(イ) 工数原単位 (工/E. M. C. t) (亜鉛電解部門)

31年	32年	33年	34年	35年	36年	37年	38年	39年	40年	41年
3.5	2.6	2.6	2.3	2.2	2.1	1.5	1.6	1.3	1.1	1.1

(ウ) 亜鉛採取率 (%) (亜鉛電解部門)

31年	32年	33年	34年	35年	36年	37年	38年	39年	40年	41年
91.7	91.6	94.2	94.9	94.9	94.7	94.9	94.2	94.0	94.3	94.4

その主なものを挙げれば第10表のとおりである。

7. 結 言

以上は神岡における最近10年間の鉛製錬および亜鉛製錬の推移とその進歩について概要を記述した。

今後はさらに改善努力を積み重ねて技術の向上と原価低減に努力したい所存である。本報告を終るにあたり、当所の生産規模の拡大と生産技術の確立に尽力された先輩各位ならびにご支援をいただいた関係者各位に対し深甚なる敬意と感謝の意を表わす次第である。

三 日 市 製 錬 所 の 亜 鉛 製 錬

Zinc Smelting and Refining at Mikkaichi Smelter

正 会 員 荻 原 研 郎*
Kenrō OGIHARA

1. 緒 言

当所は、雄大な北アルプスを背景に蜃気楼で名高い富山湾に面した黒部市の一角に位置し、昭和28年9月に亜鉛製錬ならびにこれに付帯する事業を行なうことを目的として、日本鉱業株式会社と日室鉱業株式会社との共同出資によって三日月製錬株式会社として発足した。

新会社設立後直ちに建設に入り、昭和29年12月末に1号電熱蒸留炉（以下電炉と略す）の操業を開始し、300t/月の蒸留亜鉛を生産して以来12年を経過し、現在では従業員数452名で常時7炉を操業し月8,100t（内型亜鉛4,500t）を生産するにいたった。

なお、昭和36年2月にはカドミウム工場、37年4月には精留工場、38年6月には合金工場の操業を開始し、現在カドミウム20t、最純型亜鉛2,600t、ダイカスト用亜鉛合金塊およびメッキ用陽極1,000tを生産している。

この間昭和36年2月に、亜鉛精鉱の委託ばい焼先であった敦賀化学工業株式会社と合併して社名を日本製錬株式会社と改め、さらに、40年2月には親会社の日本鉱業株式会社に吸収合併され、日本鉱業唯一の亜鉛製錬部門となった。

つぎに当所の主要製品ごとにその変遷と現状について述べる。

写真1 日本鉱業三日月製錬所

2. 蒸留亜鉛部門

2・1 ばい焼

創業当初の第1期計画では亜鉛生産量を450t/月とし、亜鉛精鉱のばい焼は日産化学株式会社富山工場に委託していた。しかし、当時の経済状況では400~500t/月程度の製錬規模では採算点に達しないので早急な生産量の拡大が必要となり、1,000t/月体制の一環として前記、日産化学のほかに昭和31年7月に敦賀化学工業株式会社とも委託ばい焼契約を行なった。この委託ばい焼の2本建ては、約1年間続いたが32年6月に敦賀のばい焼能力の増加を機会に日産化学との契約を解消し、以来、全量を敦賀で処理することとなった。

敦賀工場におけるばい焼工程は、B. A. S. F. 式流動炉による亜鉛精鉱のばい焼と、ばい焼炉ガスからのケミコ式による接触硫酸製造とからなり、現在従業員92名でB. A. S. F. 式流動ばい焼炉5基を操業して、9,800t/月の亜鉛焼鉱と10,500t/月（100%換算）の濃硫酸を生

* 日本鉱業株式会社三日月製錬所副所長

産している。過去10年間に於ける年度別の硫酸生産量の推移は第1表のとおりである。

第1表 年度別硫酸生産量 (100%換算)

年 度	32	33	34	35	36
生産量(t)	21,000	21,100	26,100	37,300	56,200
年 度	37	38	39	40	41
生産量(t)	61,800	72,800	82,300	101,400	127,200

