竜昇殿鉍業所の水銀製錬

Metallurgy of Mercury at Ryūshoden Mine

畑 中 典 郎*

Sukeo HATANAKA

1. 緒 言

北進鉍業が北海道オホーツク沿岸の漁港で知られた紋別市郊外に水銀鉍石の採掘から精製水銀の生産まで一貫企業を開始して5年有余を経過したが、その間貿易の自由化と水銀市場価格の激しい変動に耐える体質づくりに設備の合理化と安定した技術の開発をすすめてきた。

そのなかの水銀製錬設備については前述の体質強化のほかとくに鉍害の防止と従業員の水銀中毒の絶無を果すべく、作業工程の簡略化を計るため日本鉍業技術管理部の指導、援助をもつて設備の抜本的な改造計画をすすめて昭和41年改造工事は完結した。

工事の主なものは

1. 電気収じん装置の導入
2. ロータリクーラによる排滓処理設備
3. 排水処理設備

電気収じん装置については水銀製錬としては初のケースであつたため、多くの基礎調査や現地テストを含めていろいろと問題があつた。ロータリクーラによるキルン排滓処理および排水処理設備の合理化はおおむね順調に工事が進められ昭和42年3月から機能を充分に表わすことができた。結局これらの設備の改造により鉍害の発生要因と水銀中毒防止の危険性を取りのぞくことができかつ直接コストダウンにも好影響を与えて生産性は著しく向上されたものと考えている。

その後、第2鉍床の開発も順調に進み増産のため最少限度の設備の増強を計り、昭和42年12月完成した。

設備増強の主なものは

- (1) 二次破碎による原鉍サイズの均一化
- (2) ロータリーキルン焙焼効率向上のためキルンの改造
- (3) コンデンサ配列変換による冷却効果の向上と一部増設による冷却エリアの充足
- (4) 排ガス中和設備の増強

以上4項目の完成後は月間処理能力を

原鉍	2,500 t
生産水銀量	7,238kg (210フラスコ)

よつてこれまで2回にわたる改造を中心に竜昇殿水銀製錬の現況について報告する。

2. 位置、交通、気候

北海道紋別市上渚滑町中渚滑豊盛が正式の住所であるが交通は名寄本線紋別駅から南へ6 km 標高100m から150mの丘陵地帯で冬期積雪のときも自動車の運行が可能で駅前から10分程度で到着する。

ちなみに鉍業所従業員は全部紋別市内に居住し通勤は市内営業バスを利用している。

年間の平均気温は紋別測候所調べでは6℃で盛夏には30℃を超えることもあるが、湿度は低くしのぎ易い。しかし冬期は長く11月中旬より量は少ないが降雪がある。とくに1月上旬頃より3月上旬までの間、オホーツク海は流氷にとざされて寒気は厳しく最低気温-30℃になることも珍しくない。積雪は比較的少なく平均1 m 50 cm位で晴天の日が多く雨量、降雪を含め年間600~800 mmで道内でも少ない地域に属する。

3. 沿革

当鉍山は昭和18年道路開さくの際辰粒砂(いも辰砂)が発見され地元有力者某氏により開発を行ない北鎮鉍山と命名、レトルト方式による製錬操業が実施されたが操業振わず休山した。その後昭和29年にいたり大牟田鉍業

写真1 竜昇殿鉍山製錬場全景

* 北進鉍業株式会社竜昇殿鉍業所長

株式会社に引継がれ竜昇殿鉱山と改名し、ロータリーキルン方式による製錬法を採用して生産を始めたが、これまた操業振わず昭和34年12月休山した。昭和35年10月当社がこれを買収し11月探鉱所を開設探鉱に着手し、約1年8カ月の間調査の結果埋蔵鉱量も確認され、また製錬方法はロータリーキルン方式による製錬方式が水銀生産の一貫企業として有利であるとの結論に達し、昭和37年6月より製錬設備の建設に着手し同年10月20日ロータリーキルンの火入式を挙行し、以後本格的生産を開始、途中幾多の設備改造増強を経過して今日にいたつた。

