

亜鉛製錬技術の進歩



伊藤 右橋*

The Improvements of Smelting and Refining Technologies for Zinc

Ukitsu Iro

1. はじめに

鉄は優れた性質により社会を支え、国民生活に密着した重要な基礎資材となつている。日本の鉄鋼業はほとんどの資源を海外に依存し、世界的に優れた技術と設備を使つて年間1億t強の鉄を生産している。しかし鉄は“さびやすい”と言う欠点がある。亜鉛は固有の優れた性質、つまり鉄に対する犠牲防食作用や鉄の約25倍の耐食性などにより、鉄の防錆に最も効果がある。それゆえ亜鉛は実に6割が鉄の防錆用（主にめつき）として利用されている。他に亜鉛ダイカスト、伸銅、亜鉛華などとして自動車、弱電など種々の産業の基礎資材として利用されている。

この亜鉛について、世界の需給構造、生産方式の概要を報告し本題である「亜鉛製錬技術の進歩」について省エネルギー、省力化、省資源を中心に報告する。この報告はすべて自由世会（ユーゴスラビヤを含む）を対象としており共産圏は不明である。

2. 亜鉛の需給構造

2.1 特徴

- (1) 先進国型供給構造であり、鉱石生産の7割強、地金生産の8割強が先進国に集中している。
- (2) 鉱石の埋蔵量では米国、オーストラリア、カナダで57%をしめ、日本、欧州を含めると約70%となる。
- (3) 日本は生産量で第1位であり、15.5%のシェアを有し、消費量では米国について第2位である。
- (4) 自由世界の生産能力は約560万t/年であり日本の能力は約100万t/年である。
- (5) 日本は原料鉱石の約35%を国内鉱山より自給し、残り65%を海外より輸入して亜鉛の生産を行っている。

2.2 自由世界における日本の亜鉛製錬の位置づけ

- (1) 技術的に優秀である。
- (2) 第1次オイルショック前に完全なる公害防止設備を含めて十分なる生産体制を確立した。

表1 亜鉛の生産及び消費（世界、昭和59年実績）
（単位：千t）

	生産	消費
欧州	1931	1693
アメリカ	218	165
南米	465	331
カナダ	325	960
オーストラリア	683	146
アジア	309	99
日本	188	524
共産圏への輸出	754	775
合計	4873	4931

表2 亜鉛の需要（日本、昭和59年度実績）

めつき用	61%
ダイカスト用	14%
伸銅用	14%
亜鉛板用	4%
亜鉛華、亜鉛末他	4%
その他	3%

(3) エネルギー多消費であり、電解法は電力多消費である。日本の電気料金は西欧諸国に比して4~5円/kWh 高く不利な立場にある。しかし、自由世界でエネルギーの安い自家水力を保有する生産能力は、カナダ、オーストラリア、北欧で60万t~70万t/年にすぎない。

(4) 生産能力増強についていえば電解法の新設工場の建設コストは3000ドル/tであり償却金利だけでも10数万円/tのコストがかかり、現在の買鉱時の製錬加工費は5~7万円/tであるので、発展途上国が特に国策上必要とする場合のほかには、新設は期待できない。言い換えれば新設禁止の価格になっていると言える。

(5) 円高の影響

a. 国内建値（円/t）は亜鉛国際価格（ドル/t）×為替レート（円/ドル）+輸入諸掛（円/t）で決定され、海外の写真価格となつている。

b. よつて例えば2割の円高となれば国内建値は約2割値下がりするので国内鉱山より生産される亜鉛は採鉱・選鉱費+製錬費の2割コスト削減が必要となり、また輸入原料より生産される亜鉛は製錬費の2割のコスト削減が必要である。

c. コスト削減については自助努力による一層の合理

昭和60年10月11日受付 (Received Oct. 11, 1985) (依頼解説)

* 東邦亜鉛(株)本社 (Head Office, Toho Zinc Co, Ltd., 3-12-2 Nihonbashi chuuou-ku 103)