受け入れ亜鉛精鉱は、社内鉱72.4%、社外鉱7.1%、輸入鉱 20.5%(41年下期)の比率で、他社と比較して社内鉱の占める比率がきわめて高く、安定したしかも恵まれた原料事情といえよう。産出焼鉱は北陸線經由で敦賀・黒部間をピストン輸送される。41年下期における受け入れ亜鉛精鉱と使用亜鉛焼鉱の量および成分は第2表のとおりである。

第2表 亜鉛精鉱および焼鉱の主成分

量 (t)	成 分						(%)		(g/t)	
	Zn	Pb	Cd	Fe	Cu	S	SiO ₂	CaO	Au	Ag
精鉱71,497	52.25	—	0.19	—	0.62	32.31	—	—	1.0	226
焼鉱61,100	60.7	2.03	0.24	8.44	0.89	1.98	2.81	0.12	1.1	261

敦賀工場での特記事項としては、42年7月からばい焼工程における排熱の回収活用方法として2,200kWの発電設備を完成し、工場の使用電力を賄いコスト低減に大きな貢献をしていることである。

2.2 焼結

焼結の目的は衆知のとおり、電炉へ装入する原料を適当な電気抵抗を有し、被還元性がよく、堅固で難溶融性の粒につくことで焼鉱中のPb, Cd, S等の不純分を除去して、亜鉛地金への夾雑を防止するとともにこれらの有価物を回収することにある。

工程は大別して焼結、焼結塊の粉碎・整粒、排ガス処理およびその他の付帯工程とからなり現在約13,400t/月の焼鉱を処理して16,600tのシンターを生産している。

1号焼結機は、1号電炉が完成する約3カ月前の昭和29年8月に完成し同月23日から操業に入った。これは、三日市製錬所にはじめての「火」が入った記念すべき日である。2号焼結機は、31年3月に3号電炉と同時に完成し、ここに亜鉛地金生産量月当り1,000tの体制ができた。その後は蒸留亜鉛の生産量ののびにしたがつて焼結能力の増強が図られるとともに、焼結技術ならびに電炉操業技術の向上等によつて現在でも2基操業で8,100tの地金生産量に見合った焼結塊を生産している。

この間に、焼結排ガス中の煙灰からカドミウムの回収が計画され、昭和35年12月に1号コットレル、38年4月に2号コットレルが完成し、回収煙灰はカドミウム工場の原料に供している。

焼結機は、直線式ドワイトロイド型で1基当りの有効吸引面積が18.6m²で焼鉱の処理能力は時間当り10tである。焼結原料は、焼鉱のほかに焼結繰返鉱、電炉からの繰返物、工場全体からの捕集ダストその他で、このほかに少量の粘結剤および補助燃料として粉コークスを添加する。これらの調割合合は、おおむね焼鉱35%、焼結繰返鉱52%、電炉繰返物5%、ダストその他6%で、この調合物に6~7%の水分を添加してパグミルで充分混和したのち焼結機へ装入する。焼結機グレード上にはあらかじめベッティング材を敷き、その上に約24cmの厚さに調合物が装入され、約1m/minの速度で進行し点火炉でCOガスの燃焼フレームで鉱層上部に点火され下向吸引によつて焼結される。焼結塊は焼結機先端のシングルロールクラッシャで砕かれ、さらにプレーキクラッシャ、ロールクラッシャ、振動ふるい等を設備した整粒工場で6~25mmに整粒され、整粒シンター(第3表)として電炉工場へ送られる。

第3表 産出シンターの主成分例

成 分	Zn	Fe	SiO ₂	Cu	Pb	Cd	Au	Ag
%	57.4	8.32	6.60	0.89	1.23	0.04	g/t 1.0	g/t 173

焼結原料調割合合は前で述べたとおりであるが、操業当初から数年間は焼鉱に対する焼結繰返鉱の割合は400%前後で、焼結歩留りが低く工程内の各所に不要な負荷をかけていた。しかし現在では種々の努力と技術の進歩によつて繰返比率を150%にまで低下している。

焼結排ガスは1基当り約55,000Nm³/hで排ガス中には約2,000ppmのSO₂と3~5g/Nm³のダストが含まれている。排ガスはダクトで調湿塔に導かれ水分約20%、ガス温65~70℃に調整されたのち、コットレルへ送られる。コットレルでダストが除かれた排ガスは石灰石を充填した2基の中和塔に導かれ、頂部から適量の散水をして逆流中和洗浄を行ない、排ガス中のSO₂はこの中和塔で20ppm以下に中和され大気へ放出される。