4. 生産規模

- (1) 昭和37年10日、スタート当初の製錬能力は
処理鉱量 1,000t/月
水銀生産量 2,850kg/月
- (2) 昭和39年4月、操業の安定化により
処理鉱量 1,100t/月
水銀生産量 3,450kg/月
- (3) 昭和40年4月、ロータリーキルン一部改造と排熱回収等の収造により
処理鉱量 1,500t/月
水銀生産量 4,275kg/月
- (4) 昭和41年10月、製錬設備の合理化改造により
処理鉱量 1,700t/月
水銀生産量 4,922kg/月
- (5) 昭和42年10月、現行キルン1基をもつて最大限生産設備の収造、増強により
処理鉱量 2,500t/月
生産水銀量 7,238kg/月
とちようどスタート当初の2.5倍の生産能力となつて現在にいたつている。
- (6) 人員関係 探掘関係は組員をもつて行ない、現在人員は78名で若干の浮動がある。
総務、探査および製錬は直轄員であつて製錬従業員の内容は職員5名、鉱員11名、計16名

5. 地質および鉱床

当鉱山付近の地質は先白亜系（日高層群）と思われる硬砂岩、粘板岩、輝緑凝灰岩、珪岩層等を基盤とし、これを不整合におおう新第三系中新世～鮮新世（モベツ層群）と思われる砂岩、砂質泥岩、泥岩の累層からなつている。火成活動は上記累層をおおい鉱山付近を中心として発達する玄武岩と鉱山西南方約4kmの渚滑川西岸に分布する流紋岩がみられる。鉱床は前記モベツ層群の中位に発達する砂岩層を母岩とする鉱染状（一部層状）、脈状をなす辰砂鉱床で単位鉱体は同一層準内に不規則塊状

をなして賦存する場合が多い。現在まで第一、第二鉱床を把握しこれらを開発している。

6. 製錬操業系統および設備の概要

原鉱を25mm前後に粉碎してロータリーキルンに連結給鉱し重油バーナをもつて最高温度700℃程度として焙焼する。原鉱の水銀はすべて辰砂(HgS)であるので十分な酸化気圏の中においてほとんど完全に分解して蒸気となる。この蒸気をコットレルにより脱じんのコンデンサに導入して冷却すれば水銀は凝集する。これを回収し精製水銀とする。排ガスはコンデンサ末端にあるフィルタによりミスト水銀を回収し、最終的には石灰石中和塔に送りSO₂の中和を計つて大気に放出する。キルン塵さいはロータリークーラにより残留ガスの回収と熱の一部回収を行ない空冷して排出し坑内充填に、残部は堆積場へ搬出している。排水は主として排ガス中和塔における洗浄水であるが、コンデンサ凝結水とフィルター洗浄水および場内床水洗浄水が統合し排水処理設備に送り、沈降、pH調整の上繰返し用水としてコンデンサ冷却水、中和塔、フィルタの洗浄水およびそのほか用水として使用している。

当地は前述したように年間降雨量が600～800mm程度とまれにみる渇水地帯で山元では入浴、飲料にもこと欠く場合も珍しくなく、用水の繰返し使用は鉱害問題の発生防止上にも有益である。

7. 操業経過

第1図 製錬系統図

操業開始以来5カ年間の推移経過の跡を数字をもって説明すると第1～3表のとおりである。

第1表 原鉱品位の完全分析値(%)

日鉱中央研究所

試料 #	T. Hg	S. Hg	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	S	total
1	0.30	0.30	2.96	71.78	9.69	1.15	0.55	2.70	89.13
2	0.74	0.66	2.69	69.91	12.90	0.64	0.30	2.61	89.79

試料 2. はとくに品位の高い場合であつて予算品位としては、

試料 1. が使用されて現在にいたっている。

第2表 処理鉱量、生産水銀量および原単位の推移
(月平均)

