釜石鉱山における銅鉱選鉱場の操業について

正 会 員 石 原 弘 明*

Operation of Copper Flotation Plant at the Kamaishi Iron Mine

Hiroaki ISHIHARA

We had treated only tailings from magnetic separation of iron ore in the copper flotation plant till 1950. Then, according to the development of copper deposits, two plants for copper ores were constructed. One is a small plant which has a capacity of 150 tons per day, and the other is a plant which has a capacity of 600 tons per day.

There are two kinds of copper deposits at the Kamaishi mine.

- (1) The 1st. deposit of copper ore:
low grade magnetite ore containing copper ore,
average grade: 25% Fe, 0.6% Cu
- (2) The 2nd. deposit of copper ore:
mixed ores of chalcopyrite, pyrrhotite, and magnetite,
average grade: 18% Fe, 1.5% Cu

Ores from the 1st. deposit are treated in 600 tons plant, and ores from the 2nd. are treated in 150 tons plant. In the latter plant, products of ball mill are treated with 750 unit flotation cell, and about 70% of copper contents are recovered here. And then sinks are sent to ball mill of the plant treating tailings of iron magnetic separation plant. In the former plant, copper minerals and iron minerals are recovered step by step by the way of flotation and magnetic separation alternately.

1. 概 要

釜石鉱山における銅鉱の選鉱は、大別して鉄磁選工場よりの尾鉱処理系統と、坑内より銅鉱として採掘される銅原鉱を処理する系統とより成っている。前者は以前より操業して来た選鉱場であつて、鉄尾鉱中の粉鉱の部分を処理している。後者の鉱床は昭和25年より開発されたものである。本報告においてはこの新しい銅原鉱専用のプラントについて、現在の操業状況及び今後の計画に関して概要を述べよう。

銅選鉱場というもののあくまで鉄鉱床の周辺に存在する銅鉱石の処理であるため、原鉱には必ず鉄鉱が伴ってくる。したがって磁選機による鉄回収が併用される。

2. 銅 鉱 石

現在銅鉱石として採掘しているのはいわゆる第一鉱床の鉱石約 540t/日と、いわゆる第二鉱床の鉱石約 130t/日合計約 670t/日である。第一鉱床とは含銅低品位磁鉄鉱の鉱床で、以前よりその存在は大略判明していたけれど、鉄銅共に低品位のために、稼行価値がないとして開発されなかつたものである。昭和24年から始められた本格的な銅鉱調査により、その鉱量の大なることと、銅鉄

両方を選別採取することによる稼行価値の上昇とによつて脚光を浴びるに至つたもので、現在判明している範囲内における平均品位は鉄約 25%，銅約 0.6%程度である。第二鉱床とは黄銅鉱及び磁硫鉄鉱を主体とする鉱床で、これに若干の磁鉄鉱を伴っている。平均品位は銅約 1.5%，鉄約 18%（この中約 5%は造岩鉱物中の鉄量である故、鉱石よりの品位は13%程度）である。両鉱床の鉱石の完全分析を第1表に示す。

第1表 完全分析表

	Fe	SiO ₂	Mn	P	S	Cu	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
第一鉱床 (600t)	27.40	25.59	0.302	0.055	1.50	0.817	7.54	19.07	18.18
第二鉱床 (150t)	19.14	29.89	0.403	0.045	3.45	1.34	5.17	23.74	23.05
参考 銅精鉱	32.42	7.99	0.094	0.024	27.60	16.97	1.76	5.56	0.820

3. 選 鉱 系 統

150 t プラント及び600 t プラントの系統図を示せば第1図及び第2図の如くなる。しかして図中の主要機械一覧表は第1図附表及び第2図附表に示す。

4. 150 t プラント

150 t プラントは第一鉱床及び第二鉱床を開発するに当り、その開発によつて生ずる鉱石を処理すると同時に

* 日鉄鉱業株式会社釜石鉱山選鉱課浮選係長

ここにユニットセルを設置したのは、この系統よりの鉄石は後で低品位の鉄磁選尾鉱 (0.3~0.35% Cu) と混合処理される故、高品位のままで送ることは非常に不利であり、しかして完備した浮選系統を設置することは、場所的にもまた細磨鉱による処理量の減少からも条件が悪く、望ましくない。以上の理由により最少限度の機械配置として、操業的には磨鉱系に含めてユニットセルを設置したのである。