2.3 蒸留

当所が採用している製錬方式は、アメリカのセントジョセフレッド社が、1931年ジョセフタウン製錬所で亜鉛華の製造を目的に開発した抵抗電熱式連続亜鉛蒸留法である。

セントジョセフでは、その後1936年に電熱蒸留炉からの亜鉛蒸気を連続的に凝縮するいわゆるウィートン・ナジャリヤン真空コンデンサを開発して、直接金属亜鉛を製造することに成功した。セントジョセフ法の特徴は、電炉とコンデンサであつて、当所ではコンデンサについてのみ技術導入し、その他は当時、すでに発表されていた文献等を参考にして独自に設計したものである。

工場の建設は、昭和28年12月に開始され29年12月に1号電炉を完成操業を開始し、逐年その技術の改善と規模を拡充して、40年4月脱鉛炉、自動連続鑄造機の操業を開始、41年3月に8号炉を完成後現在にいたっている。

電炉は、大別するとプレヒーター、給鉛機、炉本体、排鉛機、コンデンサからなり、予熱機は内径860mmのロータリーキルン型で、ガスバーナとオイルバーナをそれぞれ1基ずつ備えている。給鉛機は炉本体の頂部にあって炉体のふたを形成し、装入物が炉内平断面で環状になるように装入する回転体である。

炉本体は全高約12m、内容積約42m³で炉頂から約1/3の高さの部分にベーパーリングと称する亜鉛蒸気を取り出すふくらみ部をもったシャフト型で、炉体上下部には305mmφの電極が挿入してあり、上下対角線状に電流回路を形成している。炉用変圧器は1極につき1台あり容量は540kVAで一次電圧3,300V、二次電圧160~320Vで誘導電圧調整器を備えている。排鉛機は円形テーブル型で電炉本体の直下で炉の底を形成し、回転しながら蒸留残さいを排出している。なお、排鉛機は可変速モータを備えていて変速可能となっている。コンデンサは、外部は波型厚鋼板で、カーボランダムレンガで内張りした断面が卵型をした長さ約4mのU字管型で、熔体亜鉛を冷却するクーリング・タッピング・ウエルと対になっていて2本の連結管で連結されている（第1図参照）。

電炉は、コークスを導体とした抵抗炉であるから装入物のシンターおよびコークスの混合比率およびそれぞれの粒度分布、装入量、電極の挿入長さ、電力量等が炉温および温度分布を左右し、炉の成績に大きく影響する。

通常、シンターおよびコークスの混合比率は、容積比で約1:1にしているが、シンター中の亜鉛含有率および炉内の電気抵抗等を考慮のうえ決定している。シンター

中の亜鉛含有率は、おおむね56~58%で、粒度は10~25mmが55~65%、-10mmが35~45%で、コークスの粒度は10~24mmが80~85%、-10mmが15~20%程度である。

装入量、電極長さは炉況に最も影響し、適正な炉内温度分布を維持するためこれらの要因を炉況に応じて調整している。

シンターとコークスは、炉頂ビンからコンスタントウェットフィーダで別々に切り出し、プレヒータで混合しながらCOガスまたは重油の自動制御方式で約800~850℃に予熱して給鉛機で電炉内へ装入する。装入物は、電炉上部および下部に挿入してある電極間に電気を通ずることによって加熱されるが、電炉が抵抗式電熱炉であることから、炉内の温度分布は電流分布と同様と考えてもよく、炉内温度は炉壁部で約900℃、中心部では1,400℃以上で、装入物を熔融しないことが電熱法の特徴ともいえる。なお、電炉は操業当初の1号電炉から4号電炉までは4極炉であったが、5,6号炉の増設を機会に全炉を6極炉に改造し、投入電力も4極炉時代には1,600~1,800kWであったものを6極炉への改造や、1極当りの電力を上げたことなどによって現在では、4,800kWとなっている。その結果、第4表に示したように1炉1日当りの生産量は13t程度から逐次上昇して現在では38tに達している。

第4表 年度別の電炉1基1日当り生産量の推移

年 度	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
生産量(t)	10.8	13.2	13.1	14.3	15.4	17.9	20.6	25.4	25.5	27.7	27.9	29.4	38.0