年 度	処理鉱量 t	生産水銀量 kg	重 油 /	電 力 kW	工 数 工
昭和38年上	952	2,946	33.0	20.7	0.41
下	1,059	3,259	33.7	16.0	0.35
39年上	1,175	2,421	34.0	10.2	0.35
下	1,190	3,404	33.0	10.7	0.38
40年上	1,448	4,513	31.5	11.0	0.28
下	1,578	4,203	28.5	9.5	0.26
41年上	1,555	4,390	27.5	11.0	0.27
下	1,755	4,761	23.0	12.0	0.23
42年上	1,725	4,934	25.5	13.5	0.26

第3表 コスト指数の推移

(昭和41年1月を100として月平均)

41年 1月	100.0	42年 1月	92.7
2	99.4	2	96.5
3	110.0	3	93.0
4	96.7	4	90.0
5	95.5	5	95.0
6	101.0	6	92.5
7	99.0	7	93.5
8	102.0	8	93.0
9	97.0	9	93.1
10	95.0		
11	95.7		
12	95.0		

以上データに示されたように生産量、原単位およびコストの推移は製錬設備の改善の経過を物語っているが、つぎにその内容について概要をのべる。

8. 製錬設備の合理化と設備増強の概要

前述したように製錬設備の改善は主として鉱害の発生防止と水銀中毒防止対策による作業行程の簡略化のための設備の合理化を基礎にして検討を進め改善したのであるが、これに付随して現行設備能力において最少限投資をもって最大能力の引出しをいかに可能とするかについて検討し増強したのである。

8.1 電気収じん装置の導入

水銀製錬においてロータリーキルン等の焙焼炉から発生した水銀蒸気を含むガスは一たん収じん装置を経て脱じんした後、コンデンサに送入されスートとして粗水銀を回収している。一般に水銀製錬の収じん装置としてはサイクロンが使用されているが、当所においてもサイクロン方式を採用していた(昭和41年8月まで)。しかし母岩が砂岩を主体としているため焙焼後におけるダストの発生量は他の同型の製錬所と比較してかなり多く、かつサイズも極めて微細でサイクロンの収じん効率はせいぜい

70～80%程度で多くのスライムをコンデンサにおいて発生していた。これがスートからの粗水銀分離工程、スライム処理工程等の後処理に種々な困難と手数をかけ、取扱いロスの増加、繰返し物処理の増加による生産能力の削減、および水銀精製工程の煩雑さから作業条件の悪化と鉱害発生の危険性等の諸因をはらんでいた。さらに冬期凍結期間が長いいためスライムの回収処理にはより困難を極めていた。よつて電気収じん装置を検討したが水銀鉱石の焙焼ダストとしては電気固有抵抗が極めて高いこと、コットレル内における水銀蒸気の凝結の懸念があつてその導入にはかなり難しいとされ国内外の水銀製錬における最初のケースであつたがメーカーの富士電機製造株式会社の協力を得てテストコットレルによる共同研究を現地で実施した。

8.1.1 ダストサイズの分布調査結果について 原鉱が比較的にもろい性質のためダストの微細化がサイクロンによる捕収を困難とした原因で、そのサイズ分布を第4表に示す。

第4表^{a)}

サイズ別	分布率
2μ以下	9.5%
2～5μ	14.5%
5～10	46.0%
10～15	18.0%
15～20	7.0%
20μ以下	5.0%
計	100.0%

第5表^{a)}

サイズ別	分布率
0.5μ以下	0.6%
0.5～2.0μ	40.0%
2.0～5.0μ	49.0%
5.0～10.0μ	9.2%
10.0μ以上	0.8%
計	100.0%

すなわち10μ以下は70%を占める。つぎに同サイクロンからコンデンサに飛んだダスト分布についてまとめると第5表のとおりとなつた。

すなわち2μ以下が41.0%を占める。以上のように極めて微細なダストであつてこれらを収じんに適正な収じん装置について検討したものでは、サイクロンによる収じん範囲は大体2～15μがもつとも効率がいが、2μ以下ではほとんど収じん効果がないといえるので、より収じんを多くしようとすればバッグフィルタか電気収じん装置が必要となる。バッグフィルタは圧損失の大とその圧変動差が大きいため焙焼炉の燃焼管理上不利な点があると判断し、圧損失の少ない電気収じん装置を採用したのである。

