃焼によって生成される灰が塊状になったもの	微粉炭燃焼ボイラの炉底に落下採取された石炭灰

(出所：火力原子力発電、Vol144 No.10)

上記の内、シンダは系統上、フライアッシュと混合処理されるため、シンダとフライアッシュを総称してフライアッシュと呼ぶことがある。

石炭灰は燃焼した石炭の5～30%程度発生するといわれている。石炭火力発電所の微粉炭ボイラから発生する石炭灰は、クリンカアッシュが10～15%程度、節炭器（エコノマイザー）および空気余熱器（エアヒーター）で落下採取されるシンダアッシュが3～7%程度、集塵器にたまるフライアッシュが80～90%程度であり、フライアッシュが最も多くを占めている。

フライアッシュの主成分は、 SiO_2 、 Al_2O_3 であり、これらが全体の70～80%を占めている。このためフライアッシュはセメントの原料および混合材として有効に利用することが可能である。

現在日本の事業用火力発電所はすべて微粉炭燃焼火力であり、これから発生する石炭灰は年間約400万トン程度である。近年の石炭消費量の増大に伴って、石炭灰の発生量も増大しているが、発生量の大部分である70～80%が十分に活用されることなく、埋立造成用とされたり、または単に灰捨て場に投棄処分されている。近年、石炭灰の大量放棄と長期にわたる埋立に対して種々社会的環境制約が厳しくなり、その用地確保は年々困難の度を増しており、今後の石炭利用の増大に対応して石炭灰の処理対策が強く望ま

れるようになってきている。

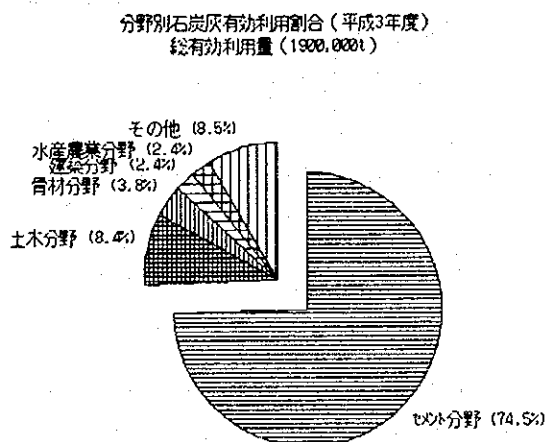
石炭灰の有効利用分野は表4-9に示す通りである。

表4-9 石炭灰利用技術

セメント分野	製造用原料、セメント混和材、生コンクリート混和材、セメントミルク、新硬化材
骨材分野	骨材、人工軽量骨材、人工重量骨材
建築分野	レンガ及びセラミクス製品、断熱材、ファッシュール、コンクリート製品
土木分野	アスファルトフィラー、舗装材、路盤材、充填材、地盤安定材、埋戻材
農業分野	肥料、土壌改良材、農地造成、造園
その他	有価物の回収、水処理材、サビワースト材、消化剤、固化剤、魚礁

(出所：日刊工業新聞社「資源リサイクル」)

上記の石炭灰有効利用の割合を下図に示す。セメント・コンクリート分野が約75%を



占めて主力となっている。

セメント分野

における石炭灰の用

途は、セメント原料

用、フライアッシュ

セメント用である。

これらの3用途の平

成3年度実績を表4-

10に示すが、セメン

ト原料としての利用

が半分以上を占めている。

以下に、セメント分野における利用に付いて記す。

表4-10 セメント分野における石炭灰利用実績

用 途	利用量 (千ト)	有効利用全体 に占める割合
セメント原料用	1,086	56.9%
フライアッシュセメント用	177	9.3%
生コンクリート用	160	8.4%
計	1,423	74.5%

(平成3年度)

(出所：火力原子力発電 Vol. 44 No. 10)

a) セメント原料用

セメントの原料として使用する粘土には、シリカ (SiO_2) 含有量の多いケイ酸質の粘土類や頁岩を使用するが、石炭灰はその大部分が粘土質であることから、これの代替として使用することが可能である。一般に、石炭灰中のシリカ含有量はセメント原料用粘土よりも低いため、石炭灰を利用した場合、ケイ石により補う必要がある。このため、石炭灰の利用限度は粘土量の10~20%程度と見られている。しかしながら、粘土代替としての利用は、石炭灰の品質にそれほど大きな制約がないところから、石炭灰有効利用の中核を占めており、総有効利用量の半分以上がここで利用されている。

石炭火力発電所からセメント工場への石炭灰の輸送は、その立地条件により船舶またはジェットパック車で行われるが、火力発電所が隣接している場合には、パイプラインで移送することもある。

b) フライアッシュセメント

フライアッシュセメントは、セメントにフライアッシュを混合したセメントであるが、フライアッシュをセメントと混合することによって、

- ・長期強度の増進
- ・乾燥収縮の減少
- ・アルカリ骨材反応の抑制
- ・水和熱の減少
- ・化学抵抗性の増加
- ・耐熱性の増加
- ・水密性の増加
- ・ワーカビリティの増加および単位水量比の減少

などの優れた特性が得られる。

しかし、混合するフライアッシュ中に含まれる未燃炭素分が多すぎると、強度や色調の障害となる。このため、混和材として混合するフライアッシュ中の未燃炭素含有率はJIS A6201 で5%以下と規定されているが、最近の石炭火力ボイラでは、排ガスの NO_x 低減対策としての2段燃焼法や低 NO_x バーナ等の採用と、安価な低品位炭の利用等により、石炭灰中の未燃炭素分は増加しがちである。そこで近年、高い未燃炭素分を含みJISに適合しないフライアッシュを改質して、フライアッシュセメントとして利用するための研究が行われている。

(b) ビーライトセメント (Belite Cement)

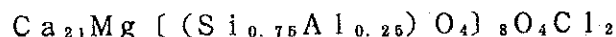
セメント組成化合物の内、エーライト (C_3S) の含有量を減らし、相対的にビーライト (C_2S) の含有量を増やしたセメントである。この様な組成の変更により、石灰石使用原単位の低減と焼成温度の低下を同時に達成できる。また、このセメントは高ビ

ーライト組成であるため、水和熱が低いと共に、①短期強度が普通ポルトランドセメントに比べると低い、②乾燥収縮が小さい、③硫酸塩に対する抵抗性が大きい、などの性質を有するため、近年増加の傾向を示す巨大構造物建設（ダムや大規模な橋脚基礎工事）等に適する。しかしながら、ビーライトセメントは、その組成上初期強度が低いという弱点を有するため（Belite含有量が多い程、凝結は遅れ、初期の強度は低い）、初期強度の改善のための様々な研究がなされている。

(c) エコセメント（アリナイトセメント）

エコセメントとは、エコロジー（Ecology）とセメントの合成語であり、都市ゴミ焼却灰や石灰処理した下水汚泥などを主原料として製造され、これまでの普通セメントとは異なる鉱物を主成分とするセメントのことである。本技術は、通産省の事業である「生活産業廃棄物等高等処理・有効利用技術研究開発事業」の中の一つである「都市型総合廃棄物利用エコセメント生産技術」において研究・開発が進められており、国がNEDOに出資し、NEDOが（財）クリーン・ジャパンセンター（CJC）に委託して、平成9年まで実証試験が行われる計画となっている。