5. 600t プラント

600t プラントは第一鉄床の含銅低品位磁鉄鉱を処理するために設計し、昭和28年より29年にかけて建設した選鉱場である。その後の鉱量増加により現在 1,000t プラントへの拡張を計画中である。

本選鉱場は銅・鉄を如何にして有利に回収するかに留意し、大体次の点を設計の起点とした。

- (1) 磁鉄鉱は大体 20mesh 附近で単体分離する。
- (2) 硫化鉄物は 65mesh 附近で単体分離する。しかして硫化物相互間すなわち黄銅鉱と硫化鉄との単体分離は 150mesh 附近である。
- (3) 鉄精鉱 (磁鉄鉱) 中の含銅量は 0.1% 以下とする。
- (4) 銅と硫化鉄との優先浮選は行わない。銅精鉱は硫化鉄との混合精鉱として回収し、銅品位を15%以上とする。

以上の点より磨鉱系は二段とし、一次にロッドミル、二次にボールミルを使用することにした。しかして磨鉱及び選別系統の概要を次の如くに定めた。

〔一次磨鉱→浮選→磁選→二次磨鉱→浮選→磁選〕

系統別の概要を述べれば次の通りである。

5.1 破 碎 系

破碎は一次クラッシュヤに 36"×24"A-I 型ジョー・クラッシュヤを、二次に 5'-6" コーン・クラッシュヤを設置している。二次コーン・クラッシュヤは 4'×10' タイロク・スクリーン2台と閉回路をなし、22mm 以下に碎いて粉鉱ビンに貯鉱している。

5.2 磨 鉱 系

磨鉱は上述の如く二段磨鉱とし、一次と二次の間で 20mesh のスクリーンでフルイ分して、網下はユニットセル及びクロケット磁選機にかけ、それぞれ銅及び鉄を回収する。網上は更に二次磨鉱系統に送り、その産物は二次のユニットセル及びクロケット磁選機により、再び銅鉄を回収する。この系統が当プラントの主要部であり、主浮選系統に送る給鉱を 0.4~0.5% Cu, 10~13% Fe 程度のものとしている。

5.3 主浮選系及び鉄回収

主浮選系は #21 デンバー型浮選機16槽 2列の配置であ

り、現在尾鉱品位を 0.07% Cu としている。浮選は簡単な単一浮選であり、使用試薬は起泡剤には高砂 2号、捕収剤にはエチル・ザンセート・ソーダを使用している。浮選尾鉱は再び最終的にクロケット磁選機で処理して鉄鉱を回収し、最終尾鉱として品位 0.07% Cu, 9% Fe 程度のものを排出している。

6. 廃 滓 処 理

浮選工場としては上述の 150t 及び 600t の他に鉄磁選工場の尾鉱処理系統の分として約 450t/日 の鉱量を処理しているから、浮選における全処理量は 1,100~1,200t/日 となる。これから生ずる浮選尾鉱の量は 950~1,000t/日 程度であり、これに加うるに鉄選鉱場より出る塊鉄餅が約 500t/日 ある。

浮選工場よりの尾鉱は昭和30年3月までは脱水機により脱水して、平均水分20%のケーキとして堆積場に廃棄していた。選鉱場の新設及び拡張計画に伴う一連の総合計画により、堆積場のダム建設が計画され、これにより浮選尾鉱はパルプのままポンプアップすることと決定し、マッドポンプ (パワーポンプ) によるポンピングアップへの切換えとなった。昭和30年4月よりこの操業に入り、順調に予想以上の好成績をあげている。

また鉄選鉱場よりの塊鉄餅はコンベヤにより運ばれ、ダ

第2表ノ1 選 鉱 成 績 表

昭和29年度における実績より、25日/月操業ミズ

	600t プラント			150t プラント		
	鉱量t/月	品 位		鉱量t/月	品 位	
		Cu	Fe		Cu	Fe
原 鉱	11,800	0.90	24.50	3,750	1.33	13.00
銅 精 鉱	553	17.00	31.50	275	17.00	31.50
鉄 精 鉱	2,900	0.11	60.90	-	0.11	60.90
尾 鉱	8,347	0.10	10.60	-	0.08	8.80
実 収 率		銅 88.5%			銅 93.5%	
		鉄 61%				