8.1.2 電気収じん装置の現地テストについて ダストの固有抵抗値についてはメーカー側の富士電機でテストしたが第2図に示すように極めて抵抗値が高い結果が判明した。すなわち10¹¹～10¹²Ω-cmまでは特殊な装置を必要とする電気収じん装置の範囲であるので特別装置をもって抵抗値の引下げを計り

200℃において 6×10¹¹Ω-cm

180℃ 1×10¹²Ω-cm

a) 日鉱中央研究所 昭和40年報告

第2図 水銀鉛石焙焼ダスト固有抵抗-温度特性とするものを $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ に成功し、テストによるV-I特性によつて電気収じん装置の適用が一応可能であるとの結論を得た。

8・1・3 装置の配置と仕様について 電気収じん装置は従来のサイクロンの位置に設置し、サイクロンはバイパス回路として別にダクトをもつて並列に配置し適時両者を使用できるようにした。

電気収じん装置の仕様は

型式UMC-21S (ユニット型)

ガス量 25~27Nm³/min(Dry)

ガス温度 220°C

ガス成分 CO₂ 12% O₂ 7% SO₂ 3%

ダスト量 35~40g/Nm³

粒度分布 1~3μ: 60%, >3μ: 40%

水分 160g/Nm³

直流電源 35kV

80mA/1φ3.2kVA

交流電源 200V 50c/s

限流リアクトル付セレン整流器 2台

以上のほか電極のハンマーは全て電磁式となっている。

8・1・4 操業経過について 予備テストを経て操業を開始したのであつたが当初はトラブルの連続でそのつど改造を加え、結局水銀製錬として特殊な性能を具備した上コットレルとしての本来の高い収じん効率の機能が成立した。

機能テストは主として収じん効率の検定を重要点としてきたが第6表は荷電電圧(一次)条件を3段階に分けた結果を要約したものである。以上の結果、安定した操業に入ることができ、水銀蒸気を含むガス中のダストをカットオフリミット以下に捕収し排出しコンデンサに

第3図 コンデンサ回収スート品位の推移

第6表 収じん効率テスト結果

No. 1	コットレル出口含じん量	一次電圧 (特高)	一次電流
	0.242g/Nm ³	144V (22 kV)	8.5 A
	0.298 "	145 " (22 ")	"
	0.251 "	150 " (23 ")	"
	$\bar{X}$ 0.264 "	146 " (22 ")	"
	収じん効率 99.2%		
No. 2	0.345g/Nm ³	135V (20 kV)	2.7 A
	0.435 "	135 " (20 ")	"
	0.441 "	120 " (18 ")	"
	$\bar{X}$ 0.408 "	130 " (20 ")	"
	収じん効率 98.8%		
No. 3	0.291g/Nm ³	139V (21 kV)	3.3 A
	0.327 "	140 " (21 ")	3.5 "
	0.274 "	140 " (21 ")	4.0 "
	$\bar{X}$ 0.297 "	140 " (21 ")	3.6 "
	収じん効率 99.1%		

おける処理工程を極めて簡略することができた。すなわちコンデンサに送入するダストの激減から回収されるスートの状況が従来のサイクロン方式に対して一変した。第3図はスート品位の推移を示すものであるが、従来は70% Hgの品位であつたスートは熱処理によりスートホーイングマシンにて水銀を凝集分離して粗水銀としていたがコットレル導入後はスートの品位が一躍93~98% Hgでほとんど全量水銀のみとなり、従来の熱処理による分離方法をやめて湿式機械化により容易に粗水銀が得られる状態となつた。このようにスートの処理工程が簡略化された結果、有害雰囲気での暴露作業時間が従来のものに短縮され作業内容も安全化したので、従来のホーイングに比較して水銀中毒の危険性は全く影をひそめ、作業員の健康管理の一環として実施している尿中水銀量の含有が一段と少なくなつてきたことから確認された。ちなみに第7表に作業員の尿中水銀量の推移を示す。つぎに生産性の向上は必然的に表われたことは前述したとおりであるが、設備の増強にはたえず自動化を計り工数の増加をさせてきた。近日中にキルンの自動燃焼化が完成する見込みであるが、さらに電気収じん装置の適正荷電圧の操作を操業条件と自動的に適合させる操作のロボット化を検討中である。

