小名浜製錬所における銅製錬* (小名浜製錬株)

大 島 英 紀¹

Copper Smelting and Refining at Onahama Smelter

by Eiki OSHIMA

The only one copper smelting by green charged reverberatory furnaces in Japan has been operated since 1965 at Onahama Smelter. The severe conditions such as environmental regulation, oil crises and decreased production had been overcome each occasion.

Major improvements which were achieved in the past decade, were use of alternative fuel at reverberatory furnaces, copper concentrate injection at converters, manpower saving and energy saving at each process, etc.

And about 600,000 t of copper concentrate were smelted and 225,000 t of electrolytic copper were refined in the recent operation at 1992.

1. 緒 言

当所は、昭和48年に設立された共同受託製錬所であり、本年12月をもって創立30周年を迎える。設立の経緯、スタートアップ以降の操業については、既報¹⁾²⁾にて発表されているので、本報では、それ以降、すなわち昭和56年以降の操業の推移について述べたい。

最初に、当製錬所における主な技術的特徴を列挙すると、以下の通りになる。

1. グリーンチャージ反射炉法による銅製錬

(1) 低品位であるため、転炉での反応熱が多く、冷材処理能力が高い。

(2) 燃料消費量が多く、代替燃料の利用による燃料コストの削減と、積極的蒸気回収と自家発電を中心とした有効利用により、エネルギーコストの低減がはかられている。

2. 転炉鍍は反射炉へ返鍍、鍍はすべて反射炉より排出される。

3. アノード鑄造は、従来の回転鑄造方式の他に、ヘズレット連続鑄造方式が採用されている。

4. 低SO₂濃度の反射炉ガスは、大規模石膏プラントで、また、高SO₂濃度の転炉ガスは、硫酸工場で処理されている。

5. 電解では、従来方式の他に薄型アノードを用い、ハンドリングを大幅に自動化した。独自のジャンボタンク方式が採用されている。

図1に最近のフローシートを、また、表1に平成4年度の平均鉱石処理量と生産量を示す。鉱石処理は、年間約600,000t、電気銅生産量は、約225,000tとなっている。

鉱石処理量のこの10年間の推移を、図2に示す。昭和59年から昭和61年にかけて減産が続いたが、昭和62年以降その量を増し、最近ではほぼフル操業が続いている。この中で、昭和58年よりテストを開始した転炉への鉱石吹込は、徐々にその量を増し、酸素ブ

ラントの稼働した平成3年以降、急激に増加している。

2. 溶 錬 工 場

表2に主要設備仕様を、表3に最近の操業例を示す。

2・1 調合

昭和56年以後、大きな設備変更はないが、平成4年1月には、鉱石乾燥に用いるロータリードライヤの熱効率改善を実施し、それ以後、運転時間を延長して操業している。この結果、鉱石中の水分7%を目標として、反射炉への持込水分を減少させることにより、反射炉の安定操業に寄与している。

2・2 反射炉

鉱石溶解設備として昭和40年、48年にそれぞれ第1反射炉、第2反射炉が操業を開始した。現在、銅製錬における反射炉は国内では、当所の2基のみである。各炉とも、操業開始以来完全にバーナを停止した全面炉修は実施しておらず、高い稼働率で操業が続いている。反射炉は、鉱石溶解のための熱源として多量の燃料を必要とし、その燃料として操業開始以来、重油が使われていた。しかし、昭和48年以後の重油価格の高騰に直面し、重油から他の燃料への代替が急務となった。燃料の代替化は、昭和54年に廃タイヤを反射炉に直接投入して使用することにより始められ、昭和56年には、微粉炭燃焼設備が完成し、更には、同年に廃タイヤ乾溜設備も実操業に入って、昭和58年には、石炭粉砕乾燥設備が増強され、ほぼ完成したといえる³⁾¹²⁾¹⁸⁾。

