選鉱 10 年の歩みと 3M の関連性について*

正 会 員 齋 藤 平 吉**

Correlation between Progress in Milling Technique During the Past Ten Years and the 3Ms (Mining, Milling and Metallurgy)

Heikichi SAITO

1. Examples are cited of the striking progress made in various fields of the milling technical sphere of Japan during the past ten years and explanation given of the various aspects in milling technique that should be given further study for improvement.
2. Especially emphasis was placed upon the need to conduct further research on the still unsolved important problem of Cu-Zn separation in complex sulfide ores.
3. Correlation of the 3Ms (Mining, Milling and Metallurgy) as an illustration of which examples were cited of the contribution made by the inter-related progress of Mining and Milling, and, Milling and Metallurgy, respectively.
4. Unless Cu-Zn separation can be improved above its present confines by means of the recent advancement in milling technique, the desired results of beneficiation should be achieved thru a combination of Milling and Metallurgy.
5. Strong emphasis was placed upon the complete recovery of the mineral values from the overall standpoint, to be achieved by handling the products as Cu-Zn bulk concentrates in the milling operations and selecting the most appropriate methods adaptable to their respective characteristics at the central smelter, namely, (a) Fluo-Solid Roasting Process (b) Selective Sulphatization Process (Acid Lixiviation) (c) Selective Sulphatizing Roasting Process (Water Lixiviation)

1. 選 鉱 について

通商産業省から年々、鉱業の趨勢が発表され、昭和30年12月発表の“技術白書”(わが国鉱業技術の現状)の中に、選鉱界の動向が公表されており、また、東京大学の今泉先生が、“選鉱技術近年の発展と今後の問題点”と題して、昭和33年2月資源調査会第9回鉱物資源部会で、理論研究面・操業技術面から、極めて詳細に亘つて講演された時の内容が、“鉱山”昭和33年7月号誌上に掲載されているので、ここでは戦後新たに導入または普及した、諸機械設備類並びに技術などの説明は省略して、操業面にあらわれた 2~3 の問題について、簡単に所見を申し述べて見たい。

1.1 その進歩の顕著なる事例

これについて項目だけを並べて見ると：

- ①新破碎粉砕機類の出現
- ②重液選鉱法の実施
- ③湿式サイクロンの全面的有効利用
- ④全泥浮選法の実施、普及
- ⑤小規模の処理に対するトラック・ミルの採用

* 昭和33年11月12日受理 本会昭和33年秋季大会(北海道)特別講演会講演

** 工博，早稲田大学教授，第一理工学部 鉱山学教室

⑥浮選試薬の改良

⑦操業管理：計量管理，運転管理，一般管理等の改善

⑧選鉱廃石，廃滓の処理の合理化

⑨選別技術：各種精鉱品位の向上，硫化鉄精鉱中の含銅低下，複雑硫化鉄中の亜鉛の回収，磁硫鉄鉱の磁選回収，静電選別の一部適用，その他菱マンガン鉱，硫酸鉛鉱，重晶石，石膏等の回収

1.2 破碎機と粉砕機

第1表に示すように、一次破碎機として Blake Crusher，二次破碎機として Cone Crusher，粉砕機では Conical Ball Mill が断然多く使用されている。戦後導入されたものとしては Impact Crusher と，Gearless Gyratory Crusher がある。後者は最近 6~7 鉱山で極

第1表 破碎機と粉砕機

(日本鉱業協会資料“電力使用の現況”昭和32年4月)

(調査鉱山数 74)

破 碎 機	鉱山数	台数	粉 砕 機	鉱山数	台数
Blake Crusher	54	66	Conical Ball Mill	67	103
Gyratory Crusher	18	24	Rod Mill	3	3
Impact Crusher*	30	32	Tricon Mill	5	6
Cone Crusher	45	56	Tube Mill	17	20
Single Toggle Crusher	10	11	Tower Mill	1	1
そ の 他	省略	省略	そ の 他	省略	省略

* 内22台新設，改造工場 10台 (Cone Crusher 併用工場)