都市ゴミ灰や下水汚泥などの廃棄物には、普通のセメントでは原料段階から厳選して極力排除している塩素がかなり多量に含まれている。従って、エコセメントの主要鉱物は普通セメントの鉱物とは違って、アリナイト（Alinite）鉱物を生成させて塩素を鉱物構成元素として取り込むように設計されている。アリナイト鉱物の化学成分は、たとえば、



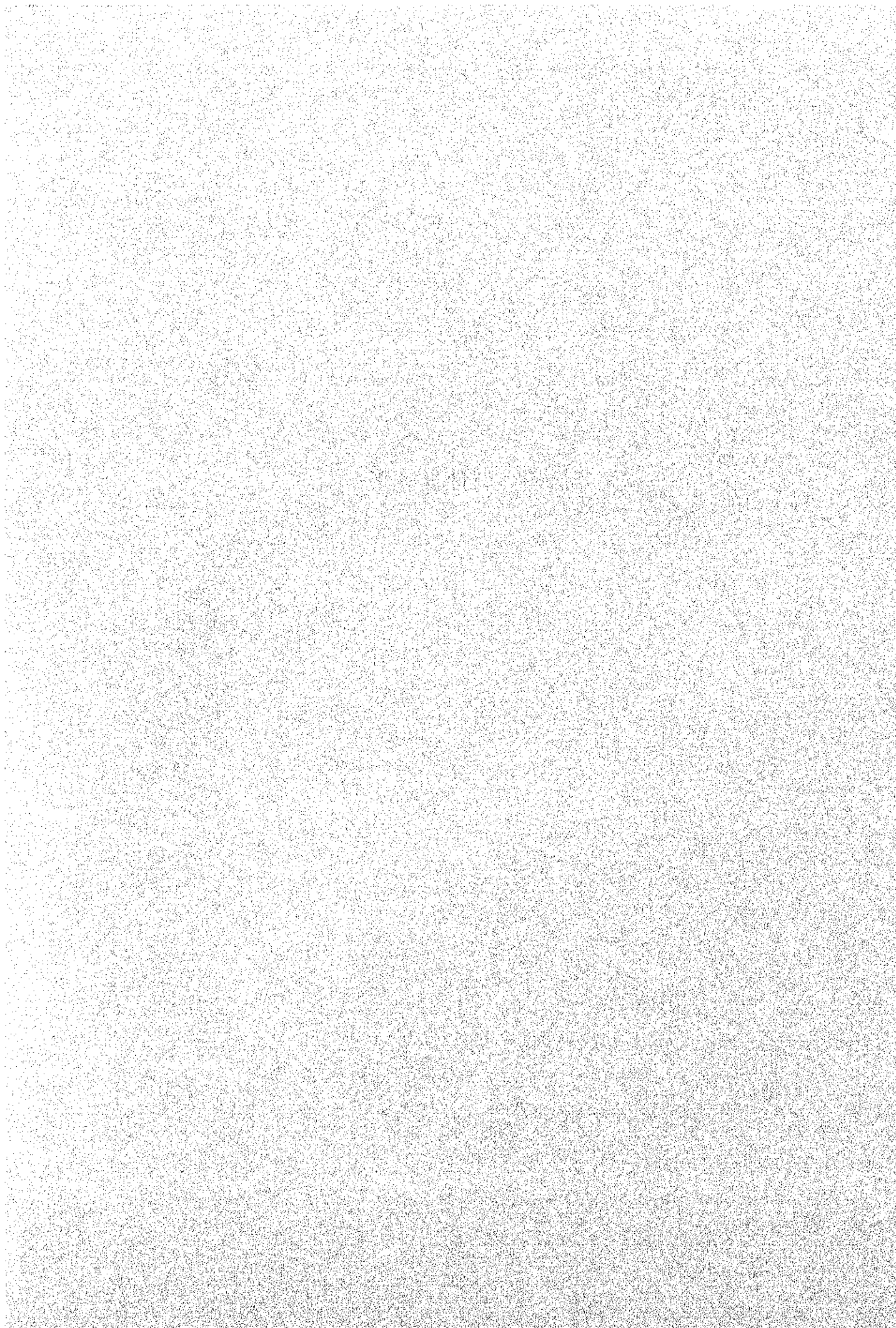
と見られ、超速硬性セメントの一部の元素を塩素に置換した組成をしている。クリンカー中の塩素含有量は1.0～2.9%の範囲とされている。このアリナイト鉱物は、水和反応性が高く、早期に強度を発現するが長期強度は普通ポルトランドセメントよりかなり低い。このため、カルシウムクロロアルミネートや普通セメントの主要鉱物であるカルシウムシリケート等を適量量混合し硬化体の強度を改善させている。

エコセメントは鉱物構成元素として Cl^- を含有するが、水和過程において水和物として固定される Cl は一部であり、一旦固定された塩素も水和物の転化や分解により Cl^- として再び放出される。この結果、コンクリート中の鉄筋やプレストレス導入用ワイヤー等が腐食を受けるので、用途は高強度や耐久性を必要としない無筋コンクリート、地盤改良材等に限定される。

アリナイトセメントは焼成温度が低く、また塩素含有の産業廃棄物のセメント原料への利用という観点から近年注目されている。しかしながら、品質上塩素の含有量が2.5%以下に限定され、また塩素による製造設備の腐食、排ガス中の塩素の回収と環境への拡散防止、産業廃棄物中に含まれる有害元素のクリンカー中への蓄積などの問

題等、実製造に当たって解決しなければならない問題は多い。

第5章 苛性ソーダ



第5章 苛性ソーダ

5-1 製品「苛性ソーダ」(NaOH)の概要

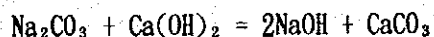
5-1-1 製品の性格

苛性ソーダ (NaOH) は、類似の性質を有する「炭酸ソーダ」(Na₂CO₃) と共に、アルカリとして、化学工業の原料の他、ガラス、パルプ、繊維、洗剤、洗濯、洗浄等民生的用途にも古くから多く消費されてきた。苛性ソーダの使用は経済発展と共に増大し、本調査対象国のタイ・インドネシアでは約200千t/y、日本では3,000千t/yである。インドネシアにおいては、従来のアサヒマスの設備の倍増が1997年を目処として計画されており、これにより苛性ソーダの生産量は年間29万tとなる予定である(日刊工業95年6月8日)。また、東ソーなどが97年稼働を目標とした合併の設立の発表もある(日刊工業95年5月19日)。さらに、旭硝子は板ガラスの厚物の生産を、タイ、インドネシア、或いはフィリッピンなどの生産拠点に移管する傾向にある(日刊工業95年6月6日)。このような生産量の拡大に際して環境保全の目的を達成するには、製造時に排出される環境負荷物質を低減させる操作、即ちEOP 技術のみでは不十分であり、このためには、[2.(1)] に述べる様な、製造時に有害物質を使用しないようなプロセス、有害物質の使用を低減あるいは皆無にする「環境調和技術技術」が必要である。この場合、有害物質として先ず挙げられるのは水銀Hgである。

化学工業においてアルカリとして使用し得るものは、「苛性ソーダ」および「炭酸ソーダ」以外に石灰[消石灰(Ca(OH)₂]やアンモニア(NH₃)がある。このうち、石灰は溶解性が低く、また不溶解性の粒子を随伴する欠点があり、また、アンモニアは毒性と臭気の問題があるため、これらによりソーダ類を代替するのは困難である。