8・2 ロータリークーラーによる廃滓処理設備の合理化

第7表 従業員尿中水銀量分布比

キルン廃滓は従来パンコンベヤにより直接室外に搬出されていたが、400～450℃あつて有害な水銀の残留ガスやSO₂ガスが周囲に拡散し鉍害発生の徴候を表わしていた。とくに有害な水銀蒸気の屋内侵入もかなりあつて作業環境を汚染していた。よつてこの廃滓をロータリークーラ(850mmφ×1,200mmL)に自動給鉍し廃滓に包含されている有害ガスをことごとくキルンにドラフトし、キルン発生ガスとともにコンデンサに導入するようにした。その結果廃滓は同クーラにより夏期は170℃に、冬期は70℃に冷却されて排出し、たい積あるいは坑内充填に使用できるようになった。なお200～300℃のクーラ排ガスの一部をキルンバーナの二次空気に導入するようにしてから、重油の使用量は従来にくらべて22%節減できた。

8.3 排水処理設備の合理化

排水処理は前述したように排ガス中和塔、コンデンサおよび場内床水洗等を統合して行なうのであるが、従来は固形物の沈降を計ったのち消石灰を添加しpH調整して沈殿池にて清澄を計り河川に放流していたが、沈殿池における沈降機構も不十分な上、スライムの多量発生もあつて、排水処理機能としては不十分で鉍害発生の危険も伴っていた。また前に述べたように水資源の乏しさから排水の繰返し使用がのぞまれていた。しかしスライムの多量発生下では排水処理設備も大きくなりかつ冬の

長い凍結期においてはスライムの回収は極めて困難なものである。これが今回の電気収じん装置の導入に成功しダストのスライム化が激減したことから排水処理は極めて容易となりかつ用水の繰返し使用が可能となつて宿命的な用水不足の悪条件を解決した。さらに河川に放流する余剰水も僅少となつたので鉍害についても全く懸念がなくなつた。さて、この合理化設備では前述した各排水を濃縮タンク(3mφ)に送入し凝集迅速沈降を計りスピゴットはフィルタープレスにより脱水しケーキとしてキルンに繰返し、清澄水はシックナ(4mφ)に送入し消石灰ミルクを添加してpH調整し全量をポンプアップして用水として再使用する。ちなみに排水中、水銀のイオン化したものはアルカリ処理により除害できることを確認されているので^{b)} pHを8～9辺に過剰気味の消石灰を添加している。第8表は懸だくあるいは加溶された水銀を水酸化物として他の塩基物とともに共沈する傾向を確認するものである^{b)}。

第8表 懸だくおよび加溶水銀量とpH値の関係

試料 #	消石灰添加量対試料 500cc	消石灰添加後の 母液の pH 値	母液中の水銀含有量
原 液	0mg	3.0	5.9 mg/l
1	10	3.7	2.14
2	20	3.1	2.49
3	40	3.2	2.36
4	80	3.1	2.80
5	100	3.1	2.85
6	200	9.9	1.35
7	400	13.0	<0.01
8	800	13.0	<0.01

8.4 設備増強

(1) 粉碎設備 原鉍粉碎は従来からブレーキクラッシャによる一般破碎であつたが、25mmフルイにより全量をふるい分けしプラスサイズをインペラーブレーカにより二次破碎を行ない、オールマイナス25mmサイズとしてキルン給鉍能率と焙焼効率の向上計った。

(2) 焙焼設備 焙焼効率の上昇を計るため一部燃焼室の改造とキルン内レンガ改造により焙焼効率の低下することなしに、キルン容積率を増加させた。この結果スタート当初の2.5倍の処理能力をもつにいたつた。

(3) コンデンサ関係 水銀蒸気がコンデンサにおいて冷却凝結する分布実態を把握し、冷却効果と水銀回収の相関を検討した結果、従来のコンデンサの配列を変更することにより冷却効果の向上が確認された。よつてロータリーキルンにおける最大処理能力と、夏期における最高気温を勘案して冷却エリアの充足を加えコンデンサ設備の合理化をした。

