玉野製錬所における銅製錬*(日比共同製錬株)

佐々木 健次¹

Copper Smelting Operation at Tamano Smelter

by Kenji SASAKI¹

Tamano Smelter of Hibi Kyodo Smelting Co., Ltd. started its operation in January 1972, employing FSFE (Flash Smelting Furnace with Furnace Electrodes) for smelting and PRC (Periodic Reverse Current) for refining.

Its original production capacities were 101,000 tonnes per year of anode copper and 84,000 tonnes per year of electrolytic copper.

Tamano Smelter has steadily increased production capacity, improved productivity and reduced production cost. The production capacities of anode copper and electrolytic copper have been increased to 226,300 and 161,000 tonnes per year, respectively.

This paper describes the production capacity expansions, energy saving and the other technical improvements and developments for the last 10 years.

[1. Tamano Smelter, Hibi Kyodo Smelting Co., Ltd.]

1. 緒 言

日比共同製錬(株)は、昭和43年11月1日、三井金属鉱業(株)と日鉄鉱業(株)の共同出資により設立され、その後、昭和46年10月1日に古河鉱業(株)(現 古河機械金属(株))が参加し、昭和47年1月22日に玉野製錬所の操業を開始した。

操業開始当初の生産能力は、電気銅84,000 t/年、粗銅101,000 t/年、硫酸285,000 t/年であったものが、現在、電気銅161,000 t/年、粗銅226,300 t/年、硫酸510,000 t/年の生産能力にまで至った。

玉野製錬所は、高生産性・経済性を追求するとともに、無公害製錬所を目指し、溶錬炉として自電炉(FSFE)を、また電錬工程に周期的反転電流による高電流密度電解法を採用し操業を開始した。

操業開始以来すでに20年を経過しているが、初めの10年間は新設備の安定した操業の確立と第1次・第2次オイルショックを初めとした不況の波を乗り越えるためのコストミニマイズを推進した時期であり、苦労も多々あったが、結果としては目標どおりの操業を進めることができた。

その後の10年間は、ますます進む円高基調による銅価格の低迷に対して、企業としての存続はいうまでもなく、国際競争力をつけるために

- (1) 生産能力のアップ
- (2) 生産コストの低減
- (3) 新たな技術開発

を追求してきた時期といえる。

現在では、上述のように操業開始当初の約2倍の生産能力を有

図1 玉野製錬所全景

しており、併せて、コストダウンも進んでいる。

本文では、最近10年間に進めてきた増産起業・省エネ・省力化技術開発を中心として当所の歩みを記述する。

2. 溶錬操業概要

2・1 操業フローシートおよび溶錬主要設備仕様

玉野製錬所の操業フローシートを図2に、溶錬工場の主要設備を表1に示す。

2・2 生産量の推移

昭和55年以降の粗銅、硫酸の生産量を図3に、また、自電炉、鉄精鉱、石膏の生産量を表2に示す。

この間、溶錬工場においては、昭和56年(第1期酸素富化)、昭和59年(第2期酸素富化)、平成3年(第3期酸素富化)の3度に亘り、自電炉、転炉での酸素富化操業を中心に増産体制を築いてきており、現在では、操業開始当初の2倍以上の生産能力を