5-1-2 苛性ソーダの製造法の概説

苛性ソーダの製造法には電解法と非電解法の2種類がある。非電解法では炭酸ソーダの苛性化法があるが、現在日本では実施されていない。次式に非電解法の反応式を示す。



現在苛性ソーダの製造法として実施されている方法はすべて食塩水の電気分解法である。次式の様に1トンの苛性ソーダに対し約0.88トンの塩素を副生する。



58.5	40	35.5
(1)	(0.88)	

電気分解法には現在次の三法がある。

(1) 隔膜法

米国では、本法により大量の苛性ソーダが生産されているが、本法により製造された製品苛性ソーダは品質が不良であり、また隔膜の材料として、アスベストを使用することにより、アスベスト公害を生ずる。

(2) 水銀法

水銀を陰極として使用する水銀法苛性ソーダの製造法は、高純度の苛性ソーダが得られるため、未だヨーロッパでは盛に稼働しており、また、本調査対象国のタイおよびインドネシアでも稼働している。しかしながら、水銀を使用することにより水銀排出の問題があり、日本では昭和61年に本法による苛性ソーダの製造は全て廃止された。

(3) イオン交換膜法

隔膜法の隔膜の代わりにイオン交換膜を使用する方法である。製品の純度は水銀法によるものに匹敵し、かつ水銀を使用しない特徴がある。但し、カルシウムイオンおよびマグネシウムイオン等の原料食塩水中に含有される不純物がイオン交換膜を閉塞するため、水銀法の場合に比べ、原料食塩水を遙かに高純度に精製することが要求される。

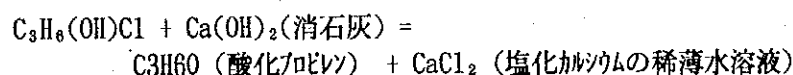
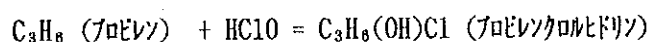
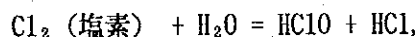
5-1-3 副製品（塩素 Cl_2 ）

上述のように、電気分解法による苛性ソーダの製造においては、苛性ソーダ1トンについて約0.88トンの塩素を副生する。したがって塩素の需要は電気分解法苛性ソーダの生産を決定するが（タイ・インドネシアでは苛性ソーダの不足分は輸入されている）、塩素より生産される製品は、使用や廃棄に際して環境に大きな負荷となるものが多いため、従来、日本が行ってきたような、塩素の需要を開拓する方法には問題がある。

塩素は、気体ではあるが、酸化、漂白、殺菌剤、あるいはそれらの原料として、繊維工業等の工業的用途や公衆衛生的な用途に消耗品的に使用される。また、塩素は、それが塩化ビニール樹脂のように、分子内部に含有されてしまう場合を除いて、使用後には、塩化水素（ HCl ）や食塩（ NaCl ）、塩化カルシウム（ CaCl_2 ）などの塩化物として脱離する。尚、塩化ビニール樹脂と同じく塩素が分子中に含有されるトリクロロエタンのような塩素化溶媒は、現在殆ど禁止となっている。

フロン等の合成の場合の様に、塩素が塩化水素として発生する場合は、塩酸等として殆ど回収されて別用途に使用されている。しかしながら、塩化物となる場合には、一般に稀薄な

水溶液となるため、食塩 (NaCl) 等として経済的に回収することは困難である。また、食塩とならずに塩化カルシウムの水溶液となる場合は、その回収はさらに困難である。例えば、主としてウレタン樹脂の原料として用いられる酸化プロピレン (C_3H_6O) は次式の如く、回収や再利用の困難な過剰石灰を含む塩化カルシウムの稀薄水溶液を副生するため、今後は酸化プロピレンの製造には塩素を使用しない過酸化法を採用するべきであろう。



このように、副製品である塩素は原料ではあるが、原材料ではなく、製品中に固定・安定化されるのは例外的である。したがって、本調査計画の他分野の製品と異なり、単純に物質のレベルに止まるので、LCAにつき考慮を払うのは当然としても、その生産に伴う環境問題は、LCA を考慮する以前に解決すべき問題である。

5-1-4 製品の利用の環境に及ぼす影響

「苛性ソーダ」は、「(繊維製品の) 染色・精練、材料(セメント、非鉄金属)や物体(casting、鍛造)、木工」等、本調査対象の他分野と異なり、「物質」のレベルの製品であり、直接、形状のある製品とならないため、LCA 的なリサイクルの可能性は少ない。ただし、例外的に、金属アルミニウムの原料であるアルミナ(Al_2O_3)の製造時には、原料ボーキサイトの溶解に苛性ソーダが使用され、使用された苛性ソーダの大部分は製品のアルミナと分離して再び回収される。このように従来からコストダウンの目的での回収再使用は実施されている。

ナトリウムは、ガラス、グルタミン酸ソーダ、洗剤、あるいは石鹼の製造の場合のように、それが塩となり最終製品中に入る場合は、理論的には環境問題を発生しない。しかしながら、通常はパルプの製造や、繊維の精練の場合のように、不純物と反応したり、希釈されたりして、いわゆるエントロピーの大なる状態になるので、再使用等は困難である。例えば、紙、パルプ等は森林資源の保護の問題を考慮して、木材を原料とするパルプに加えて、ケナフ、バガス(朝日5.13)等の非木材パルプの利用も実施すべきである。特に現在ケナフパルプはタイや中国より輸入され、また、バガスは甘蔗の繊維であるので、当該国において、繊維素源として利用すべきである。従って、パルプ原料の転換のためには、苛性ソーダの使用量の増減を考慮しないことも止むをえないと考えられる。また、ビスコースレーヨンは再生繊維素であり、その製造には苛性ソーダを使用するが、その後は、殆ど無価値な硫酸ソーダ(Na_2SO_4)となるので、調査対象国においてビスコースレーヨンの需要がある場合にも、そ

の企業化には慎重であることを要する。このように、使用後の苛性ソーダ（および副生塩素）の環境への影響は、各々の用途について考慮する必要がある。従って、苛性ソーダに関しては、上述5-1-2のように、その製造法がLCA 以前の問題である「環境調和」の問題を解決し得るかどうかにかかっている。

5-1-5 原料食塩の問題

苛性ソーダの原料である食塩は岩塩を使用する場合を除き、塩田で海水を蒸発させて製造する。日本においてイオン交換膜法に使用される食塩は、メキシコおよびオーストラリアの塩田で製造される、純度99%（ドライベース）のものである。またその粒度も7メッシュ以上が要求される（川戸愛雄「ソーダと塩素」1992年1月号p20）。さらに、海水中の不純物は、主としてカルシウムとマグネシウムと硫酸根であるため、最初に析出するのは硫酸カルシウム（石膏）であり（食塩1トン当たり約150kg析出）、次いで食塩（NaCl）が析出し、次いでマグネシウムの塩が析出する（食塩1トン当たり約50kg析出）。これらの不純物は、塩田において分離された場合には、例えば石膏は建材として、また、マグネシウムは金属あるいはマグネシア等資源として活用し得るが、苛性ソーダの製造所において、食塩水の製造時に沈殿として分離された場合には、その量が少ないためゴミとして廃棄する以外に方法がない（タイ・インドネシアでは食用のほうが多くであり、また食塩の品質はドライベースで約97%）。また、飽和に近い食塩水から析出するため食塩を大量に含有し、環境に対する負荷となる。従って原料の食塩の製造に関しても、後述のイオン交換膜法苛性ソーダ製造法を採用する場合には、当該国において高純度の食塩の製造方法の検討を行う必要があると思われる。当面の処置として、日本と同様に高純度のメキシコ塩か、オーストラリア塩を輸入することも考慮する必要がある。尚、食塩の食用および食品用の使用量は、10~15g/人・日であるため、年間使用量は数十万トンとなる。これはタイおよびインドネシアにおける苛性ソーダ（使用量20万t/y程度）の原料より遥かに大量であり、海水からの食塩以外の資源の回収は当然考えるべきである。