化をしなければならない。

d. また電力、コークス、重油などの価格への円高差益の還元が絶対必要である。特に電気亜鉛製錬においては全コスト中電力費の占めるウェイトが6割以上と極めて高いため、電気料金への円高差益還元の反映がその存続の前提条件となると言える。

e. ドルに対して西欧諸国の通貨が円と同様に高くなっているため、西欧諸国でも上記のような努力が必要であり、この結果いずれは亜鉛の価格の見直しが行われると考えられる。

3. 製 錬 方 式

大別して湿式法と乾式法に分類される。

表3に示すように世界的に近年建設された製錬所はすべて電解法である。

また表4に示すように日本の亜鉛生産は電気亜鉛60%、蒸留亜鉛23%、精留亜鉛17%となつている。

次に各製錬法の特長及び欠点につき述べる。

3.1 電 解 法

- 特長 (1) 高純度亜鉛が得られる。
 (2) 公害防止が相対的に容易である。
 (3) 機械化が進み作業環境が良好。
 (4) Cd など含有する有価金属の回収が容易であり、さらに鉱滓処理技術が発達した。

- 欠点 (1) 電力多消費である。4000 kWh/t の電力が必要。

3.2 豎型蒸留法

- 特長 (1) 亜鉛滓類の使用ができる。
 欠点 (1) 工程が煩雑である。
 (2) 1炉当たりの生産量が少ない。

3.3 電熱蒸留法

米国のセント・ジョー社が開発し操業していたが同社は環境対策の立ち遅れ、人員の過多などで一時閉鎖し、最近小規模にて再開した。日本では炉の大型化、省力化精留亜鉛の能力増加を計って現在に至っている。

表 3 製錬方式別生産量割合 (世界)

分類	方法	昭和 50 年	昭和 59 年
湿式法	電 解 法	79%	84%
	豎型蒸留法	6%	2%
乾式法	電熱蒸留法	6%	4%
	I S P 法	9%	10%

表 4 製錬方式別生産能力及び生産実績 (日本)
(単位: 千 t (%))

	能 力	昭和 58 年度生産実績
電 解 法	578.4 (59.1)	440.3 (62.4)
豎型蒸留法	116.4 (11.9)	46.3 (6.6)
電熱蒸留法	120 (12.3)	97.4 (13.8)
I S P 法	163.2 (16.7)	121.1 (17.2)
合 計	978 (100)	705.1 (100)

- 特長 (1) 有価物回収率が高い。
 欠点 (1) 電力多消費である。

3.4 I S P 法

I S P 法は英国で開発された技術であり鉛・亜鉛同時処理が可能な熔鉱炉法である。

- 特長 (1) 不純物レベルの高い原料処理が可能。
 (2) 電解法に比して貴金属の回収が容易。
 欠点 (1) 地金品位が電解法に比して劣る。
 (2) 精留亜鉛製造に高価なエネルギーを必要とする。

I S P 法は現在の生産レベルでは十分な需要があると考えられるが、更に新設した場合マーケットが十分確保できるか否かが問題であり新設の計画はない。

4. 製錬技術の進歩

1次及び2次のオイルショック後、エネルギー多消費の亜鉛製錬はその生き残りをかけて懸命な省エネルギー、省力、省資源の諸対策を実施し、めざましい進歩をなしとげた。

電解法を中心にこれらの対策及び結果を報告する。

4.1 省エネルギー

4.1.1 電力

(1) 電解電力の削減

オイルショック前の昭和47年と最近の昭和58年における国内各社の電解用電力原単位を表5に示す。3.7%という削減効果は必ずしも大きいとは言えないが、次に述べる夜間電力使用対策とあわせて10%以上という大きな削減効果をあげた。