第2表ノ2 選 鉱 成 績 表

昭和30年度における実績より、25日/月操業ミズ

	600t プラント			150t プラント		
	鉱量t/月	品 位		鉱量t/月	品 位	
		Cu	Fe		Cu	Fe
原 鉱	13,200	0.60	21.70	2,750	1.48	10.90
銅 精 鉱	465	15.60	31.40	252	15.60	31.40
鉄 精 鉱	2,600	0.09	58.10	-	0.09	58.10
尾 鉱	10,235	0.05	9.70	-	0.05	7.70
実 収 率		銅 91.5%			銅 96%	
		鉄 53%				

第3表 ボール及び試薬消費量

数字はいずれも g/t を示す

	150t 関 係		600t 関 係	
	二次磨鉱計	630 543 1,173	ロッド ボール(二次磨鉱)	455 437 892
試 薬 起 泡 剤	磨 鉱 系	38	磨 鉱 系	21
	主 浮 選	32	主 浮 選	26
	計	70	計	47
捕 収 剤	磨 鉱 系	29	磨 鉱 系	11
	主 浮 選	24	主 浮 選	20
	計	53	計	31

第4表ノ1 150 t 関係主要粒度調べ例

種 サイ ズ	ボ ー ル ミ ル 給 鉱		ボ ー ル ミ ル 排 鉱		分 級 機 溢 流 (ユニットセル給鉱)	
	wt%	Σ	wt%	Σ	wt%	Σ
+ 15mm	10.05					
+ 10	23.56	33.61				
+ 6	10.16	43.77				
+ 6mesh	18.32	62.09				
+ 14	12.78	74.87	5.15			
+ 28	6.07	80.94	11.34	16.49	7.07	
+ 48	5.24	86.18	18.04	34.53	19.70	
+ 65			7.73	42.26	9.60	26.77
+ 100			8.25	50.51	5.05	41.42
+ 200	13.82	100.00	17.52	68.03	23.73	65.15
- 200			31.97	100.00	34.85	100.00

第4表ノ2 600 t 関係主要粒度調べ例

種 サイ ズ	ロッドミル給鉱		ロッドミル排鉱		20meshスクリー ン網上		20meshスクリー ン網下(ユニットセル給鉱)		浮 選 給 鉱	
	wt%	Σ	wt%	Σ	wt%	Σ	wt%	Σ	wt%	Σ
+ 6mm	50.24									
+ 3	8.95	59.19								
+ 28mesh	21.11	80.30	7.54		64.22		7.77			
+ 48	4.23	84.53	10.66	18.20	19.35	83.57	9.04	16.81	5.26	
+ 65			6.89	25.09	3.84	87.41	8.55	25.36	3.99	9.25
+ 100	4.22	88.75	16.67	41.76	4.94	92.35	12.81	38.17	18.71	27.96
+ 200			21.12	62.88	3.42	95.77	21.68	59.85	27.47	55.43
- 200	11.25	100.00	37.12	100.00	4.23	100.00	40.15	100.00	45.57	100.00

第5表ノ1 150 t ユニットセル浮選状況例

各データは1週間～1カ月の平均値

種 No.	給 鉱 (150t 原鉱)		精 鉱		尾 鉱 (二次磨鉱給鉱)	
	Cu%	Fe%	Cu%	Fe%	Cu%	Fe%
1	1.23	13.45	14.25	33.99	0.329	11.64
2	1.25	13.74	16.29	33.50	0.446	10.53
3	1.03	13.09	17.09	35.48	0.379	11.20
4	1.06	12.37	14.79	32.84	0.335	11.66
5	1.50	12.22	14.49	32.51	0.352	10.47
6	1.46	9.64	20.87	30.03	0.335	7.44
平 均	1.25	12.42	16.79	33.12	0.363	10.49
精鉱歩留		5.4%	銅実収率 (銅品位より計算)		72.5%	