めて高性能のものとして推奨されている。Tricone Mill も戦後の導入機で、Tower Mill は純粹の国産粉碎機として漸次認識されつつある。

新しい機械は良さそうだと思うても、多年使い慣れた既設設備をもち、しかも平常運転をしている工場では、経済上余程有利な採算が確実でない限りは、新機変更の実現は極めてむずかしい。多くの場合、新機採用は、(1)

第2表 重選成績

(昭和32年度 日本鉱業協会 原単位成績資料)

鉱 山 名		取 扱 原 鉱 量 t/年	重 選 廃 石 量 t/年	重 選 対 原 鉱 石 量 原 鉱 %	原 鉱 の 完 全 分 析 从 来 (%) 脈 石 有 用 鉱 物	対 脈 石 廃 除 率 %	備 考	
白 依 々 田 老 田 老	滝 連 立 (Cu,Pb) (Zn,Sp) (Cu,Sp)	89,339	26,408	29.56	60	40	約50 比選 14.68%	
		174,911	41,754	23.87	53	47	45	
		463,262	98,848	18.09	61	39	30	
		110,705	19,966	15.51	66	34	24	
		43,231	7,795	18.03	62	38	30	
見 立		(Sn) (Zn)	35,772 3,386	8,016 682	22.00 20.00	55	45	40
土 足 高 新 細 小 尾 妙 紀 鷲 合 三 太 三 河	畑 尾 旭 木 倉 屋 法 州 森 良 川 州 山	167,771	40,007	23.85	90	10	27	
		289,464	44,136	15.25	90	10	17	
		43,248	3,869	8.90	85	15	10	
		75,316	9,688	12.90	83	17	15	
		263,954	41,183	15.50	72	28	20	
		167,417	51,191	30.58	81	19	38	
		126,869	33,792	26.64	65	35	40	
		234,044	68,261	29.17	78	22	37	
		33,275	10,653	32.02	68	32	47	
		30,430	4,055	13.33	71	29	19	
		59,794	12,264	20.54	88	12	23	
		104,557	28,098	27.00	36	64	7.5	
256,206	38,615	15.07	37	63	40			

第3表 原鉱中の全有価鉱物 (Cu, Pb, Zn, S,.....) 含有率概数

(完全分析値……日本鉱業協会資料)

番号	鉱山或は 選鉱場名	含有有価鉱種	全有価 鉱物含 有率	番号	鉱山或は 選鉱場名	含有有価鉱種	全有価 鉱物含 有率
1	横 久	Cu, Sp	33%	③	高 旭	Cu, Sp	15%
2	久 喜	Cu (含 Sp)	22	35	合 合	Cu, Sp	17
3	新 宮	Cu, Sp	64	36	合 合	Cu, Sp	32
4	大 別	Cu, Sp	27	37	合 合	Cu, Sp	29
5	別 佐	Cu, Sp	47	38	合 合	Cu, Pb, Zn	20
6	白 子	Cu, Sp	40	39	合 合	Cu, Sp	17
7	五 連	Cu, Sp	43	40	合 合	Cu, Sp	17
8	飯 盛	Cu, Sp	49	41	合 合	Cu, Sp	21
9	久 盛	Cu, Sp	35	42	合 合	Zn, Cu	17
10	峯 根	Cu, Zn, Sp	34	43	合 合	Cu, Zn, Sp	32
11	日 沢	Cu, Zn, Sp	39	44	合 合	Cu, Sp	14
12	田 立	Cu, Sp	38	45	合 合	Pb, Zn	16
13	日 老	Cu, Pb, Zn, Sp	34	46	合 合	Pb, Zn, Sp	48
14	田 老	Cu, Sp	56	47	合 合	Pb, Zn, Sp	38
15	秩 父	Cu, Pb, Zn, Sp	56	48	合 合	Pb, Zn, Sp	25
16	見 立	(Sn)	46	49	合 合	Sp	42
17	見 立	Pb, Zn	44	50	合 合	Cu, Sp	58
18	鹿 間	Pb, Zn, C	17	51	合 合	Pb, Zn	64
19	鹿 洞	Pb, Zn, C	17	52	合 合	Pb, Zn, Sp	46
20	野 輪	Cu, Zn, Sp	36	53	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	40
21	花 岡	Cu, Zn, Sp	54	54	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	29
22	花 岡	Cu, Zn, Pb, Sp	53	55	合 合	Pb, Zn	19
23	花 岡	Cu, Zn, Pb, Sp	43	56	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	31
24	花 岡	Cu, Sp	62	57	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	12
25	上 北	Cu, Sp	46	58	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	28
26	上 北	Sp	63	59	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	19
27	富 小	Cu, Sp	15	60	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	27
28	井 山	Cu, Sp	11	61	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	24
29	土 煙	Cu, Sp	10	62	合 合	Cu, Pb, Zn, Sp	22
30	足 尾	Cu, Sp	10	63	合 合	Cu, Sp	35
31	古 河	Cu, Sp	16	64	合 合	Cu, Sp	17
32	八 宮	Cu, Sp	12	65	合 合	Pb, Zn	23
33	宮 田	Cu, Sp	16	66	合 合	Cu, Zn	18
				67	合 合	Cu, Sn	18
				68	合 合	Pb, Zn	21
				69	合 合	Cu, Sp	63