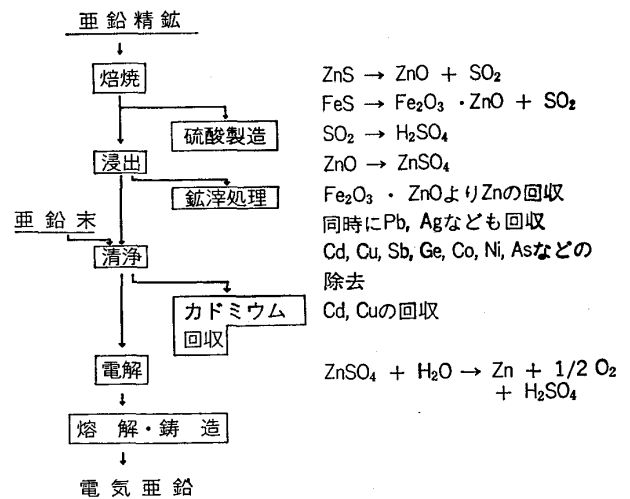


図 1 電解法フローシート

表 5 電解用電力原単位の推移 (日本各社平均)

昭和 47 年	3 310 kWh/t	
昭和 58 年	3 186 kWh/t	
削 減 量	△124 kWh/t	3.7%減

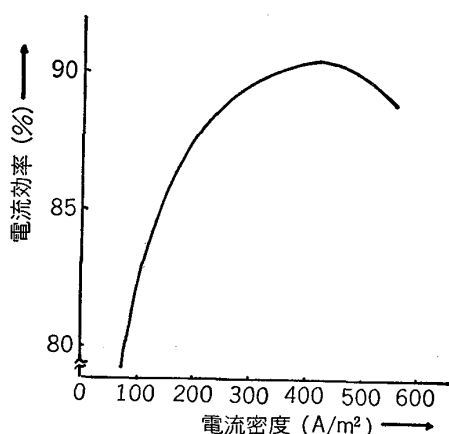


図 2 電流密度と電流効率

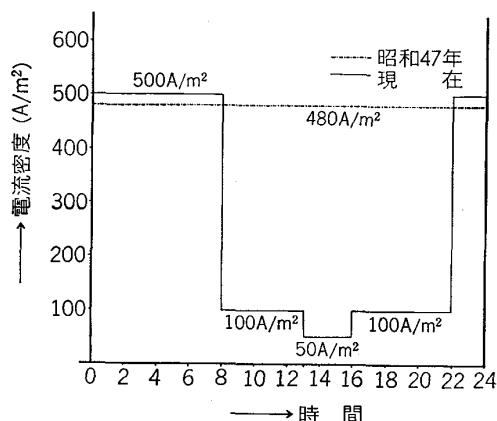


図 3 時間帯別の電流密度変化

(2) 夜間電力の使用

現在日本では年間 8760 時間のうち日曜、祝日も含めて 55% が夜間の時間帯であり残り 45% が昼間となっている。亜鉛電解用電力はこの 55% の夜間に全消費電力の 85% を使用し、45% の昼間には 15% しか使用しない。このような、電解に限れば 85% という夜間率は、日本の電力の特殊性である負荷平準化目標に合わせた操業方法であると言える。

しかし技術的にはもちろん最適な電流密度レベルを維持する電力使用方法が電流効率上望ましい事は言うまでもない(図 2)。

図 3 に代表的な電解電力負荷を示す。昭和 47 年当時の総合的な電解条件では現在のような大幅な負荷変動、特に 50~100 A/m² と低い電流密度では電着亜鉛の再溶解現象が起こり円滑な操業を維持し得なかつたことは明らかである。現在の負荷変動に耐え得る体制は、次に述べるさまざまな技術開発を経てえられたものである。

(3) 負荷変動対策及び夜間率向上対策

a. 清浄液の純度の上昇及び清浄工程の管理の強化
電流効率を低下させる不純物 Sb, Ge, Ni, Co, As などは ppb オーダーの管理を実施している。

b. 極板調整の強化 [陽極板上に析出して槽電圧を高

め電力消費をふやす物質(二酸化マンガン、石膏など)の除去強化.]