海水→濃厚食塩水→結晶食塩

↓	↓
不純物 (石膏)	苦汁 (塩化マグネシウム及び塩化カルシウム)

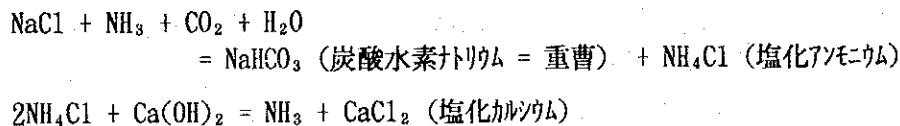
食用およびソーダ工業用以外における食塩の工業用途は、石油やガスの探査、繊維や染色、皮革工業、あるいはゴム工業であり、これらは、米国では全消費量45.1MM米トンの内の約5%を占める（D. S. Kostick: 日本海水学会誌、47, (6)379, 93）

今後はこれらの食塩の工業用途として、塩素や苛性ソーダの使用後の回収食塩の利用の可否

をも検討するべきである。

5-1-6 アンモニアソーダ法による炭酸ナトリウムの製造技術

本技術は、有害物を使用せず、また塩素と苛性ソーダのインバランスが発生した時には、炭酸ナトリウムで苛性ソーダの代用可能な用途を代替することが出来るため、塩化アンモニウムや塩化カルシウムの需要がある場合には有利な方法であるといえる。日本においては旭硝子、トクヤマ、セントラル硝子、東ソーで実施されている技術である。式は以下の如くである。



5-2 苛性ソーダ製造工程の概要

5-2-1 水銀法苛性ソーダ電解法

以下に現在タイ、インドネシアにおいて実施されている水銀法苛性ソーダ電解法の各工程を、環境負荷の最大の問題点と考えられる水銀に関連して述べる。

(1) 製塩工程

海水を天日により蒸発させて、食塩(NaCl)を結晶させ、苛性ソーダ製造に対する不純物である、硫酸根、カルシウムおよびマグネシウム等を除去する。(国により岩塩を使用するところもあるが、タイ、インドネシアでは塩田製塩を実施している)

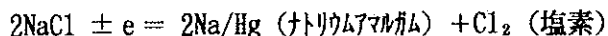
(2) 溶解工程

電解槽より戻った塩水(水銀を含有する戻り塩水)に原料食塩を溶解する。このとき原料塩中の不純物(主としてカルシウムおよびマグネシウム)は薬剤(苛性ソーダおよび炭酸ソーダ)の添加によって、水酸化物あるいは酸化物の泥として塩水から分離される。この時に泥に水銀が付着する。

(3) 電気分解工程(汞和)

精製された食塩水は電気分解槽(汞和槽)内で水銀を陰極として電気分解される。塩素はガスとして発生し、ナトリウムは水銀とともにナトリウムアマルガムとなる。残留食塩は戻り塩水となり、水銀を含有して原料食塩の溶解装置に戻る。ナトリウムアマルガムは、

電気分解槽の出口のエンドボックス等にて水で洗浄され、付着塩分を除去されて解汞槽に入る。



(4) 分解工程 (解汞)

ナトリウムアマルガムは解汞粒を充填した解汞槽内で水と接触し、ナトリウムは次式のように、水を分解して苛性ソーダの水溶液となり、水素を発生する。



ナトリウムを失ったアマルガムは水銀となり、電気分解 (汞和) 工程に戻る。この工程で生成した苛性ソーダの水溶液と水素ガスは水銀を含有する。

(5) 外部に排出されるもの (含製品)

1) 製品

苛性ソーダ (水溶液) : 水銀を含有する。

塩素 (ガス) : それに伴うミストに水銀が含有される。

水素 (ガス) : 水銀を含有すると同時に、それに伴うドレイン (凝縮水) にも水銀を含有する。

2) 廃物

塩水泥 : 原料食塩中の不純物 (主としてカルシウムやマグネシウムの化合物)

が主であり水銀を含有した戻り塩水から分離されるため、食塩と水銀を含有する。

トップボックス洗浄水: 分解工程でナトリウムを分離した水銀は、電気分解槽に入る時には水銀封を経由して塩素を含有する電気分解槽内の塩水が空気に接触しないようにする。この時に水銀を直接空気に接触させて水銀を蒸発させないように、上部を水でシールする。このシール水は水銀を含有する。

エンドボックス洗浄水: 電気分解槽から排出された水銀 (ナトリウムアマルガム) は水銀封をくぐって、電気分解槽内の塩素を含有する食塩水から分離される。この時に水銀と空気の直接接触を回避するためと、若干水銀に随伴する食塩水中の食塩が製品の苛性ソーダに混入するのを防止するために、水で洗浄される (エンドボックスシール水) 洗浄後の水は水銀と食塩を含有する。なお電解槽の形式によっては、エンドボックスやトップボックスのシール水を欠くものもある。