(4) 排ガス中和設備 処理鉍量の増加に伴う排ガス量の増加により亜硫酸ガスの吸収装置の検討をした結果、現行石灰石中和法がより経済的、かつ吸収効果も有効であることが実証されてきたので、同型の中和塔を1

b) 日鉍中央研究所 昭39, 中研第255号より

基直列配置として増設した。よって亜硫酸ガスの吸収率は90～95%を維持できて鉱害の発生はない。

9. む す び

わが社としては当所の開発をもつて新たに水銀の生産を経験したのであるが、これにいたるまでは、自らの苦心もさることながら同業他社の親切なアドバイスがありこれによつて企業開始して日なお浅きにかかわらず、企業の安定したことに対してここに深い謝意をのべる次第である。また親会社である日本鉱業技術管理部の適確なる助言、指導を戴き設備の近代化を計ることができたことから今後とも企業を拡大伸張させる上に大きな障壁と

なる鉱害問題と労働衛生の面に全く懸念のなくなつたことを感謝するものである。さらに富士電機製造株式会社の熱心な協力を謝し当社米村前社長初め役員が現地に再度おもむき、暖い励ましにより現地従業員の期待と熱意がみのつた結果であることを記すものである。今後水銀の需要はますます伸長するものと考えられるが、生産側としては国内資源の有効な活用と海外の困難な原鉱処理を開発させ、国内水銀価格の安定に少しでも寄与したい所存である。よつて今後はさらに一段と生産技術の改善合理化により一層のコストの切下げをはかるべき筈にあることを認識し、わが国産業界の発展に微力をささげたいと考える次第である。

イトムカ鉱山における水銀製錬について

Outlines of Mercury Smelting at Itomuka Mine

正会員 魚住力太郎*
Rikitarō UOZUMI

正会員 岡本 肇**
Hajime OKAMOTO

1. 緒 言

1-1. 位置および交通

イトムカ鉱山は北海道常呂郡留辺蘂町の西端、常呂川の支流、武華川の上流に位置する。

交通は留辺蘂駅より武華川に沿ひ、国道 39 号を 37.5 km 溯行すると鉱山事務所、選鉱場、製錬場の所在地である大町に達し、この間バスで約 40 分を要する。本山採鉱現場は大町よりさらに 8 km 上流に位置し、本山採鉱事務所より東方約 1 km 下流で、旭川一大雪山一北見を結ぶ国道にバスおよびトラックで連絡される。

1-2. 沿革

本鉱山の位置する武華川上流地帯は昭和の初期、特別交通不便なため、地下資源は未調査の区域であつたが、昭和 11 年の大暴風雨による多数の風倒木の発生、翌年これら風倒木の搬出道路開さく^{コブシ}中、表土中より拳大の辰砂塊（いも辰砂）が発見されたことが、本鉱山開発の端緒である。

その後昭和 13 年北海道工業試験場地質調査部により、有望な水銀大鉱床であることが確認され、ヤマト鉱業株式会社により昭和 14 年からイトムカ鉱山の開発が着手され坑外探鉱の結果、本

邦随一の大規模な鉱床が発見された。当時は戦時下のため、急速な増産がなされ、本邦水銀生産の大部分を占めるにいたつた。

終戦と同時に乱掘の整備と需要激減から規模を縮小していたが、昭和 27 年世界市場の好転と新鉱脈の発見により、再び活況を呈し現在にいたつている。

2. 製錬操業の概要

操業系統の概要は第 1 図、処理成績は第 2 図に示す。

粗鉱は坑内鉱と露天鉱の 2 種に大別される。イムバクトブレーカーウオッシングドラムートロムメルークラッシュファイヤ等を経て湿式破碎され、それぞれミル系統—シッケナ等を経て浮選で精鉱を浮鉱として得る。製錬原鉱はこの浮選精鉱が対象となる。

写真 1 イトムカ鉱山製錬所全景

* 野村鉱業株式会社技術部次長

** 野村鉱業株式会社イトムカ鉱業所製錬課