* 1993年4月5日受付 6月4日受理

1. 正会員 日比共同製錬(株)玉野製錬所所長

キーワード: 自電炉, 高電流密度電解法, 酸素富化操業

図2 操業フローシート

表1 溶錬工場の主要設備

設備名称	設備仕様
(1) 荷役, 貯鉱, 調合 ベース 貯鉱舎 調合鉱舎	50,000 t 36,000 t (第1貯鉱舎) 40,000 t (第2貯鉱舎) 4,500 t × 2 Bed
(2) 気流乾燥 排風機	900kW, 144,000Nm ³ /h
(3) 自電炉 シャフト セットラ アップテーク	6mφ×8mH 19.75mL×7mW 2.5mφ×9.6mH
(4) 転炉 転炉 自動冷材装入設備	PS 200t×3基 アノードスクラップ装入設備 新自動装入設備
(5) 精製炉 精製炉 鋳銅機	500t×2基 特殊2連鋳銅 68t/h
(6) 発電 発電蒸気量 発電量	45t/h 8,500 kWh
(7) 酸素製造設備	深冷式 5,200Nm ³ /h (95% O ₂) PSA1 1,500Nm ³ /h (100% O ₂) PSA2 4,000Nm ³ /h (100% O ₂)
(8) 硫酸・排煙脱硫 硫酸工場 硫酸生産量 メインブロウ 熱回収設備 排煙脱硫 石膏生産量 メインファン	三井-モンサント方式ダブルコンタクト 1,550t/日(98% acid) 156,000Nm ³ /h×4,700mmAq Max 3,800 Mcal/h 石灰-石膏法 35t/日(10% moisture) 320,000Nm ³ /h×900mmAq

図3 粗銅, 硫酸の生産量推移

表2 自電炉鋳, 鉄精鉱, 石膏の生産量推移

年度別	自電炉鋳(t)	鉄精鉱(t)	石膏(t)
昭和55年	130,129	60,723	4,037
56年	165,732	63,774	3,727
57年	202,248	56,520	4,132
58年	184,641	54,298	5,206
59年	165,842	50,649	5,879
60年	202,332	57,124	10,102
61年	232,766	58,743	9,113
62年	222,059	62,434	10,707
63年	214,383	58,149	16,469
平成1年	235,370	55,013	7,922
2年	278,195	61,515	9,518
3年	232,730	66,911	11,013

有するに至っている。

2・3 増産起業

前述のように溶錬工場では3度の増産起業を実施しており、その概略を以下に述べる。

(1) 第1期酸素富化操業（昭和56年） 当時、玉野製錬所の隣接地にあった三井金属鉱業（株）日比製錬所では溶鉱炉で粗銅を生産し、広島県の三井金属鉱業（株）竹原製錬所に送っていたが、溶鉱炉法の環境面、コスト面での競争力低下から生産縮小を余儀なくされ、2炉の溶鉱炉のうち1炉を停止させることになった。このため、玉野製錬所では日比製錬所の縮小分をカバーするとともに、全体の生産能力を上げるため、第1期酸素富化操業（鉱品位58%）を実施した。

〔主要増強設備〕

a. 酸素製造設備¹⁾：自電炉、転炉での酸素富化操業を行うため、酸素製造設備を新設した。

深冷式酸素製造設備（4,000Nm³/h as 95% O₂）

圧送設備（690Nm³/h × 5.7kg/cm²G）

貯蔵設備（900m³ × 9kg/cm²G）

b. 転炉増強：両サイドへ620mm延長し、1サイクルの鉍処理量を150tから180tに増強した。

c. 鋳銅機の改造：玉野製錬所電解用に加え、三井金属鉱業（株）竹原製錬所用のアノードを鋳銅するため、大型（玉野用）および小型（竹原用）の2種類の異なったアノードを同時にしかも、効率よく鋳込みできる特殊2連鋳銅機に改造した。

d. 硫酸クーラ増強：1ATクーラを2系列増設し、冷却能力を強化するとともに、製品酸クーラの通酸能力も増強した。

(2) 第2期酸素富化操業（昭和59年） 第1期酸素富化操業によって蓄積されたノウハウを基に、現有設備の最大能力達成のために自電炉での酸素富化率をさらに上げ、鉱品位を60%まで高めることを中心にして、生産量アップを実現した。