図3には、昭和55年度以後の反射炉での使用熱量の構成の推移を示す。燃料の代替化による操業への影響は、反射炉排ガス量の増加であったが、これに対し、旧MgOプラントの吸収系を石膏プラントの吸収塔として転用し、操業も安定化した。

昭和61年12月には、反射炉操業において計装化、省力化を進める目的で横河電機(株)製のプロセスコンピュータ、CENTUMを導入した。当所の微粉炭燃焼設備は直接式であることや、廃タイヤをはじめとする各種燃料を同時に使用することが原因で、燃料の燃焼管理は困難だったが、CENTUM導入により、自動化が可能となった⁹⁾¹⁶⁾。更に、各種計器類をシステム内に取込むことで、

* 1993年4月12日受付 6月4日受理

1. 正会員 小名浜製錬(株)小名浜製錬所技術部長
キーワード: 小名浜製錬所, 銅製錬

図1 小名浜製錬所操業系統図

表1 処理量と生産量(平成4年度月平均値) (単位:t)

処理 量	銅鉱	49,480	生 産 量	アノード	23,840
	反射炉処理	42,990		水砕鏝	30,130
	転炉処理	6,490		石膏	22,020
				硫酸	33,040
	故・粗銅	3,640		電気銅	18,720
				硫酸銅	160
				粗硫酸ニッケル	130
				脱銅スライム	45
				テルル化銅	1.4

表2 溶錬設備仕様

設 備	項 目	設 計 値
反 射 炉	基 数	2基
	炉 幅	10m, 11m
	炉 長	33m
	廃熱ボイラ	33t/h×2基, 47t/h×2基
	コットレル	5基
転 炉	基 数	150t×4基, 180t×1基
	炉 径	4m
	炉 長	9m×4基, 11m×1基
	廃熱ボイラ	18t/h×5基
	コットレル	5基
精 製 炉	基 数	250t×2基, 350t×1基
	炉 径	4m×2基, 4.4m×1基
	炉 長	9m×2基, 10m×1基
アノード 鑄 造 機	基 数	ウォルカー式×1基, ヘズレット式×1基,
	能 力	ウォルカー式 45t/h, ヘズレット式 50t/h

図2 反射炉・転炉での銅鉍処理量の推移

CRTでの集中管理ができ、各種データは、ホストコンピュータにも送られ、操業の解析にも役立っている。

2.3 転炉

グリーンチャージ方式反射炉から産出される鉾は、Cu品位が低いので、転炉において造鉄期の発熱が多く、従来から鉾石と煙灰をペレット化して処理されていた。しかし、ペレットでの鉾石処

表3 最近の操業例（平成5年1月）
（単位：t）

反 射 炉	銅鉱 固形物装入量合計	46,100
	燃料	49,000
	重油 (kl)	430
	石炭・オイルコークス	11,400
	チップタイヤ	840
	乾溜タイヤ	2,800
	酸素 ($\times 1,000\text{Nm}^3$)	1,060
転 炉	水砕鑛生産量	32,300
	蒸気発生量	80,300
	鉄	41,400
	銅鉱	8,400
	故銅	1,500
	粗銅	2,300
	残基銅	5,000
精 製 炉	注石	9,100
	酸素 ($\times 1,000\text{Nm}^3$)	980
	蒸気発生量	19,000
	燃料および還元剤	
	重油 (kl)	150
	ブタン (t)	40
	乾溜油 (kl)	410
アノード生産量	27,200	
	ウォルカー式	13,500
	ヘズレット式	13,700