炉内で発生した亜鉛蒸気と一酸化炭素は、ベーパーリングに集まり真空ポンプの吸引によってコンデンサへ導かれ、ここで亜鉛蒸気が凝縮して熔体亜鉛となる。コンデンサおよびタッピングウエルには常時約35tの熔体亜鉛が入っており、炉から出た亜鉛蒸気が凝縮してこの熔体亜鉛の量が増加するにしたがって吸引真空度が上昇するので、限界圧力になるごとに熔体亜鉛をタッピングウエルから抜き出している。コンデンサ内の湯温は、約500℃に保たれるが、この温度保持はコンデンサ外壁からの熱放散とタッピングウエル内の水冷管によって調節している。タッピングウエルから抜き出した熔体亜鉛は、脱鉛炉で脱鉛、脱鉄したのち自動連続鑄造機で1枚25kgの型亜鉛に鑄造され製品（第5表）となる。

製品は、蒸留亜鉛地金1種で昭和35年5月にJIS表示許可を受けている。

第5表 蒸留亜鉛成分分析例

成 分	Zn	Pb	Fe	Cd
%	98.9	1.05	0.01	0.05

第1図 電熱蒸留系統図

一方、COガスはわずかな未凝縮亜鉛とともにコンデンサに連結してあるウォッシュおよびエダクターをとおりながら洗浄、冷却され、真空ポンプの排気となり、これをさらに圧縮機で昇圧して使用箇所へ圧送している。

洗浄水中に捕収した未凝縮亜鉛は、シクナで亜鉛末として回収し、焼結工程へ繰り返している。

蒸留残さいは、炉底の排鉱機から排出されるが、この排さい中には亜鉛がほとんど揮発したもの、揮発不十分なもの、炉鉄、コークス等が含まれ、これらをふるい分け、磁選、空気選別等で焼結工程への繰り返し物、繰り返しコークス、炉鉄、廃棄さい(第6表)とに分離する。炉鉄中には金、銀、銅のほとんどが濃縮し、銅量にして月当たり約100tで、これは社内の日立および佐賀関製錬所に送り銅原料の一部としている。

第6表 炉鉄および廃棄さいの主成分例

	Zn	Cu	Fe	C	Au	Ag
	%	%	%	%	g/t	g/t
炉鉄	2.0	7.0	56.8	2.5	7.7	1,306
廃棄さい	9.9	0.5	10.5	6.5	0.7	183

以上蒸留部門の概略について述べたが、創業以来の主要成績を示せば第7表のとおりである。

第7表 蒸留部門の年度別主要成績の推移

年度別	生産量(t)	炉電力原単位(kWh/t)	粒コークス原単位(kg/t)	採取率(%)
30	6,154	3,284	731	81.8
31	9,760	3,022	676	84.6
32	12,070	2,817	581	87.9
33	12,996	2,584	569	91.1
34	17,221	2,692	497	92.7
35	21,263	2,718	495	93.0
36	29,115	2,809	526	91.1
37	29,840	2,609	480	92.6
38	45,970	2,621	495	92.2
39	54,542	2,781	490	93.7
40	61,209	2,805	490	95.1
41	74,068	2,767	440	96.3

3. 精留・合金部門

当所の最純亜鉛生産計画は、4号電炉が完成して常時3炉操業となった昭和34年の後半から始められ、当時定評があつたニュージャージー・ジンク社と、開発されて

まもなかつたアメリカン・メタル・クライマックス社の精留方式について検討がなされたが、現地調査の結果、ニュージャージー法を採用することに決定し、35年9月にノウハウ購入契約を締結した。翌36年7月には、精留技術の習得のため当所から3名の技術者が派遣された。

建設は37年3月に始められ、38年3月に鉛塔2基とカドミ塔1基からなる精留工場が完成し、直ちに操業に入った。スタートに当つてはニュージャージーから2名の技術者を招いて指導を受け、順調にスタートした。以来、逐次設備を増強して現在では3,600tの生産能力をもつにいたつた。

製品はJIS規格の最純亜鉛に相当し、昭和38年11月にJIS表示許可を受けている。

ニュージャージーの立型亜鉛精留方式(第2図)は、原料亜鉛中に含まれている各金属間の沸点の差を利用して不純金属を除去精製する方法で、当所の場合原料は電炉工場で生産される蒸留亜鉛である。