〔主要増強設備〕

a. 調査鉱舎拡張：増産にあたって調査鉱舎を13.5m拡張し、調査能力を3,000t/Bedから4,500t/Bedに増強し、ベルトコンベヤの能力も増強した。

b. 気流乾燥熱風炉バーナ増強：熱風炉バーナの容量を350l/hから600l/hに増強した。

c. アノードスクラップ装入設備新設²⁾：電錬工程から返ってくるアノードスクラップを転炉送風中に連続自動装入するアノードスクラップ自動装入設備を設置した。

d. 深冷式酸素製造設備増強：原料空気圧縮機の増強により酸素製造量を4,000Nm³/hから5,200Nm³/hに上げた。

e. 硫酸転化器触媒量変更：硫酸工場へのSO₂量が増加するため、これに対して転化率を維持する目的で、触媒量を増量し、さらに3層触媒は圧損対策としてリブ触媒⁷⁾に変更した。

f. 硫酸ブローア増強：触媒量増加等により全体の圧力損失が大きくなり、風量の減少を防ぐため、ブローアを3,600kWと増強した。

g. 硫酸SO₃クーラ設置：転化率の低下を防ぎ、硫酸工場の熱バランスを取るため、1AT入口の温度を下げる必要があり、SO₃クーラを新設した。

h. 発電機出力増強：操業度アップとアップテークのボイラ化等（後述）により、蒸気量が増加したため、発電機出力を7,400kWから8,500kWへ増強する工事（後述）を実施した。

なお、昭和62年には鉱石のS/Cu比が上昇したことに対する対策として、PSA式酸素製造設備（1,500Nm³/h as 100% O₂）を新設し、鉱石のS/Cu比が上昇しても第2期酸素富化操業の生産量を維持できるように増強した。

(3) 第3期酸素富化操業（平成3年） さらなる生産性のアップおよびコストダウンをはかるため、自電炉送風酸素富化空気中の酸素濃度を約40%までアップし、鉱品位を60%のまま維持し、鉱石処理量を増加させるとともに、転炉以降の設備増強も行い、増産を実現した。

〔主要増強設備〕

a. 気流乾燥排風機増強：鉱石処理量増加に伴い、能力増強を実施した。電動機はインバータ制御を採用し、電力ロスを抑えた。

500kW, 107,000Nm³/h → 900kW, 144,000Nm³/h

b. 新自動冷材装入設備設置³⁾：アノードスクラップ以外の転炉冷材装入に無人フォークリフト、リフタ、搬送コンベヤ等を設置し、転炉送風中に連続自動装入できるようにした。

c. 転炉増強：転炉の1サイクル鉍処理量を180tから200tに増強した。

d. 精製炉延長：精製炉を1.19m延長し、1サイクル当たり銅湯量500tまで処理できるように増強した。

e. 排脱メインファン増強：気流乾燥排風機増強に伴い、能力増強を実施した。

1,400kW, 280,000Nm³/h → 1,600kW, 320,000Nm³/h

2・4 省エネルギー対策・技術開発

玉野製錬所では、増産体制の確立と並行して、コスト低減策・技術開発も進めており、主なものについて以下に述べる。

(1) アップテーク上部のボイラ化⁴⁾⁵⁾（昭和58年） 玉野製錬所では建設当初、炸の付着の問題を考慮し、水冷ジャケット方式を採用した。その後、酸素富化操業による風量減から蒸気量が減少したため、アップテークでの熱回収を検討し、昭和54年から1年間、一部の水冷ジャケットをボイラチューブにかえ、耐久試験を実施した。その結果、懸念されたボイラチューブへのダスト付着およびボイラチューブの材質変化は見られなかったため、昭和57年にアップテーク上部をボイラ化し、熱回収をはかった。

(2) CO濃度コントロール・燃料代替⁴⁾⁶⁾（昭和58年） オイルショック以降、重油価格の高騰から安価な燃料への移行が進められ、種々の炭材を使用して、試験操業を繰り返す、最適炭材を検討した。その結果、シャフトからコークスを装入することにより重油をほとんど使用せずに操業できるようになった。