c. 短絡の防止 [短絡による電力消費を減少させる.]

d. 電解時間の短縮 [亜鉛電解では陰極亜鉛を剝離するまでの通電時間に逆比例して電流効率の低下をきたす.]

e. Mg, Mn, Na, K などの硫酸塩類のブリードとその処理 [電解液抵抗を増す塩類を系外に出し省電力を計る.]

f. F⁻, Cl⁻ などハロゲンイオン不純物の除去。

g. 整流器の改造による能力アップと、それによつて生ずる電流密度上昇防止のための極板面積及び極板枚数の増加。

(4) 電解条件の変更による電力原単位の削減

亜鉛電解における抵抗を最少にすべくさらに次のような電解操業条件の変更を行っている。

a. 硫酸濃度を上昇させる。

b. 電解温度を上昇させる。

c. 極間距離を短縮する。

以上の条件変更によつて、100 kWh/t 程度は削減できたと考える。

(5) 動力用電力の削減

他の産業で実施されているのと同様の方法を採用して、10~15% の削減効果をあげた。具体的対策は次のとおりである。

a. 容量の見直し。

b. 回転数制御などの機器の導入。

c. 装置の抵抗の低減による圧力損失の減少。

d. 背圧タービンの採用。

e. 小集団活動による改善。

4.1.2 蒸気

湿式法の工程は多量の蒸気を使用する。使用蒸気の大部分は焙焼炉排ガスの保有する熱を廃熱ボイラーで回収したものである。焙焼炉のタイプには湿式と乾式があり、湿式は鉱石をパルプ状で炉にチャージし、乾式はそのままチャージする。両者の蒸気発生量を表 6 に示す。

種々の蒸気発生量増加対策が実施されたが、次にその具体例を述べる。通常蒸気 1t は電力 250 kWh に換算される。

a. 湿式を乾式にリプレースする。

蒸気量 0.8t→1.2t/精鉱 t

b. 湿式を乾式に改造する。

蒸気量 0.8t→1.2t/精鉱 t

c. 焙焼温度を上昇する。

蒸気量 0.8t→0.9t/精鉱 t

表 6 タイプ別焙焼炉の蒸気発生量

湿式	0.7~0.9t/精鉱 t
乾式	1.0~1.2t/精鉱 t

表 7 ISP 法のエネルギー (日本, 昭和 57 年度実績)

コークス	70%
電力	15%
L P G	10%
重油	5%

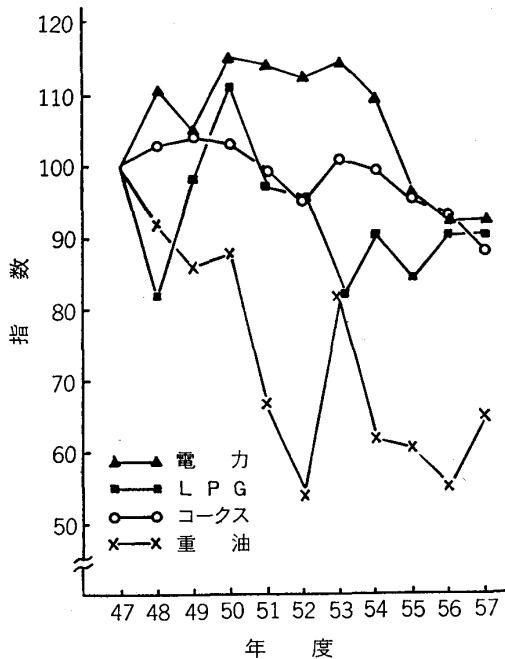


図 4 「ISP 法における」各種エネルギー別原単位の指数推移 (47 年度を 100 とする)

表 8 工数原単位の推移 (日本各社平均)