廃資材 : 水銀または水銀を含有する水と接触したために、水銀が付着している。

3) 建造物、床

漏洩した水銀、あるいは水銀を含有する水の飛散により、水銀やその化合物が付着し

ている。特に屋根や付近の地面も水銀で汚染されている。

4) 雨 水

屋根などに付着している水銀に汚染されている。

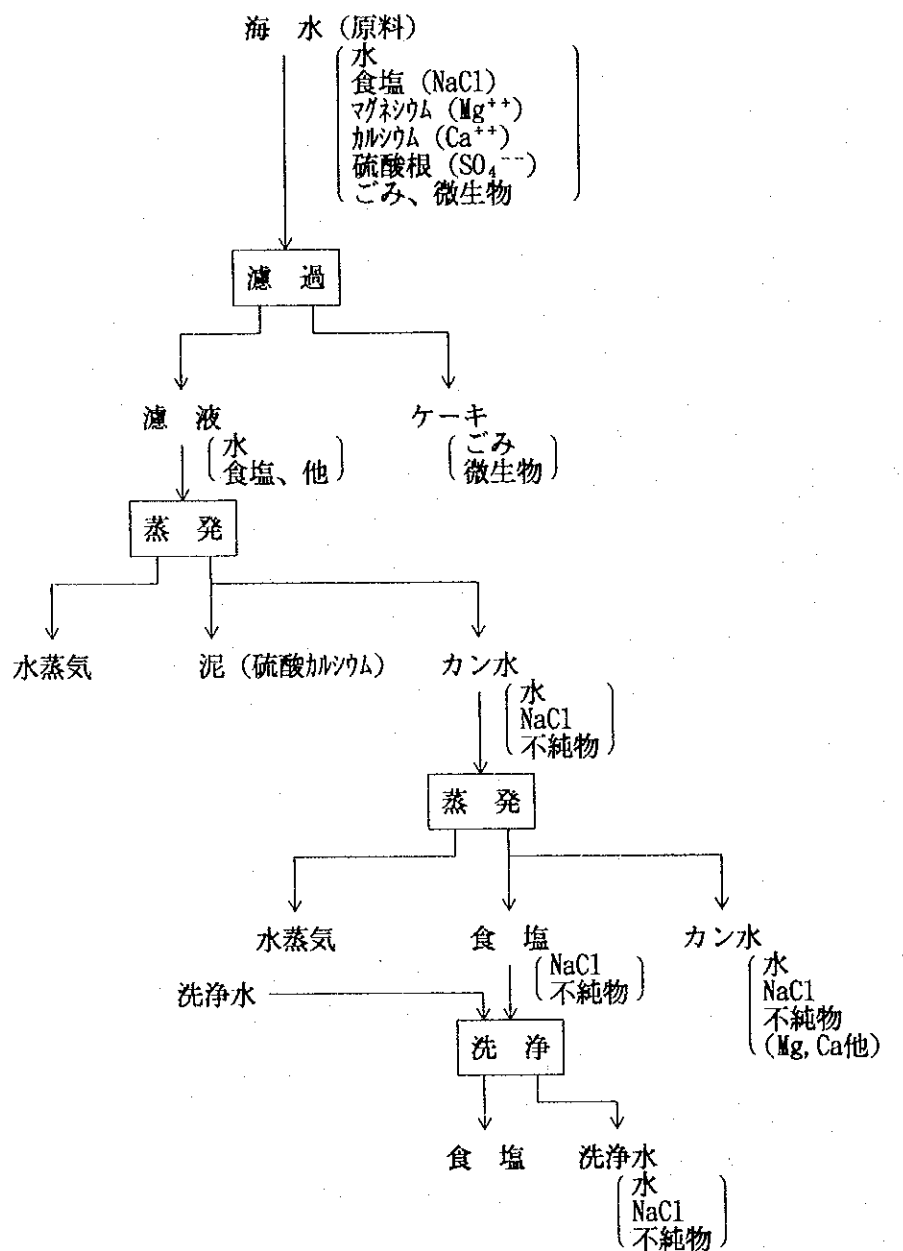


図5-1 食塩の製造工程

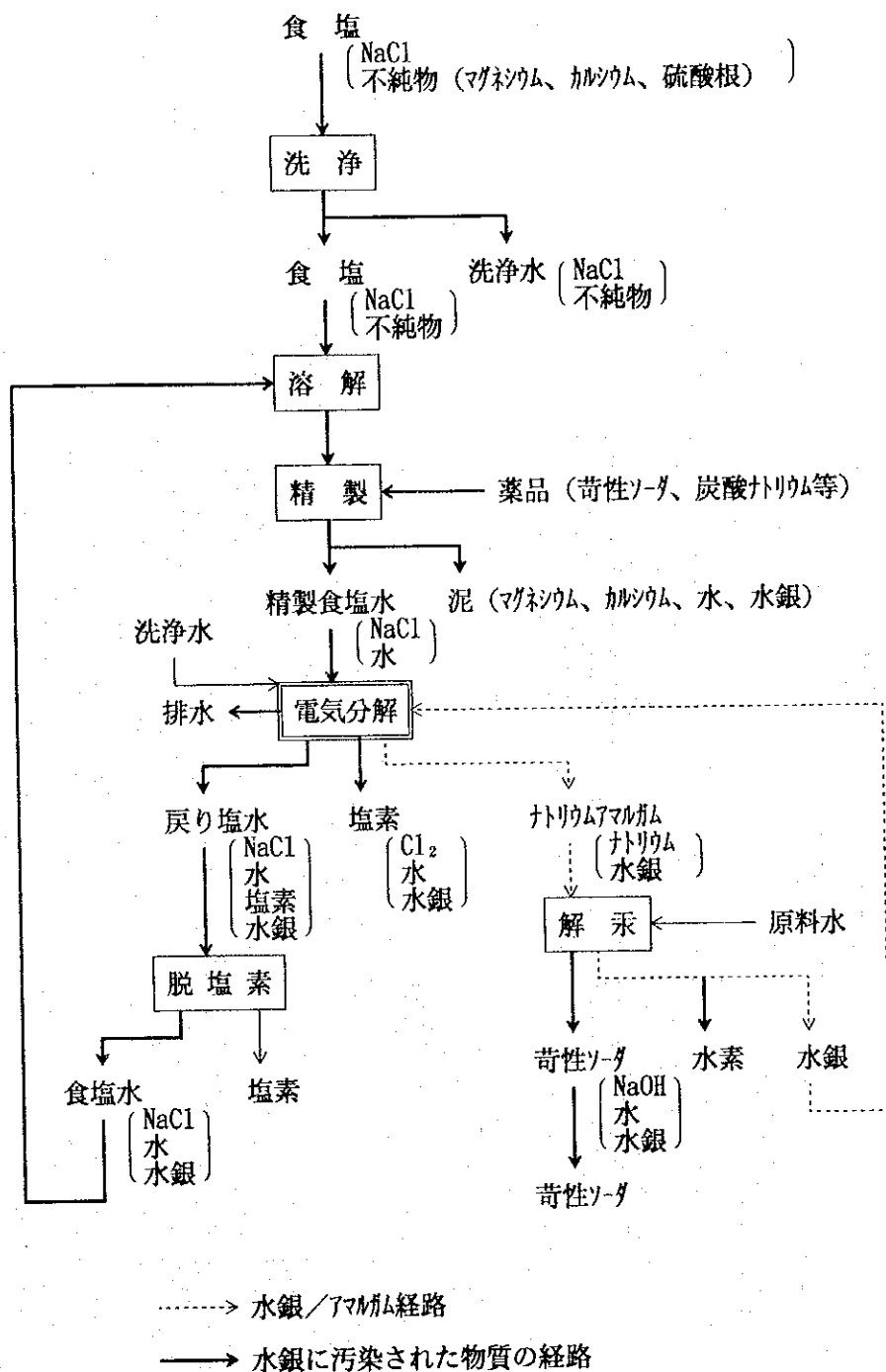
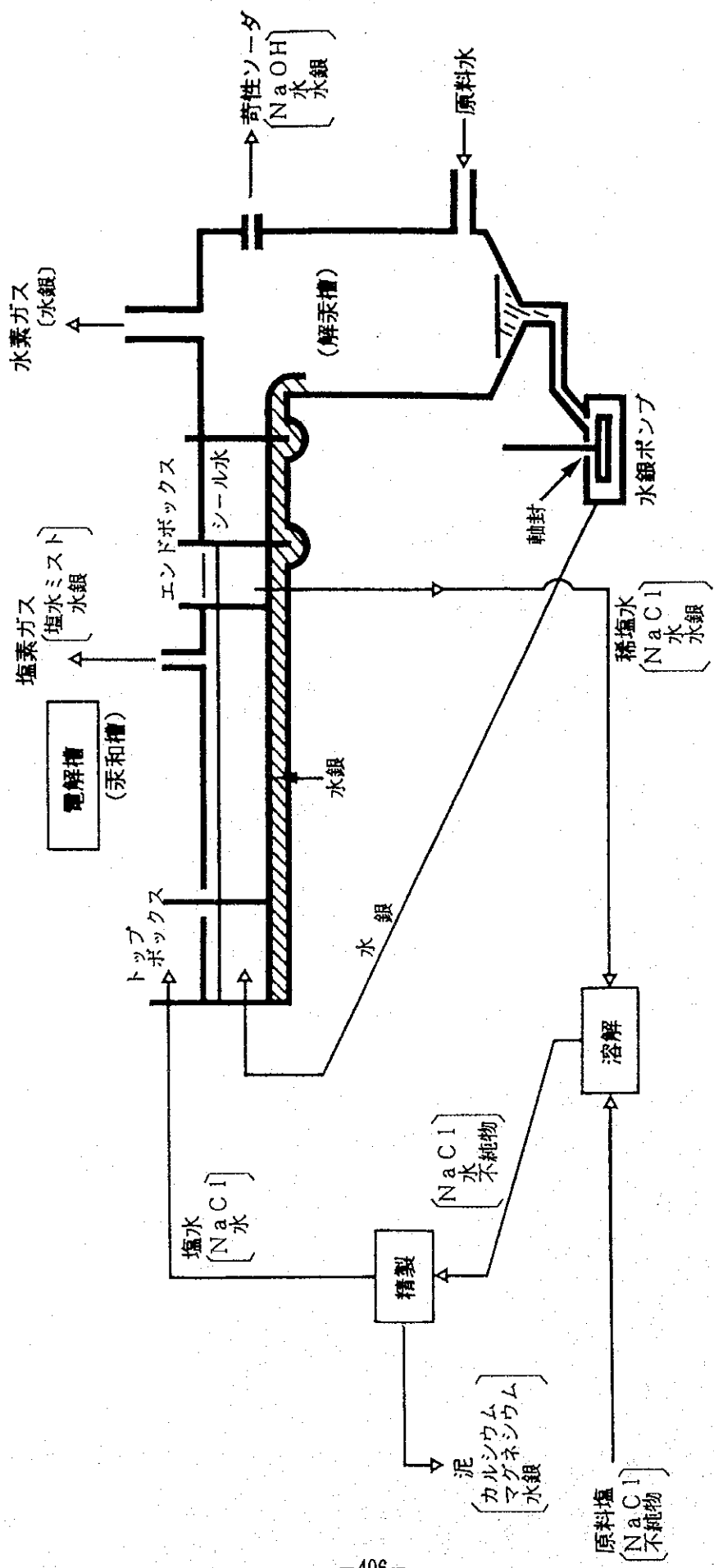