また、シャフト燃料をコークスに切り替えたことにより、炉況が以前と異なる様相を呈し、その要因を調査したところセトラ上の未燃炭素が影響していることが分かった。炉内のCO濃度と炉況との関係を解析した結果、炉内を還元雰囲気すれば排出スラグ中の銅品位が低下すること、セトラ内の温度保持にも有効であることが分かり、CO濃度を自電炉操業の重要なコントロールポイントの一つとして取り上げて操業を行った。これに伴い、セトラの保温用重油バーナおよび電極を使用せずに操業できるようになった。

(3) 自動冷材装入設備（昭和59年²⁾、平成3年³⁾） 転炉の自動冷材装入設備は転炉の休風時間を短縮し、実質の吹錬時間の延長をはかることを目的として実施された。

昭和59年に電錬工程より返ってくるアノードスクラップを製銅期に連続自動装入するアノードスクラップ自動装入設備を設置した。また、平成3年にはアノードスクラップ以外の冷材を対象にした新自動冷材装入設備を設置した。その結果、作業環境の改善とともに、転炉1サイクルの時間が短縮され、転炉炉内の急激な温度変化がなくなったことで炉況の改善と転炉ライフの延長がはかられた。

(4) 発電機出力アップ（昭和59年） 溶錬工場では自電炉、転炉および重油専焼の補助ボイラで発生する蒸気を利用し、所内

で消費する電力のうち40%を自家発電しているが、昭和59年には発電のタービン高圧ノズル、復水器、復水ポンプを更新し、7,400 kWから8,500 kWに増強し、さらに省エネをはかった。

(5) **硫酸転化器触媒変更**(昭和59年,平成2・3年) 増産に対してSO₂の転化率維持のため触媒量を増加していったが、併せて電力削減を進める必要があるため、昭和59年に3層触媒をリブ触媒⁷⁾に、また、平成2年に4層、平成3年に1・2層触媒をリング型の低圧損のものにした⁸⁾。その結果、硫酸生産量のアップと電力削減を達成できた。

(6) **アップテーク下部の給水予熱**⁴⁾(昭和61年) 昭和58年にアップテーク上部のボイラ化を実施したが、下部については投資利益の面で採算が取れないことから、同様の処置を断念し、ボイラ循環水の給水予熱に利用することで、熱回収をはかることとした。

(7) **熱回収設備の設置**⁹⁾(昭和61年) 一連の増産体制の中で、溶錬工程から発生するSO₂ガス量が増加してきたため転化器、熱交換器等の設備にかかる負荷が増大し、熱バランス上、熱が余る状態になってきた。そこで転化器1層出口に自電炉送風用空気を加熱する熱回収設備を設置して硫酸工場の熱バランスを維持すると同時に、熱回収を行った。

2.5 省力化

前述のような増産起業を実施してきたが、それと同時に工程の省力化にも力を注いできた。図4に作業員一人当たりの粗銅生産量の推移を示す。

2.6 その他

(1) **プロセスコンピュータの導入** 溶錬部門では生産工程を管理するために昭和57年に主として自電炉・硫酸工程を管理するプロセスコンピュータを導入¹⁰⁾し、さらに、昭和61年に精製炉工程、昭和63年には転炉工程を管理するプロセスコンピュータを引き続き導入した。これらのプロセスコンピュータは工程管理および制御を行っており、溶錬部門の安定した操業を可能にしている。

(2) **環境対策** 昭和50年より環境対策強化のために排煙脱硫設備を建設し、気流乾燥排ガス、転炉の局所吸引ガス、自電炉局所吸引ガスおよび精製炉局所吸引ガスを石灰-石膏法によって脱硫処理している。さらに、昭和58年には硫酸工場からの排ガスも排煙脱硫設備で処理し、環境対策を強化した。

また、転炉、精製炉ではガス回収率の高いフードを設置し、洩れガスを防止している。さらにそれらの回収ガスの増加に伴ない各所のブロワーを増強し、ガス回収を行って、環境対策に努めている¹¹⁾。