第5表ノ2 600 t ユニットセル浮選状況例

各データは2～6日の平均値

種 No.	原 鉱		一次ユニットセル(ロッドミル前)				二次ユニットセル(ボールミル前)			
			精 鉱		尾 鉱 (片刃)		精 鉱		尾 鉱 (片刃)	
	Fe%	Cu%	Fe%	Cu%	Fe%	Cu%	Fe%	Cu%	Fe%	Cu%
1	21.57	0.844	28.07	14.14	20.07	0.410				
2	23.07	0.778	28.91	18.01	22.49	0.380				
3	21.33	0.906	28.73	18.96	20.25	0.433				
4	24.81	0.868	27.25	16.80	23.72	0.449				
5	18.54	0.663	29.86	15.75	18.34	0.442				
6	23.59	0.642	27.44	16.40	22.38	0.405				
11	20.29	0.893					28.96	20.72	14.34	0.432
12	21.70	0.770					26.99	14.03	21.28	0.475
13	24.34	0.678					30.82	22.00	18.05	0.400
14	22.76	0.770					25.82	15.93	21.23	0.416
15	24.34	0.847					29.82	12.06	17.45	0.480
16	23.46	0.755					30.34	21.82	19.34	0.424
1～6平均	22.15	0.78	28.38	16.68	21.21	0.42	28.79	17.76	18.61	0.44
11～16平均	22.81	0.78								

第6表 ロッドミル磨鉱状況試験例

パルプ濃度及び処理量の変動による磨鉱産物の粒度分布変化

濃 度	処理量 サイ ズ	21t/h		23t/h		25t/h		27t/h		29t/h	
		wt%	Σ	wt%	Σ	wt%	Σ	wt%	Σ	wt%	Σ
65%	-200mesh	36.45		29.60		28.33		26.76		25.20	
	+200	27.78	64.23	34.74	63.34	30.73	59.06	27.46	54.22	25.51	50.71
	+ 65	31.35	95.58	30.92	94.26	30.38	89.44	28.81	83.03	26.40	77.11
	+ 20	4.42	100.00	5.71	100.00	10.56	100.00	16.97	100.00	22.89	100.00
75%	-200	26.80		26.87		24.17		24.68		25.72	
	+200	32.05	58.85	31.21	58.08	33.57	57.74	28.71	53.39	24.28	50.60
	+ 65	35.67	94.52	33.52	91.60	30.62	88.36	32.88	86.27	28.40	79.00
	+ 20	5.48	100.00	8.40	100.00	11.64	100.00	13.73	100.00	21.00	100.00
85%	-200	20.02		27.42		28.60		24.88		25.28	
	+200	39.33	59.35	30.65	58.07	32.55	61.15	33.06	57.94	26.68	51.96
	+ 65	33.15	92.50	31.81	89.88	30.99	92.14	26.29	84.23	28.07	80.03
	+ 20	7.50	100.00	10.12	100.00	7.86	100.00	15.77	100.00	19.97	100.00

マの築堤材として使用されている。

7. 操 業 成 績

銅関係の選鉱成績表及び主要消費表を第2表及び第3表に示す。成績表は29年度の操業当初と最近とでは大分原鉱の状況も変化し、精鉱においても尾鉱においても相当変化が見られる故、参考までに両者を比較表示した。また処理量は月により操業日数に差があるため、比較上25日操業に換算して表示した。

第4表は磨鉱浮選系の主要部粒度分布表を示す。600 t 関係において浮選給鉱とあるのは、系統図において明らかなる如く二次磨鉱産物とF型分級機オーバーフローとの混合したもので主浮選機への給鉱である。

第5表はユニットセル関係の浮選状況である。第4表と第5表とより、異つた条件の下におけるユニットセルの浮選結果の概要を比較出来ると思う。なおそれぞれの浮選条件を比較すれば、

系 統	150t	600t 一次	600t 二次
台 数	3台	3台	2台
処理量 t/h	± 6	±20	±17
濃度, % 固体	± 5	±55	±45

これ等の結果は銅の単一浮選にユニットセルを前処理(予備処理)用として使用した場合、相当の成果を挙げていることを示している。この種の浮選機を

條 件: 給鉱の平均粒度

ロッド: 3½"φ×11'-6"