図5-2 水銀法苛性ソーダ電気分解工程



水銀法苛性ソーダ電解法フローシート

5-3 環境調和型製造技術（苛性ソーダ）

5-3-1 苛性ソーダ製造に関する環境対策の変遷のあらまし

昭和48年産業構造審議会化学工業部会のソーダ分科会で、水銀法電解装置の密閉化の改良、管理技術の向上等により無公害化を促進すべきことを答申した。

また同年、水俣病事件に対する判決に鑑み、水銀法苛性ソーダの無公害化を目指して、水銀の使用について一層の管理徹底を図るため、昭和48年10月にガイドラインを設定した。これに伴い、水銀法のクローズ化が実施され、また新設が禁止されて、隔膜法への転換が開始された。しかし隔膜法はアスベストを使用する問題と製品苛性ソーダの不良であるとの問題があり、逐次イオン交換膜法に転換されつつある。各々の方法による生産量は、平成5年において、隔膜法が約400千トン、イオン交換膜法が3,200千トンである。なお、水銀法は昭和61年にすべて転換された。その転換に要した経費は、約3,000千t/yの苛性ソーダの生産能力に対して約4千億円と推定される。

5-3-2 環境調和型製造技術の現状

以下の技術は、日本においては既に日本ソーダ工業会各社で実施済のものである。

(1) 有害物質等（水銀）の使用および排出等を軽減する技術

現行の水銀法電気分解法の公害防止処置と水銀非使用法の採用である。

1) 水銀法電気分解設備のクローズ化

水銀法電気分解装置を密閉状態として、現在の水銀法の運転に使用されている水銀の排出を防止するものである。対象は塩水、製品（苛性ソーダ、塩素、水素）、排出物（塩水泥、洗浄水、ドレイン、廃資材）、地面、屋根、および廃吸着剤のすべてに亘る。この「クローズ化」は、水銀法の操業を継続する場合にも、或いはイオン交換膜法等に製法を転換する場合においても、環境保全に必要な措置である。さらに、水銀の管理のためには、原子吸光分析法等による微量の水銀の分析方法が必要である。以下に各項目について詳細に述べる。

(a) 排水

水銀に接触した水は水銀を含有するので、系外に出さないことを原則とする。水は可及的に再使用し、水の量が増加する場合は蒸発等を実施して水バランスをとる。塩素イオンを含有した水は食塩の溶解に使用して電解工程へ戻し、それ以外の水は苛性ソーダの製造に使用する。

不純物が多く、再使用に不可能な水は蒸発させ、発生した固形物は泥と共にさらに水銀の除去処置を実施する。

(b) 排 泥

泥発生の原因は、食塩中の不純物の含有によるため、不純物含有量の少ない高純度の塩を購入して使用する。また、塩水で溶解以前に塩を洗浄するか、あるいは塩田で高純度の塩を製造する等の施策を実施して、水銀を含有する泥の発生量を減少させる。

更に、発生した泥は塩素含有水で抽出するか、あるいはpH1程度の塩酸に再溶解し、水銀を水溶液とした後に、イオン交換樹脂もしくはキレート樹脂に吸着させる。その水は水銀を除去した後に、再びアルカリ性としてマグネシウムやカルシウム化合物を泥として再沈降させて、原料塩の溶解に使用し電解工程に戻す。このように、水銀を除去した再沈降泥は700-1,200℃で焙焼して、発生した気化水銀を捕集し、残渣中の水銀を約3ppmとし、これをコンクリートで固化する。

(c) 屋 根

洗浄を実施し、その水を処理する。また雨水は雨水溜を設置して、洗浄や工程に使用し、流出させないようにする。

(d) 床や排水溝

樹脂でライニングを実施し、水銀や水銀含有水の浸透を防止する。

(e) 廃資材や廃物

水で洗浄し、洗浄水はプロセスに戻す。

(f) 製 品

水素ガスは冷却し、ドレインは苛性ソーダの製造の原料水に使用する。水素ガスは過硫酸アンモニウムの如き酸化剤水溶液で洗浄して、金属水銀を除去し、残ガスは活性炭により水銀を吸着させる。

塩素はミストセパレーターで塩水ミストを分離し、ミストおよびドレインを回収して、塩素水として泥からの水銀の抽出に使用するか、あるいは脱塩素して、食塩の溶解に使用する。

苛性ソーダ（当然水溶液である）は、静置して、水銀を沈降させた後に、活性炭吸着（吸着塔または濾過器）により処理して、水銀を吸着する。

(g) 吸着剤

水銀を吸着した、イオン交換樹脂、活性炭、および、水銀含有水の蒸発残分は焙焼して、そのガスから水銀を回収する。

(h) 塩水（イオン交換法に転換する場合）

全塩水中の水銀を除去する必要がある。このため、一旦、当該塩水にアルカリを添加してアルカリ性として、水銀化合物を沈降させて分離した後に、再び酸性として、残留水銀をイオン交換樹脂又はキレート樹脂で処理して、塩水に含有される水銀を除去する。

(i) 電気分解装置の開口部に接触する空気

開口部は可及的に密閉とし、やむをえず開けるときは、その付近の空気を吸引して、塩素水で処理して水銀を捕集し、さらにアルカリで塩素を吸収してから放出する。とくに水銀ポンプの軸封部等水銀と空気の接触する可能性のある場合は水シール等を実施する。