2.7 操業成績と生産コスト

平成3年度の操業成績例を表3に、生産コストの推移を図5に示す。

図4 作業員一人当たりの粗銅生産量推移

表3 操業成績

平成3年実績	
(生産量)	
粗銅	216,700 t/年
硫酸	518,675 t/年
(自電炉)	
鉱石装入量	80.1 t/h
精鉱Cu品位	27.1 %
精鉱S/Cu	1.02
鉍品位	59.9 %
酸素使用量	8,860 Nm ³ /h
(転炉)	
操業回数	4.4 c/日
送風時間	1,200 min/日
鉍処理量	842 t/d
酸素使用量	786 Nm ³ /日
(精製炉)	
操業回数	1.5 c/日

図5 生産コストの推移

3. 電錬操業概要

3.1 銅電解

玉野製錬所の電錬は、新技術である周期的反転電流(PRC)による高電流密度電解工場として昭和47年に操業を開始した。操業は当初より順調に軌道に乗り、生産量も徐々に増加していった。昭和54年には操業も安定期に入り、陰極電流密度350 A/m²操業を行い、設計能力7,000 t/月を大幅に上回る電気銅生産量8,500 t/月が達成された。

昭和60年には、増産期に入っていき第2期酸素富化による粗銅の増産と並行して、より近代的な第2電解工場を増設し、電気銅の生産能力は11,400 t/月となった。

さらに、平成3年には第3期酸素富化による粗銅の増産に対して、この第2電解工場に電槽76槽を増設し、合計188槽とし、生産量13,400 t/月を達成した。電解工場のフローシートを図6に、電解工場の生産量と主要原単位を図7に、操業成績を表4に示す。

玉野電錬では、高電流密度電解による厳しい電解条件の下で、増産とともに製品電気銅の品質アップとコスト削減を達成するため、以下のような改善改良を行ってきた。

(1) **Wet Contact System** 当社開発のカップスは電流密度増大による単槽電圧上昇と偏流増大を防止し、電気銅品質の安定化をはかるとともに電力消費量を低減してきたが、さらに増産とともに補加水に純水を用いることで、接点における結晶化を防ぎ、接触抵抗をより低くするという改善を行った。

(2) **電槽表層液の抜液** 浄液電解給液に、電解液表面からの抜液を使用するという改善を行い、不純物処理能力を20%アップ

図6 電 錬 フ ロ ー シ ー ト

表4 電解操業成績（月間，フル操業ベース）

項 目	単位	第 一	第 二
操 業 日 数	日	30	30
電 気 銅 生 産 量	t/月	8,500	4,900
材 質		PC, 塩ビライニング	PC, KSライニング
電 槽 寸 法	mm	1,200×4,800×1,250	1,230×5,550×1,340
電 槽 数	槽	351	188
陽 極 寸 法	mm	990×1,030×40	990×1,030×40
陽 極 重 量	kg	362	362
在 槽 日 数	日	47	54
ス ク ラ ッ プ 率	%	18	18
ス ラ イ ム 生 成 率	%	15.6	15.6
陰 極 寸 法	mm	1,022×1,022×0.6	1,022×1,022×0.6
在 槽 日 数	日	9	9
電 気 銅 単 重	kg	155	155
温 度	℃	65	65
電 解 液 循 環 量	l/min	34	42
添 加 剤	g/t	160	160
チ オ 尿 素	g/t	90	90
塩 酸	cc/t	65	65
組 成	g/l	47	47
f-H ₂ SO ₄	g/l	194	194
通 電 電 流	A	30,800	34,400
陰 極 電 流 密 度	A/m ²	320	311
単 槽 電 圧	V	0.32	0.31
極 間 距 離	mm	100	100
電 流 効 率	%	95.4	99.2
整 流 器	V×A	2way-サイリスタ 170×35,000	2way-サイリスタ 110×39,000

図7 電錬の生産量と主要原単位

させた。

(3) 自動化 カソード仕上機・アノードプレス・製品整理機・スクラップ洗浄装置等は自動化されていたが、増産に伴い、さらに改善を進めた。中でも、カソードプレスではプレスパターン変更によりカソード垂直性を改善し、製品の品質の向上および安定化をはかった。