装入量: 約 25t

回転数: 18rpm

試験方法: 現場実操業

適度に使用し、かつ適当に配置することにより従来考えられて来たより遙かに少ない台数の浮選機によつて、同等の成果を得ることが出来るのではないと思われる。

第6表はロッドミルの磨鉱試験の一例を示したものである。現在の実操業は処理量は25t/h、排鉱濃度は75～80%である。濃度が85%或いはそれ以上になると排鉱が定常流でなく、断続的に多量がどつと流れ出すため、実際には操業に困難を来す。

本表に示した結果及びその他現在までに行つた種々の試験結果より見て、次の如き傾向が認められる。

- (1) 濃度が低い時に処理量の変動による産物粒度の変化が大きく現われる。
- (2) 処理量が少ない時に、濃度の変化により産物粒度が強く影響される。
- (3) 現在行つている20mesh磨鉱(−20mesh 90%)程度の操業においては、濃度は比較的高い方が安定した産物を得ることが出来る。

8. 1,000 t プラント計画

600 t プラント建設当時より予定されていた 1,000 t

プラントへの拡張工事計画は、600 t プラントの実操業1カ年余の実績より見て各所に改良を加え、すでに設計を完了し、明年(31年)4月に完成を期して目下工事を進めている。その系統図は第3図に示してある。改良及び追加される主なる箇所は次の通りである。

8.1 破 碎 系

破碎系においては一次クラッシャーとコーン・クラッシャーの間に二次クラッシャーを入れる。現在のクラッシャーは一次では400mm→100mmで破碎比は約4を示し、コーン・クラッシャーでは100mm→20mmで破碎比は約5を示している。しかし処理量は100 t/hでクラッシャーとしてはフルに働いている状況である。新計画では磨鉱系の負荷の軽減及び処理量の増加を計ると共に、各クラッシャーの安全率の増加を計るため、二次クラッシャーとして30'×15' ジョー・クラッシャーを挿入設置する。これによりミル給鉱粒度は必要により16mm程度まで細かくすることが出来ると思う。

8.2 磨 鉱 系

この系統は前にも述べた通り、当選鉱場の心臓部であるため慎重な試験の結果を総合して、相当大巾の改良を行う計画である。

- (1) ロッドミルの処理量増加のため、現在6'-6" 径のものを7' 径のものとした。ロッドミルは本プラントの特質の一つであつて、その磨鉱状況は前述の如く非常に良く、一次磨鉱用としては優れた結果を示している。

- (2) ロッドミル産物のフルイ分は現在ローヘッド・スクリーンによつて行つているけれど、網の交換及び機械の保持の点より考えて、これをエーキンス型分級機に代え分離粒度を現在の20meshより35meshに下げる計画である。

- (3) 一次クロケット磁選機の精鉱は現在グレンデル磁選機により精選しているが、これを

第3図 附 表

番号	機 械 名	台数	備 考
⑪	⑪と同じ	1	
⑫	⑫と同じ	1	
⑬	30'×15' ジョー・クラッシャー	1	50HPモーター
⑭	⑭と同じ	1	
⑮	⑮と同じ	1	
⑯	⑯と同じ	2	
⑰	⑰と同じ	2	
⑱	7'×12' ロッドミル 1台増設	2	250HPモーター
⑲	48'×15' エーキンス型	2	
⑳	#750 デンバー型	3×2	
㉑	MF-48型 クロケット	1	
㉒	MF-36型 クロケット (㉑と同じ)	1	
㉓	36'×15' エーキンス型	2	200HPモーター
㉔	8'×4' コニカルミル 1台増設	2	
㉕	㉔を移設	2	
㉖	#24 デンバー型	8	
㉗	MF-36型 クロケット	2	
㉘	#21 デンバー型	10×4	
㉙	㉙と同じ	2	
㉚	㉚と同じ	2	
㉛	#21 デンバー型	12×2	

第3図 1,000 t プラント拡張計画

系統図(昭和31年4月完成予定)

クロケット磁選機による精選に改良し、鉄精鉱中の銅の抱き込みを減少させ、確実に 0.1% Cu 以下とする。(試験の結果では、グレンダル磁選機による精選は鉄精鉱品位は上昇するけれど、銅の抱き込みは余り減少しない)