図3 反射炉での使用燃料構成の推移

理は、水分を多く含むこと、連続的に投入することが困難であること等の理由により、その処理量は、比較的少なかった。これらを解決するために、昭和58年以後、羽口からの乾燥鉱吹込のテストを実施し、昭和62年以後の鉱石増処理時期に実操業化された⁸⁾¹¹⁾。吹込技術は、昭和57年以後、煙灰の吹込処理に適用されていたもので、粉体を加圧空気で行流輸送し、転炉の羽口に設置した専用ノズルから炉内へ吹込まれるものである。平成3年1月には、酸素プラントが稼働を始め、転炉送風の酸素富化を行い、更に、吹込設備の増設もあり、転炉での鉱石吹込量は大きく増加した。鉱石吹込量の増加に対し、ダストロスの増加や返鑛増加による反射炉でのマグネタイトトラブルが懸念されたが、現在の所問題なく操業されている。ただし、酸素富化の実施により、一時、羽口付近の煉瓦の損耗が激しくなり、炉修の頻度増加に至った。その後、酸素富化操業を検討し直し、更に、煉瓦の改善の効果もあり、操業上問題ないレベルにまで回復している。なお、酸素プラントの能力は、PSA方式による $3,750\text{Nm}^3/\text{h}$ (80% O_2) であり、転炉送風の他に反射炉のバーナ空気の酸素富化にも使用されている。現在、鉱石乾燥能力を増加させるため大型のフラッシュドライヤ設置、および転炉制御用のプロセスコンピュータを導入し転炉稼働率と送風量の増加を計画しており、転炉での鉱石処理を更に進める予定である。

2・4 精製炉・アノード製造

精製炉における還元剤は、昭和60年にブタンから重油に切替え

図4 タイヤ処理量推移

られた⁶⁾。同時にタイヤ乾溜による回収油は、精製炉の保温用の燃料として使用され始めたが、その後、回収油の性状改善が行われ還元剤としても使われるようになっていく。現在では、タイヤ乾溜の回収油は、すべて精製炉で使用され、不足分を重油で補う形である。ブタンから重油、回収油への切替により、精製炉排ガス中の黒煙の増加が問題となったが、還元剤の使用量の調整、終点判定の適正化により解決できた。

アノード製造は、ウォルカー式とヘズレット式の2ラインを持ち、アノードも2種類生産される。ウォルカー式の製造では、平成3年に電解工場にアノード耳プレス機が導入されたことにより、従来の置駒による逆エッジアノードの製造は廃止され、モールド採取方法も、立注ぎタイプから平注ぎタイプに変更した。引き続き、モールドの材質も従来の精製炉粗銅から純銅に変更した。これらの結果、モールドの寿命は従来の約4倍に延長された。

2・5 タイヤ乾溜

当所における廃タイヤの利用は、昭和54年以後の反射炉燃料の代替化に始まる。その後、廃タイヤ利用の推進のため乾溜が始められた³⁾¹²⁾¹⁸⁾。昭和56年4月にテストプラントとしての乾溜設備がスタートし、その後の順調な操業を見て、翌年5月に現在の設備が増設され、昭和59年には、テストプラント設備が停止された。スタート以来のタイヤ処理量を図4に示す。乾溜により、油、カーボン、ガスの形態で燃料が回収され、廃タイヤの燃料としての汎用性が増した。回収油は、精製炉で使用され、カーボンは反射炉でバーナ燃焼され、ガスは反射炉の空気予熱器や硫酸工場の補熱用として使用されている。

3. 硫酸工場

表4に主要設備仕様、表5に最近の操業例を示す。

反射炉排ガスは石膏プラントで石灰石膏法により処理され、転炉排ガスは2系列の硫酸工場で処理される。精製炉排ガスや反射炉、転炉の漏煙、硫酸工場排ガスは、4系列の局排設備にて石灰吸収により処理される。反射炉排ガスおよび転炉排ガスの洗浄水は、石灰中和方式の排水処理が行われてきたが、昭和56年9月には反射炉系排水からAsを効率的に除去するために亜硫酸プラントが

表4 硫酸・石膏設備仕様

項 目	第一硫酸	第二硫酸	石膏工場
タ イ プ	ルルギ式 一段接触	ルルギ式 二段接触	湿式石灰乳 吸収方式
能 力 t/日 (100% H_2SO_4)	500	800	
メインブロウ Nm^3/min	1,300	2,000	3,200
ガス吸引能力			
原ガス SO_2 濃度 %	4~7	5~8	1~2