(4) 省エネルギー¹²⁾ 槽上シートカバーとして三つ折りシートの開発により、電槽を完全に覆うことができるようになり、蒸気原単位を低下させた。

(5) 短絡検出器 自動短絡検出器を自家開発し、検槽作業の省力化を行った。第2電解工場では、1台の検出器で工場全体を検出できる短絡検出器を開発し、設備の合理化をはかった。

(6) コンピュータの効果的利用 データロガの導入により、液バランスや、単槽電圧、液温等の電解条件の経時変化をリアルタイムで観察できるようになり、ショート検出の改善にもなった。

3・2 種板電解

操業当初より高電流密度電解を進めていくために、種板には品質の均一性が厳しく要求されてきた。このため、整流器、電解液、循環回路を別系列とし、一般電解と区別してきた。このうえ増産に対応するために、種板剥ぎ取り工程を完全自動化¹³⁾し、省力化、量産化をはかった。

3・3 副産品工場

副産品工場は、脱銅・浄液電解槽、液中燃焼設備、スライム処

理設備を集約し、処理している。浄液電解ではアルシンガスが発生するので、活性炭吸着法を開発した。

ニッケルは、液中燃焼設備で粗硫酸ニッケルとして回収し、三井金属鉱業(株)竹原製錬所に送り、精製している。アノードスライムはエアレーションでスライム中の銅を1%以下まで溶出させた後、脱銅スライムとして竹原製錬所に送っている。

電気銅の増産に際し、脱銅槽を10槽増設し処理能力を増強した。また、浄液電解においてはカソードに付着する不純物の洗浄除去装置を設置し、浄液電解作業の効率化・省力化をはかっている。これに加え、イオン交換樹脂を使用したアンチモン、ビスマスの処理設備(Tamano Chelating Resin Process)の開発により、不純物処理能力の強化をはかった。

4. 今後の課題

以上、略述したように操業以来、種々の改善を実施し、より低い生産コストで安定操業を続けているが、銅製錬を取り巻く環境は非常に厳しいものがあり、今後の存続発展のためには、更なる生産性アップとコスト削減が必要不可欠である。

したがって、生産性向上のための技術開発および省力化のための機械化、自動化に積極的に取り組んで行く所存である。

参考文献

- 1) S.Okada, M. Hashiuchi, M. Uekawa: The Fourth International Flash Smelting Congress, p.299-314, (1981)
- 2) 小田良剛・森 誠治・老田正道: 日本鉱業会誌, Vol.103, p. 279-280, (1987)
- 3) 幸山佳弘・青井英一: 第40回全国鉱山・製錬所現場担当者会議工務講演集, p.51-55, (1992)
- 4) 柴田隆顕: 資源と素材, Vol.106, p.441-449, (1990)
- 5) 丸山恒夫・上川 満: 非鉄製錬技術と省エネルギー, p.246-252 (1985)
- 6) 柴田隆顕・丸山恒夫・上川 満・老田正道: 非鉄製錬技術と省エネルギー, p.151-158, (1985)
- 7) 阿部幸紀・老田正道・高橋春男: 硫酸と工業, Vol.43, [No.1], p.1-5, (1990)
- 8) 阿部幸紀・米川 寿・加藤政志: 資源と素材, Vol.108, p.318-321, (1990)
- 9) 阿部幸紀・老田正道・斉藤武男: 資源と素材, Vol.105, p.401-403, (1989)
- 10) Okada, S., Arakawa, Y., Uekawa, M. and Babasaki, Y.: AIME 1984
- 11) K.Sasaki: Extractive Metallurgy of Copper, Nickel and Cobalt Vol. II, p.1377-1385, (1993)
- 12) 加藤俊幸: 日本鉱業会誌, Vol.102, p.263-265, (1986)
- 13) 島村宏之: 資源と素材, Vol.106, p.307-309, (1990)