(4) 浮選系において給鉱中の磁鉄鉱がある程度以上(大体 15%Fe)になると、浮きが悪く泡立ちも悪くなる故、普通の浮選機に対しては 15%Fe 以下が望ましい。またボールミル産物をクロケット磁選機で処理するに当たり、精鉱中の銅の抱き込みを 0.1% Cu 以下にするためには、給鉱品位を 0.4%Cu 程度にすることが必要である。以上二つの理由により、二次ボールミル産物を主浮選系に送る前にユニットセル型 #24 浮選機で銅を粗選し、次にクロケット磁選機で鉄を回収し、主浮選系給鉱の銅品位を 0.4% 程度、鉄品位を 12% 程度に下げる計画である。

8.3 主浮選系及びその他

主浮選系は現在 16 槽×2 列のものを 10 槽×4 列とし、浮選尾鉱よりクロケット磁選機によつて鉄鉱を回収

する。更に再選用として 8 槽×2 列を増設し、最終尾鉱品位を 0.05% Cu 以下におさえる予定である。また精鉱品位の品質管理及び調整のために、各所より生産される銅精鉱を集めて再精選を行うことを目的として、総合精選機として 8 槽を新たに設置する。

9. 結 び

釜石鉱山は鉄山として知られており、最近まで鉄選工場が選鉱の主体であつて、銅選鉱はほんの副生産的なものとして考えられ、また見られて来た。しかし現在では銅は釜石鉱山における重要な主生産品であり、銅選鉱場は鉄部門に匹敵するものとなつている。

今回銅部門の概要を発表する機会を得たことは筆者の誠に幸いに思う所である。なお本文中にも述べた如く現在拡張工事中のため、今回は概要の報告にとどめ、くわしい報告は 1,000 t プラントの完成後に致し度いと考えている。

製 品 紹 介

古 河 の ソ リ ッ ド ボ ール

従来の鍛造ボールは鍛造ボールに比し耐磨耗性において遙かに優秀ではあるが、ただ破壊力に対してやや弱い欠点を持つていた。したがつてこうした特性によりコンカルミルは鍛造ボールを、マーシーミル、チューブミルには鍛造ボールを使うことが常識であるとされて来た。

そこで鍛造ボールの耐磨耗性を生かし、しかも強力な破壊力に耐え得るボールの出現が望まれていた。今回古河鉱業では「減らず、割れず、安い」ということに重点をおいた「ソリッドボール」を完成させた。

○特 徴

(1) 鍛造性の困難を承知で添加金属の工夫をこらしてあるので、磨耗率が非常に少なくなつてゐる。

(2) 硬度分布が平均しているので、磨耗速度に変化がなく、真円の形状を保ちつつ磨耗する。

(3) したがつて、ミル内のボールは大きさが裾長となり特に二次磨鉱に適する。

(4) 従来の遠心鍛造ボールのような中心巣がないので最後まで磨ボールが出ない。(写真右参照)

(5) 独特な製法で強靱性を持たせてあるので、どんなミルに使用し

ても割れない。

○化学成分

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%
3.20~0.70	0.20~0.30	0.08~0.15	0.08~0.15	0.08~0.15	1.2~1.8

深さ	表 面	5m/m	10m/m	15m/m	20m/m	25m/m	30m/m	40m/m	中 心
硬度	52	52	52	52	51	51	51	50	50

硬度差による磨耗比

硬 度	50	45	40	35
磨耗比	1.0	1.2	1.4	1.9

○物理的性質(写真参照)

破面は白鉄のように見えるが、クロムの炭化物が均一明瞭に出ているから他のテルドボールと比較する

○機械的性質

抗張力 45kg/mm²

硬度 HRC 50~52

(スチールボールは HRC 40~50)

硬度分布 (4" ボールの場合)

とその相異が分る。またクロムによる過度の硬化は特殊操作により是正し、その上組織を緻密にしてあるので割れる心配がなく、硬度も上記の通りスチールと差があるので磨耗量にも開きが出てくる。

○ボールのサイズ

現在 100mm, 90mm, 75mm, 60mm, 50mm を製作している。

(古河鉱業足尾製作所提供)