番号の○印は、重選実施工場

寿命の来た場合(余りに非能率のもの)、(2) 選鉱工場の拡張、(3) 選鉱工場の新設、などの場合に限られるよう
で、欧米の状況を見てもそうである。

Gearless Gyratory, Impact 等の新鋭破砕機, Rod Mill, Tricon Mill, Tower Mill 等の最新粉碎機につい
ては、使い慣れるとともに、十二分にその実態調査並び
に研究を行い、他鉱山における採否の判断に資する事が
出来るよう各方面の協力を望むものである。

1.3 重液選鉱の普及性

第2表に掲げたように、重液選鉱を採用しているのは
含銅硫化鉄鉱床系 5 (同系全部の $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{4}$)、接触鉄床系
1、鉄脈系 13 (同系全部の $\frac{1}{4}$)、合計19工場である。

重選廃石量は対粗鉱最高30%余、最低10%、平均20%
余。含有する全母岩脈石量に対する廃除率は最高50%、
最低10%、平均35%となっている。

第3表は、67選鉱場の原鉱中の全有価鉱物の含有率で
あるが、まだまだ重選の普及性があるように見受けられ
る。もちろんその実現性も、新機械採否の場合と同じよ
うな条件に支配される。一時狂勢だつた重選熱が、最近
さめたように見受けられるが、重選適応性を再吟味し、
他日に備える事は肝要と思われる。重選採用には割合建
設費がかかるので、大量処理の工場には有利だが、小規
模工場でも廃除率の多い鉄脈系などで、粒度の範囲がさ
らに拡大するようにでもなれば、充分採算がとれるので

はないかと思われる。

1.4 夢に見る選鉱系統 (Dream Flow Sheet) (第1図参照)

前述の今泉先生の講演で指摘され
た諸問題などから、私の脳夢に浮ん
でくるのは、再び現場員になり、む
ずかしい鉱種と取組んで、新たに設
計に当面したとしての夢である。

(1) 1次スライム (Primary or Natural Slime):—これは、日
本鉱業会選鉱専門委員会並びに浮選
研究会などで、詳しく調査研究され
た問題であるが、ここでは先ず1次
スライムを分離し、本系統と別に浮
選にかけバルク精鉱をとる。

Gearless Gyratory Crusher とか
Impact Crusher などを用いる場合
は、その破砕回路が湿式でやれるの
で、Dustless, Noiseless 等の効果
も期待し得るかと思われる。

(2) 重液選鉱:—前に申し述
べた通り、早期に出来る限り多量の
脈石母岩類を廃除するために用い

第1図 夢の選鉱系統

優秀機	機 能
Gearless Gyrotory Impact	Dustless Noiseless 洗 選
Rod Mill Tricon Mill Ball Mill	脈石分選
Denver Sub A	サイクロン
Attrition Machine Tower Mill Tube Mill	過粉砕防止 早期浮選 早期粗粒分離
	鉱粒表面清浄 単体分離