表5 最近の操業例(平成5年1月)

石膏	原ガス量 (Nm ³ /min)	3,130
	SO ₂ 濃度 (%)	1.8
	石膏生産量 (t)	23,000
硫	原ガス量 (Nm ³ /min)	2,640
	第1硫酸工場(Nm ³ /min)	1,130
	SO ₂ 濃度 (%)	5.8
	転化率 (%)	96.5
	第2硫酸工場(Nm ³ /min)	1,510
	SO ₂ 濃度 (%)	7.5
酸	転化率 (%)	99.6
	硫酸生産量 (t)	37,500
	第1硫酸工場	14,700
	第2硫酸工場	22,800

稼働を始めた。高As含有鉱の処理に対し、排水処理操業の安定を目的としたもので、反射炉系排水を汙過し、冷却して亜硫酸の結晶を得るものである⁴⁾¹⁴⁾。月間生産量は最高40tに達したが、その後、鉱石中のAs含有量の低下とともに排水処理プラントでのAs負荷も低減し、昭和62年以後、亜硫酸プラントは休転している。

石膏プラントは、反射炉での代替燃料化に伴い、その排ガス処理能力を増強するため、旧MgOプラントの吸収設備を転用した。更に近年の鉱石増処理に対応するため、昭和61年10月には、排水処理プラントに圧搾式フィルタプレス2基を導入し、従来の遠心分離機2基を、石膏の分離機として転用した。また、平成2年5月には、ガス冷却器を10基から12基に増設し、順調な操業を続けている。

硫酸プラントは、減産時の昭和59年から昭和61年にかけて、集約操業が実施された⁶⁾。これは、ある期間の処理量が低い場合に2ラインの硫酸工場を平均的に低操業するよりも、例として2カ月間は2ラインのフル操業、4カ月間は第2硫酸プラントだけフル操業で第1硫酸プラントは休転とする方が低コストとなるという検討結果によるものであった。その後、硫酸プラントでは、メインフロアの省電力のためのインバータ制御導入などの他に省エネルギーとして転化器の触媒形状の変更を実施した¹⁹⁾。昭和60年12

月に第2硫酸プラントの触媒を従来のシリンダ形210m³からリング形245m³に変更して、転化器の圧損を大幅に低減できた。その後、平成元年12月には第1硫酸プラントでも触媒形状の変更が実施された。これらにより、フロアの省電力を果たした他に、硫酸プラントのガス吸引能力が増加し、最近の高負荷操業の安定化に寄与している。

平成3年8月には、CENTUMを導入し、石膏プラントと硫酸プラントの計器室を統合し省力化が行われた。反射炉のCENTUMと同様に、現場の計装強化やホストコンピュータにデータを送信し操業解析に役立てている。

4. 電 錬 工 場

表6に主要設備仕様、主な操業条件を示す。

電解能力は、現在19,600t/月である。現在は、ほぼフル操業状態であり、種板電解は、約3,300枚の母板を操業に使用している。種板用母板については、従来はCu母板の周辺をPVCシートを接着して使用していたが、PVCシートの接着が面倒で、使用中に破損しやすく種板の形状不良となる問題点があった。解決として、PVCシートの代わりにプラスチック製の成形品を周囲にはめ込む方式(エッジワイズプロテクタ方式)に変更するとともに母板の材質をCuからステンレスに変更した。昭和63年8月には切替が完了し、母板整備が容易になり種板形状も改善されている。

当所の電解工場は、整流器の能力が大きく従来から夜間にフル通電し昼間は低電流の操業を実施してきた。しかし、詳細な検討の結果、電力単価の異なる時間帯ごとの通電量を適正に設定することにより更に、夜間電力率の向上および電力コストの削減が可能とわかった。平成2年6月には、横河電機(株)製、YEWMACを導入し、電解電流の制御を始め、更に各種操業データの監視にあてられている²¹⁾。