原料は熔体のまま電炉工場からレードルで運ばれ、サプライポットに装入される。

鉛塔は、カーボランダム製のトレイで組み立てられ、下部の約半分は燃焼室の内部にあり、燃焼室では電炉工場で発生するCOガスを燃焼して約1,200°Cに保たれる。サプライポットから供給される原料亜鉛は、鉛塔トレイのほぼ中央部から連続的に装入され、燃焼室内のトレイで大部分の亜鉛はカドミウムとともに蒸気となり、一部は、未蒸発のまま塔内を流下する。鉛と鉄は、この中に濃縮され脱鉛炉で除かれたのちサプライポットに繰り返される。鉛塔で発生した亜鉛蒸気は、塔の横にあるコンデンサで凝縮され熔体でカドミ塔に流入する。

カドミ塔は、鉛塔とほぼ同じ装置で塔の頂部にコンデンサがあり、その横にキャニスタが設けられている。カドミ塔では鉛塔と全く同様に、沸点の低いカドミウムを揮発してキャニスタで捕収し、カドミウムよりも沸点の高い亜鉛は塔内を流下して製品ポットに入り、自動連続铸造機で1枚25kgの型亜鉛に鑄造され製品となる。

第2図
精留系統図

以上のような工程で最純亜鉛が生産されるが、精留装置の能力は鉛塔2基、カドミウム1基で、月当り1,360t、その純度は99.997~99.998%で非常に安定した品質の最純亜鉛が生産される。

最純亜鉛の生産によつて需要が拡大し、当所においてもダイカスト用亜鉛合金塊の製造が計画され、38年6月に小規模ながら月当り50tの試験生産が開始された。続いて8月に本工場の建設に着手して11月に完成し、月当り200tの操業を開始した。また、合金工場の建設と併行してメッキ用亜鉛陽極の製造設備も進められ、38年6月に完成して生産を開始した。

メッキ用アノードとしては、最純亜鉛を原料とした「最純アノード」と、特殊配合の「クロベアノード」その他で、クロベアノードは、メッキ槽内の亜鉛濃度またはM比を一定に維持することができその調節も容易である。また、青化ソーダの補給がほとんど不要で液をくみ出す必要もなく、槽内における自然溶解の心配がない等の特色をもつたものである。

現在は、低周波誘導炉3基と電熱炉3基でダイカスト用合金塊約900tと陽極類を約100t生産している。なおダイカスト用亜鉛合金塊については1種、2種とも昭和39年7月にJIS表示許可を受けている。

4. カドミウム部門

当所は、まったくの最小規模から出発したため、カド

ミウムの回収設備をもたずに数年間を過したが、その間に回収に関する試験研究を続け、技術的に一応の確信を得たので、遺利の回収および公害対策の一環として昭和35年4月にカドミウム工場の建設に入り、36年3月に完成するとともに操業を開始した。生産能力は月当り6tで出発し、製錬方式は当所独自の減圧蒸留法で当社の特許となっている。

工程は大別してばい焼工程、浸出・浄液・置換工程、蒸留工程（第3図）とからなり、次にその概略について述べる。

焼結工程のコットレルで捕集したカドミウム含有率約10%のダストに、硫酸を添加して回転式電熱ばい焼炉でばい焼し、カドミウムを選択的に硫酸カドミウムとしたのち温水で浸出・浄液を行ない、液中のカドミウムを亜鉛板で置換してスポンジカドミウムとする。次にこのスポンジカドミウムを加圧成型して熔解し、粗メタルとする。粗メタルは減圧蒸留炉で蒸留され、微量の不純物を除去したのち、ふたたび熔解して1本1kgのペンシルカドミウムに鑄造する。

製品は極めて純度が高く、99.998%以上でJIS規格のカドミウム地金1種を大幅に上回っている。なお、カドミウムについても昭和38年2月に1種のJIS表示許可を受けている。