	昭和 47 年度	昭和 58 年度
電気亜鉛	0.81 工/t	0.73 工/t
蒸留亜鉛	0.56 工/t	0.30 工/t
精留亜鉛	0.35 工/t	0.25 工/t
全生産量	80 万 t	70 万 t

d. 湿式法の炉内にクーリングコイルを設置する。

e. 焼鉱の保有熱及び廃熱ボイラー後の排ガス保有熱より回収する。

4.1.3 重油

各種の中間物鉍滓処理などで乾燥用に重油を使用しているが、これに高圧搾自動フィルタープレス、または遠心分離機などを採用し設備をリプレースした。ある製錬所では高圧プレスの採用によつて、年間3億円以上の経費削減ができた例が発表されている。

4.1.4 ISP 法における省エネルギー

以上電解法の省エネルギーについて述べたが電熱蒸留法、ISP 法でも同様な努力をつくし、多大な成果をあげている。1例として、ISP 法での実績を述べる。

(1) ISP 法における使用エネルギーの割合

ISP 法もエネルギー多消費であるが、電解法とでは使用エネルギーの使用割合が全く異なる。

(2) 各種エネルギーの削減

図 4 に示すごとく大幅な削減効果をあげている。

4.2 省 力

昭和 47 年と昭和 58 年の工数原単位を表 8 に示す。

表 8 で電気亜鉛と、これと同一品位の精留亜鉛との両者を比較すると、昭和 58 年度では 0.73 工/t 電気亜鉛に対し 0.55 工/t [(蒸留 0.3 工) + (精留 0.25 工)] 精留亜鉛であり、昭和 47 年に比較して乾式法の合理化が進んだ結果となる。ただし、電気亜鉛の方が調合亜鉛、陽極亜鉛、ダイカスト用合金等製品の種類が多く、またこの需要も多様化しておりこの部門の工数が単純に同一の比較ができにくいことを考慮すると、上記の差は小さくなると考えられる。

電解法での省力化の中心は電解工程における自動剥離システムの導入であつた。アルミニウム板に電着したカソード亜鉛の剥離に各社共独自の技術を開発し競い合つた。しかしほとんどが既設の工場への新システムの導入であつたため以上のような結果にとどまつた。

電解法では第 2 次オイルショック後の電気料金値上げ対策として昭和 56 年より 57 年にかけて各製錬所とも約 2 割の人員合理化を実施し、これに対処してきている。

4.3 省 資 源

亜鉛精鉱中には有価物として Zn, S, Pb, Cd, Cu, Au, Ag, In, Ga, Ge, Ni, Co などが含まれている。これらの回収は、公害防止上の問題及び回収物価格と価格費用とのバランスで決定される。

Pb, Cd, Au, Ag, In などが一般的に回収される金属であるが、回収の実際は含有量、製錬プロセスに依存する。さらに新しい溶媒抽出法などの技術の進歩により他の金属も有利に回収できることを望んでいる。

5. 結 言

亜鉛の需給、製錬方式及び省エネルギー、省力化につき最近の亜鉛製錬技術の進歩との関係につき述べた。

今後も現在まで行つた諸対策をもとにさらに一層の努力が必要と考える。近未来の新技術としては、たとえば電解法における電力原単位の削減対策として酸素発生過電圧を低下できうる経済的アノードの開発があげられる。

参 考 文 献

- 1) 日本鉍業協会: 現場担当者会議製錬講演集 (昭和 47 年より昭和 60 年まで)
- 2) 日本鉍業協会: 亜鉛, カドミウム製錬操業成績 (昭和 47 年度及び昭和 58 年度)
- 3) 日本鉍業協会: 最近の亜鉛製錬の進歩と展望 (昭和 56 年 6 月)
- 4) 国際鉛・亜鉛会議統計 (1985 年 4 月)
- 5) 日本鉛・亜鉛需要研究会: 鉛・亜鉛二十年のあゆみ (昭和 59 年 11 月)
- 6) 日本鉍業協会誌: 非鉄製錬特集号 (昭和 56 年 8 月)