電解工程では、計装の充実のほかに、アノード耳プレス機によるウォーカー式鋳造アノードの垂直性の改善²²⁾や他の搬送機械の更新等によるスピードアップにより、第1、2電解では従来2シフ

表6 電 解 操 業 条 件

項 目			単 位	第1, 2電解	第3電解
電 解 槽	寸 法	材 質	mm	4,800×1,200×1,350	28,100×4,130×1,333
	槽 数		槽	PCコンクリート, PVC 808(内, 種板76, 造酸40)	SS41, ネオブレンゴム, PVC 36
アノード	寸 法	材 質	mm	980×960×40	980×960×15
	重 量		kg/槽	330	140
	残 基	率	日	26	11
	ビ ッ	チ	%	15.0	26.0
	枚 数		mm	100	80
カソード	寸 法	材 質	mm	1,000×1,000	1,000×1,000
	ラ イ	フ	日	13	11
	枚 数		枚/槽	45	1,000
	電 気	銅 重 量	kg/枚	145	110
電 解 液	Cu		g/l	43	42
	F. A.		g/l	175	175
	添加剤(析出槽)				
	膠		g/t	75	100
	チ オ 尿 素		g/t	70	85
	ア ビ ト ン		g/t	15	6
電 力	環 流 量		l/min	25	650
	平均電流密度		A/m ²	194	190
	整流器			140V×20,000A×2基	125V×25,000A×2基
	電解電力原単位		kWh/t	260(種板, 造酸槽を除く)	270
電 流 効 率			%	99.0	94.0
	工 数 原 単 位		工/t	0.043(種板槽を除く)	0.020

トでの操業を1シフトに集約化し、第3電解では従来60槽/シフトの操業を80槽/シフトとした。これらの操業は、平成3年9月から実施されているが工数原単位は、第1、2電解で0.075から0.043に、第3電解では0.025～0.030から0.020に削減することができた。なお、平成3年9月には、第3電解で1ブロック増設され、1,600 t/月の能力増となった。

副製品工程では、昭和62年11月からスライム浸出液中のTeを、テルル化銅として回収を始めた¹⁰⁾¹⁷⁾。得られるテルル化銅中のTeは40～45%である。昭和63年から平成元年にかけて、副製品工程においても横河電機(株)製 μ -XLを導入したのをはじめとして、計装の充実化、自動化を行い省力化が実施された。平成2年11月には、粗硫酸ニッケルの結晶缶の冷却を真空蒸発方式から冷凍機による方式に変更したことにより、結晶缶の温度を10℃から0℃に下げることができ、Ni回収能力が増強された。

5. エネルギー対策

反射炉では、鉱石溶解のために多量の燃料を消費し、多量の排ガスを発生するが、付属の廃熱ボイラで蒸気として燃料燃焼熱の約50%が回収されている。当初のエネルギー対策は、各機器の省電力はもちろん、反射炉ボイラだけでなく転炉ボイラからも発生する蒸気の有効利用、すなわち、発電機等による電力への変換を重点的に進められてきた。所内における蒸気使用状況は、反射炉ボイラで発生する過熱蒸気(4,050 kPa, 400℃)を自家発電用に供し、転炉で発生する蒸気はアキュムレータで710 kPaの飽和蒸気として、各工場での使用に供される。ここで各工場で使用される蒸気が増加すれば、発電機で使用される蒸気を減圧して供することとなり発電量の低下になる。したがって、工場蒸気の使用量を削減することは発電の増加、安定につながりコスト削減効果が大きいといえる。蒸気使用量削減として、反射炉ボイラを出た低温(300～330℃)排ガスでボイラ給水を加温する(昭和59年10月開始)こと⁶⁾や電解工場の電槽保温用シートの材質変更による電解液加温用蒸気の削減などが主なところであった。一方、蒸気節減によって新たに得られた蒸気の有効利用も実施された。昭和62年10月には、転炉送風機(2,100 kW)を、モータ駆動から蒸気タービン駆動に改造し⁶⁾昭和62年11月および平成3年11月に2基の発電機がそれぞれ7,500 kWから8,500 kWに効率化されたこと