その後の蒸留亜鉛生産量の拡大にともなつて、カドミウム工場も増強され、現在では約20tのカドミウムを生産している。

5. 結 言

以上三日市製錬所における創業以来最近にいたるまでの操業の概要について述べた。同業他社に比べて創業の日の浅い当所の今日の発展は、戦後の鉄鋼業界の驚異的な進歩に支えられるという幸運があつたとはいえ、亜鉛製錬所として当所の設立を計画した首脳部が、当時の米國亜鉛市場の動向から、わが國将来の亜鉛鉄板の伸びを見越して、在来の製錬方式に比べて採取率および生産性が高く、建設費が安い抵抗電熱式連続亜鉛蒸留法を採用した卓見と、北陸特有の粘り強さと、勤労意欲旺盛で協調性に富む優秀な従業員に恵まれたこと、また、操業の早期安定化と固有技術の向上ならびに新製品開発のために各種管理技術が早期かつ積極的に活用されたことなどが主因と考える。その結果、操業もおおむね軌道に乗つた昭和32年当時に比べて、当所1人当りの生産量は約3倍、1炉当りの生産量についても2倍に達し、コスト面についても主要製品である蒸留亜鉛に例をとると逐年電力費、人件費、物品費などの大幅な値上りがあつたにもかかわらず生産原価は約70%に低下している。

また、現在当所の製品はJIS規格に対して5シグマ以

第3図 カドミウム製錬系統図

上の余裕をもち、バラツキの少ないきわめて安定した製品を生産している。

一方、安全成績については創業初期はきわめて悪く、度数率13.8、強度率0.14であつたが、毎年休まない設備の増強にもかかわらず逐年向上し、昭和41年度では度数率2.91、強度率0.025を示し、これらのいずれをみても一応所期の目的を達していると考えている。

しかしながら亜鉛業界の前途は、42年度からの完全自

由化によつて世界的な生産過剰による激烈な企業競争が予想され、これに対処するための今後の課題は、固有技術の向上はもちろん設備の大型化と自動制御化ならびに新技術の開発に一段の努力を傾注し、少数精鋭による利潤の追究を図りたい。

おわりにのぞみ当所発展途上において、種々ご指導をいただいた学界の各位と、関係諸先輩のご苦勞に対し本稿を借りて深謝申し上げる。

住鋳アイ・エス・ピー播磨工場における亜鉛・鉛製錬

Zinc and Lead Smelting at Harima Work of Sumikō I.S.P. Co., Ltd.

正 会 員 富 沢 宣 成*

Senjō TOMIZAWA

1. 緒 言

住鋳アイ・エス・ピー株式会社は住友金属鋳山株式会社、住友商事株式会社および製鉄化学工業株式会社の共同出資により資本金4億円（昭和42年9月現在10億円）で昭和39年7月10日に設立された会社で、I.S.P.法による亜鉛・鉛の同時製錬ならびにこれに付帯する事業を行なうことを目的としている。出資比率は住友金属鋳山株式会社55%、住友商事株式会社35%、製鉄化学工業株式会社10%である。

製錬所は兵庫県加古郡播磨町宮西の製鉄化学工業株式会社別府製造所内の一隅（敷地約26,500m²）に所在し、別府港の西の一角に位置する。製錬所の建設は昭和39年11月から着手され昭和41年4月精留工場の一部を残し完成、翌5月熔鋳炉に火入が行なわれた。以来順調に操業が続けられ現在にいたつている。この設備による生産能力は月産亜鉛3,500t、電気鉛1,500tである。建設費は

建物、機械装置、動力、輸送、用水、廃水、公害防止設備、社宅等で約30億円に達した。製錬所社員は工場長以下約260名で基幹要員は住友金属鋳山株式会社より派遣されている。

2. 操業開始にいたるまでの経緯

住友金属鋳山株式会社は昭和12年頃よりすでに亜鉛製錬に注目し、昭和14年～16年頃には湿式法による製錬の基礎ならびに中間規模試験等を行なつた時期もあつたが国内における原料鋳石の充分な確保にいたらず、また第2次世界大戦への突入のため一旦中止した。戦後においてももちろん基礎研究を怠らず、工業化への機会をいくどか考慮し、慎重な検討を行なつてきた。たまたま昭和33年にS.W.K. Morganの論文“The Production of Zinc in a Blast Furnace” (Bulletin of the Institute Mining and Metallurgy 1957)に接して当時まだAvonmouthにおける中間工業の段階にあつたI.S.P.法、す

写真1

住鋳アイ・エス・
ピー播磨工場全景

* 住鋳アイ・エス・ピー株式会社常務取締役