(j) イオン交換樹脂、活性炭等水銀の吸着剤

脱着操作を実施して水銀（化合物）を捕集するか、泥と同様に焙焼して、含有される水銀を回収する。

(k) 水銀が漏れる可能性のある、水銀関係の接続部

接続部（継手）を可及的に溶接、接着等を実施し、やむを得ず継手があるときはガスケットの形状や材質に検討を加え、また継手部の下に水を張った水銀受を設置して、水銀の床面への落下を防止する。

(l) 従業員の教育

水銀または水銀汚染物質の取扱いに関する注意事項に関する教育を、安全教育の一環、或いは個別教育として、従業員に対して行う。例えば、水銀を保有する装置の清掃や解体には、十分に冷却し、可能ならば水を張り且水洗を実施して、水銀の分散や蒸発を防止する等の具体例を含めて、教育を実施する。

水銀は、取扱いに注意すれば恐ろしいものではないが（水銀法苛性ソーダの製造工場での中毒事故の事例は極めて希である）漏洩したりすると、後々にまで影響がのこることを徹底させる必要がある。

(m) 付近の地面

塩水精製装置の付近や廃資材置場も含む設備付近の地面の舗装を実施して、水銀や水銀含有水の地下への浸透を防止する。

(n) その他

水銀法に代わるイオン交換膜法による苛性ソーダ製造技術は、すでに旭化成、旭硝子、クロリンエンジニアズなどで商品化されている。但しこれが無公害たり得るのは、既存の塩水等の水銀を完全に処理することが前提である。

(2) イオン交換膜法の製造技術（有害物の水銀を使用しない技術）

日本では旭硝子、旭化成の2社で、イオン交換膜の製造と同時に、電解設備を含めてユニットとして商品化され、また海外の(duPont)技術も「クロリンエンジニアーズ」により商品化されている。ただし、イオン交換膜用の原料食塩は、日本では高純度の輸入塩のみが使用されており、また、イオン交換膜法に使用するための食塩の粒度は7メッシュ以上の粒度が必要との情報がある（川戸愛雄「ソーダと塩素」1992年1月号p20）。カルシウムとマグネシウムの比は、 Ca/Mg が2～5であるといわれ、硫酸根 (SO_4) は塩水中に4g/1以下が必要であるとも言われる（硫酸根は原料の食塩から供給され、製品の苛性ソーダ中に移行しないので、次第に蓄積する傾向がある）。硫酸根の除去には、塩水中に炭酸バリウムを添加し、硫酸バリウムとして沈降させることにより実施されているが、過剰のバリウム塩は有毒であるので注意を要する。これ以外の硫酸根の除去技術としては、鍾淵化学のジルコニウム系化合物による除去技術および旭硝子の電気透析による除去法が提案されている。（相川洋明「日本海水学会誌」48巻6号p439、1994）

このイオン交換膜法に使用可能な食塩の供給に関しては問題が残る。

(3) アンモニアソーダ法による炭酸ナトリウムの製造技術

本製造技術は水銀法と異なり、有害物を使用しない技術である。塩素と苛性ソーダのインバランスが発生した時には、炭酸ナトリウムで苛性ソーダの代用可能な用途を代替することが出来るため、塩化アンモニウムや塩化カルシウムの需要があれば考慮に値する。日本においては旭硝子トクヤマ、セントラル硝子、東ソーで実施されている技術である。

5-4 苛性ソーダの製造方法に関するAdvice案(指導、法制、検討事項)

苛性ソーダの使用量は上述のように、経済発展と共に増大し、環境保全の目的には公害の原因となる排出物を減少させるEOP技術のみでは不十分である。有害物質を使用しないような製造工程の採用が必要であり、先方に対しては、以下のような説明を与える必要があるが、決して押付けにはならない。

5-4-1 水銀法苛性ソーダ製造法の包蔵する危険性

水銀法苛性ソーダの製造に使用される水銀は、排出された場合に有機物質と異り、自然には消滅しない。このため、最悪の場合は、生物連鎖の中にはいり、食物の中に含有されて人体に蓄積して有害となる危険性がある。無機の水銀は比較的害は少ないといわれるが、長期に亘る排出で、環境内に大量に蓄積された場合の影響は不明である。

- 水銀を使用する限り、水銀の揮散やイオンとなつての溶解（水と金属水銀の接触でもppmオーダーで溶解する）により外部に対する排出は避けられない。従つて、水銀の排出を完全に防止するためには、end of pipe 式に水銀を使用した上でその排出を防止するいわゆる「クローズド化」では不十分であり、水銀を全く使用しない方法、即ちイオン交換膜法の採用しか有り得ない。
- 転換する場合でも、既存の水銀法苛性ソーダの設備、塩水、廃物、付近の土地 に存在する水銀をすべて処置して無害化する必要がある。
- 水銀には可採資源量が5,700 トンという資源的問題があり（[LCAのすべて]p46）、また中国が輸出国から輸入国に転換し、唯一の輸出国となつたスペインも国内生産を中止した（日刊工業5月9日）ので、供給不安の可能性もある。

5-4-2 他の製法の特徴の説明 [5-1-2の内容の説明の概要]

(1) 隔膜法苛性ソーダ

隔膜法による苛性ソーダの製造法は「アスベスト」を使用する問題がある上に、製品の純度の不良という問題もあり、衰退しつつある方法であつて、水銀法の代替にはなり得ない。

(2) アンモニア・ソーダ法（補助的な選択枝の一つ）

将来塩素の需要の限界で苛性ソーダの生産が制約され、大量のソーダ（苛性ソーダまたは炭酸ソーダ）の輸入の必要が生ずるならば、苛性ソーダあるいはその代替品である炭酸ソーダの不足分は本法により補給せねばならない可能性がある。前述のように、アンモニア・ソーダ法は日本において旭硝子、セントラルガラス、東ソー、トクヤマ等の各社で実施されている。

5-4-3 指導の具体的方法（現在、現実に供給可能な技術レベルの明示）

- 水銀法における水銀の排出の極限的抑制技術、即ち『クローズド化』技術は日本ソーダ工業会所属の各社で、現実に実施された技術である。
- イオン交換膜法の技術は現実に日本において、旭化成、旭硝子、クロリンエンジニアーズ(duPont の膜)などの各社で実施され、または商品化されたものである。

- 日本ではイオン交換膜法に使用する食塩として、メキシコあるいはオーストラリア等より輸入された高純度の食塩を使用している。さらに粒度に対しても7メッシュより大きいことが必要とされる（川戸愛雄：“ソーダと塩素”1992年1月号p20）。また当該国の塩田で「イオン交換膜法」に適した原料塩の製造法は未だ不明であることを明示する。

5-4-4 法制的整備

水銀の排出規制のみならず、水銀法苛性ソーダの生産の規制を実施しなければ、転換は行われ得ないことを明示する。

5-4-5 環境調査および分析（の指導）

水銀の自然存在量（海水中、原料塩中、一般の地中、河川水中、大気中）の測定が重要である。このためには、原子吸光分析装置等の、機器の設置および分析の実施が重要であることを明示する。但し、これらの水銀の含有量の数値の取扱いが微妙である。例えば、『自然存在量以下ならば、排出して良い』とは断定できない。しかし、自然界から、例えば、河川水を導入して、それを使用し、排出するときに、排出水の水銀量含有量を原水のそれより減少させることが現実的であるかは問題である。