図5 自家発電電量推移

表8 最近の分析値例(平成4年平均)

成分	Au	Ag	Cu	S	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Bi	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
単位	g/t	g/t	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
銅	9	119	29.8	30.0	0.40	1.16	25.9	0.11	0.02	0.01	4.7		
銀	11	165	37.0	25.7	1.2	1.7	29.5	0.14	0.04				
水砕鰽	0.1	2	0.7	1.2	0.34	2.2	37.4	0.10	0.03		30.0	3.6	2.1
転炉鰽			3.0				44.2				28.0		
アノード	25	510	99.5	0.003	0.071	0.002	0.007	0.044	0.011	0.005			

表7 コンピュータシステムの変遷

	プロセスコントロール用コンピュータ	ホストコンピュータ
昭和47年 昭和53年 昭和54年 昭和60年	IBM 1800 導入 横河 YEWPAC 導入 (転炉ボイラ制御)	IBM 370-115 導入 IBM 4331 へ切替
昭和61年	富士通 U1500 II 導入 横河 CENTUM 導入 (反射炉制御)	
昭和63年 平成元年 平成2年	IBM 1800 廃棄 横河 YEWMAC 導入 (第1,2電解制御) 横河 YEWMAC 導入 (第3電解制御) 横河 μ -XL 導入 (副製品制御) 横河 CENTUM 導入 (硫酸・石膏制御)	IBM 4381 導入 IBM 4331 返却

などが主なものであった。図5には、自家発電量の推移を示す。

電力の使用量の削減については、硫酸プラントの触媒変更やメインプロアのインバータ制御等をはじめ、所内各所、細部に至るまで実施されてきた結果、所内使用電力量に対する自家発電量の比率は、昭和58年度43.5%であったのが平成4年度は50.4%にまで改善された。

6. コンピュータシステム

昭和47年にプロセスコントロール用コンピュータの導入以来の変遷を表7に示す。プロセスコントロールとして、当初、中央の小型コンピュータによる集中制御システムにて運用されてきたが、昭和60年以後、段階的に各現場サイドに、更に小型の、操作性に優れたプロセスコントロール用コンピュータが設置され、分散型システムへと移行している。各現場に分散したプロセスコントロール用コンピュータのデータは、ホストコンピュータに転送され、データバンクに保存されるとともに、所内各所の端末機で操業情報を監視することが行われている。取扱われるデータの量は、従来の中央コンピュータの時と比較して、はるかに増大している。現在、転炉操業のコントロール用コンピュータの導入が計画されている。ホストコンピュータのシステムも、順次開発され、操業データの集約、整理、解析に寄与する他、近年では、勤怠管理、資材物品管理等の事務関係の情報処理についても順次開発され、今後も更にホストコンピュータのIBM 4381からIBM 9221への増強およびLANシステム化を検討中である。

7. 分析値例

表8に最近の分析値例を示す。

8. 結 言

当所の本邦唯一の反射炉法による銅製錬において、過去、環境

規制の強化、オイルショック、更には減産といった苛酷な状況を都度克服してきた。更に、今後増々、非鉄製錬業界を取り巻く状況が厳しくなっていくことが予想される。

この中で、当所は長期的な展望を常に念頭に置きつつ、当面、現有設備を最大限に活用して適正な設備投資を継続しながら、適時省力化、省エネ等、コスト削減をはかり、競争力のある受託製錬所として委託各社のご期待に沿うよう努力していきたい。