5-4-6 今後の要検討（研究）事項

(1) 原料食塩の製造法の改善

当該国の塩田において、イオン交換法において使用可能な食塩（純度、粒度）の製造の研究が必要である。さらにカルシウム、マグネシウム、あるいは硫酸根のような無機の不純物の除去は当然であるが、海水中のゴミや生物の除去も必要である。イオン交換膜法に使用する食塩は溶液として膜を通過する必要がある、そのために事前に精密濾過をする必要がある。また日本のイオン交換膜製塩においても事前に海水の濾過が実施されており、浮遊固形物が0.2ppm以下が目標とされる（荏原インフィルコ株式会社、技術本部永吉武雄）。これより考えればメキシコあるいはオーストラリアと異り、人口稠密で且水温の高い該国においては、海水中の生物の繁殖も甚大であり、塩田に海水を導入する以前に十分な濾過をする必要があると考えられる。

日本に輸入されるメキシコ塩あるいはオーストラリア塩は、CIF 価格で約¥4,000/トンであり、また当該国等での塩田製塩のコストは約\$ 3/トンといわれている（川戸愛雄ソーダと塩素、1992年1月p20）。従って、「自国品の品質が不適ならば輸入」（ポーキ

サイトあるいは鉄鉱石で前例あり) という処置は一時的には止むを得ないとしても、長期的には、当該国の国民経済から問題であろう。

(2) 水銀処理法の改善案

水銀法の稼働により発生した泥や、水銀吸着物の処理方法のさらなる改善案の立案が必要であると考えられる。現在は、泥や水銀を吸着した物体は焼却して、ガス中の水銀を捕集し、3ppm程度の水銀を含有する残灰はコンクリートにより固化する方法がとられている。[5-3-2]

これらの現在実行されている方法に加えて、水銀の流出を完全に防止する処理法の検討(例ガラス化等)が必要と考えられる。更に「水銀法のクローズド化」には付近の土地の舗装も必要であるが、舗装する以前に、硫黄化合物(例多硫化ナトリウム Na_2S_x 溶液)を散布して土壌と混合して、水銀を難溶解性の硫化物とする等の無害化の検討も必要である。

〈参 考〉

海水より食塩の取得に伴う不純物（カルシウムおよびマグネシウム化合物）

- ・ マグネシウム（Mg）：食塩1トンに対してMgとして約40kg

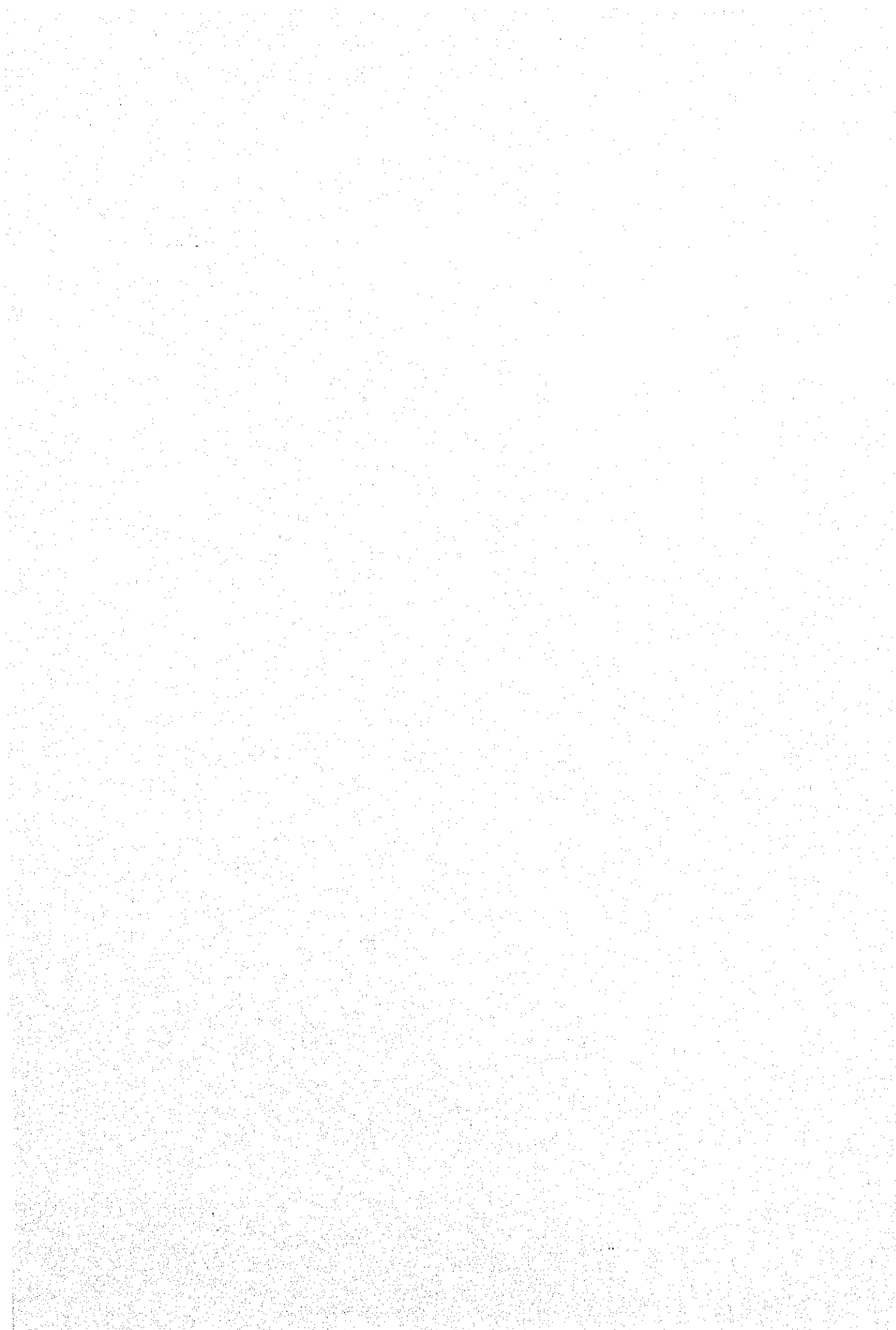
従来からの需要： 金属マグネシウム、酸化マグネシウム（セラミックスの原料）
水酸化マグネシウム（合成樹脂の難燃性充填材）

最近の需要 ： 鉄鋼の脱酸剤（高級鋼材） 〔日刊工業5／10〕
 ： 廃水中の磷の除去（マグネシウム化合物を利用して磷酸マグネシウム誘導体として肥料化・ユニチカ） 〔日刊工業5／10〕

- ・ カルシウム（Ca）：食塩1トンに対してCaとして約10kg、硫酸カルシウムとして約40kg 但し、全硫酸根を硫酸カルシウムとすれば100kg）

用途としては、硫酸カルシウム（石膏）として建材（難燃性防音材）。また、硫酸カルシウムは石油工業の脱硫の副生物として大量に生成する。

以上のように、食塩の副生物は比較的安価であり、製塩所（塩田）で生成するときは、比較的大量であり、利用が考えられるが、苛性ソーダ工場において、原料食塩（要求純度ドライベースで99%以上）から生成するときは、食塩の量と純度の点よりみて、ゴミとして扱わざるを得ない。



JICA