終わりに、今日までの当所操業に関係された先輩諸兄、並びに当社幹部に対して、心から敬意を表したい。

文 献

- 1) 田辺精三：小名浜製錬所その最近の操業状況，日本鉱業会誌，Vol. 84，p. 723-729，(1968)
- 2) 幸野 博：小名浜製錬所の銅製錬，日本鉱業会誌，Vol. 97，p. 616-623，(1981)
- 3) Kohno, H., Asao, H. and Amano, T. : Use of Alternative Fuel at Onahama, Feb. (1982), Annual Meeting of TMS/AIME, (Dallas)
- 4) Kohno, H., Sugawara, Y. and Hashimoto, M. : Operation of Arsenic Trioxide Manufacturing Plant, Feb. (1983), Annual Meeting of TMS/AIME, (Atlanta)
- 5) Kohno, H., Asao, H., Igarashi, T. and Shimizu, T. : Behavior of Minor Elements in Onahama Smelter, Feb. (1985), Annual Meeting of TMS/AIME, (New York)
- 6) Kohno, H., Miyamoto, Y., Asao, H., Igarashi, T. and Nishiwaki, M. : Today's Operation of The Onahama Smelter, Feb. (1986), Annual Meeting of TMS/AIME, (New Orleans)
- 7) Kohno, H., Sugawara, Y. and Hayashi, S. : Recent Operation at Onahama Smelter and Refinery, Metallurgical Review of MMIJ, Vol. 3, No. 1 p. 145-157, April, (1986)
- 8) Goto, M., Kohno, H., Asao, H., Miyamoto, Y., Igarashi, T., Okabe, S. and Hayashi, S. : Injection Smelting Techniques of the Mitsubishi Continuous Process and Their Application to P. S. Converter, (1987) CIM
- 9) Sugawara, Y., Mutoh, T. and Tokumasu, M. : Computer Control of Fuel Combustion for the Reverberatory Furnaces at Onahama, Feb. (1989), Annual Meeting of TMS/AIME, (Las Vegas)
- 10) Mutoh, T., Konishi, J. and Hayashi, S. : Copper Telluride Recovery from Raw Slime at Copper Refinery, Feb., (1990), Annual Meeting of TMS/AIME, (Anaheim)
- 11) Oshima, E. and Igarashi, T. : Recent Operation and Improvement at Onahama Smelter, Feb. (1993), Annual Meeting of TMS/AIME, (Denver)
- 12) 天野晃秀・西山 豊・清水 隆：代替エネルギーを使用した最近の反射炉操業，日本鉱業会誌，Vol. 97，p. 413-416，(1981)
- 13) 小松一郎・太田幸造：#1, 2 電解工場における電調作業の合理化，日本鉱業会誌，Vol. 98，p. 362-366，(1982)
- 14) 桑原正男・清水 隆・斎藤 陽：塩酸処理による亜硫酸の純度向上，日本鉱業会誌，Vol. 101，p. 253-256，(1985)
- 15) 幸野 博・宮本幸夫・組橋 巖・武藤達家：転炉ボイラ自動制御システムについて，日本鉱業会誌，Vol. 102，p. 270-274，(1986)
- 16) 幸野 博・宮本幸夫・組橋 巖・武藤達家：反射炉における燃焼制御の自動化，日本鉱業会誌，Vol. 103，p. 248-252，(1987)
- 17) 小西純二・林 庄作：銅電解スライムの浸出液の処理，日本鉱業会誌，Vol. 104，p. 226-228，(1988)
- 18) 奈良善蔵：小名浜製錬所における代替燃料利用技術の確立，日本鉱業会誌，Vol. 104，p. 417-423，(1988)
- 19) 石井 稔・西脇道雄・石川新次・野口七郎：硫酸工場における最近の省電力について，資源と素材，Vol. 105，p. 409-413，(1989)
- 20) 菅原幸生・武藤達家・川村 茂・小西純二：銅電解における浄液工程の改善，資源と素材，Vol. 106，p. 313-317，(1990)
- 21) 武藤達家・川村 茂：銅電解における最適通電パターンの実施について，資源と素材，Vol. 107，p. 376-379，(1991)
- 22) 武藤達家・林 庄作：アノード垂直性の改善，資源と素材，Vol. 108，p. 330-332，(1992)