私は合理化操業によつて、全鉱利の経済的完全回収をはかり、鉱業経営の安全自立を念願するもので、ここに色々身近かに見聞した事例を挙げて、3M (Mining, Milling, Metallurgy) の関連性を強調する次第である。これについては、独り金属鉱業における、採鉱—選鉱—製錬の関係のみならず、石灰石鉱業における採石—破碎(洗選・粒別)—セメント工場・化学工場・製鉄所その他石灰炭鉱業における採炭—選炭—市場の関係にも、変つた形において適用できるものとして、この道に携さられる各位にも、お聞きと願えれば幸いである。

る。

(3) 過粉碎防止：——早期粗粒有価鉱物の回収を目的として、ユニット・セルを磨鉱回路に挿入する(ユニット・セルを2段階直列に配置し、第1段でとれたバルク精鉱を第2段で精選するのも効果的と思われる)。ユニット・セルは、私も朝鮮時代、複雑硫化金鉱の浮選工場で大変よい成績を取めた経験がある。

(4) Attrition Machine と2次粉碎：——以上、1次スライム系からのバルク精鉱、分級機溢流系統すなわち本浮選系からのバルク精鉱、ユニット・セル出のバルク精鉱、この3者の合計精鉱量は、原鉱量に比し著しく縮少され、その後の処理容量は激減される。この混合精鉱鉱粒の表面を、充分清浄化するために、Attrition Machine を用い、また、単体分離にはその必要に応じて、2次粉碎に適当な Tube Mill とか Tower Mill の如きものを選択する。

(5) 混合精鉱から巧妙なる優先選別：——目的とするところは、製錬上最も好ましいそれぞれの有価鉱物への分離である。或いは銅—亜鉛混合精鉱が、製錬原鉱として望まれる場合など、浮選も著しく楽になる事もあり得る。これは2鉱種以下の場合には簡単で、3鉱種以上が特に問題である。最近の帰朝者の報告によれば、Rammelsberg の選鉱工場では、銅・鉛・亜鉛・硫化・重晶石(いわゆる黒鉛)を処理し、冶金方法とコンビネーションを重視して、優先浮選を行い、銅—鉛の混合精鉱を特殊な方法で処理し、極めて良い成績を取めている由である。

以上掲げた諸項目のほかに、サイクロンの全面活用という事も忘れる事は出来ない。

2. 3 M の関連性

2.1 採鉱部門の進歩合理化が選鉱に寄与した事例

(1) 採掘方式の改善による出鉱品位の維持並びに向上：——例えば、シュリンケージ採掘に代つて充填採掘の採用、スライム充填による下向階段掘の適用、加背の縮少によるズリ混入の減少等による。

(2) Strip Stopping (Stripping)：——小型優秀岩機などの出現により、細脈掘り技術が著しく向上し、ズリの混入が減少。

(3) 粗鉱粒度の減少：——M. S 雷管のような発破技術の進歩向上によつて、採掘鉱石の減径となり、選鉱工場の破碎作業を容易にした。

(4) 採掘から出鉱までの流れ作業方式：——“量”—“質”—“運搬”等一連の流れ作業管理の合理化による、出鉱量、出鉱品位などの均衡化に留意し、その結果ミル操業が円滑になり、選鉱成績が常に予定通りに期待し得るようになる。下川鉱山の如きはその例である。

(5) 重液選鉱の廃石並びに浮選廃滓の坑内充填：——浮選廃滓の坑内充填の成功、普及によつて、沈澱池、堆積場等の容積に余裕を生じ、管理面、経営面に著しい貢献をしている。重選廃石の始末も選鉱としてはその廃棄が厄介なものであるが、多くの場合坑内の坑道に敷くとか、事業地内はもちろん地方に分与して、道路等の建設整備に大いに役立っている。

(6) 坑内へ破碎機の設置：——運搬上の制約から、坑内で破碎する事によつて、必然的に選鉱原鉱の粒度の縮少均一化となり、選鉱場の破碎が楽になり、また大きな鉄片の混入などの懸念なども少なくなる。

(7) 採鉱技術者の協力：——採鉱技術者の最大の協力者たる採鉱技術者の努力によつて、出鉱品位の調節、鉱質の変化に関する情報提供が行われ、選鉱操業が楽になる。

2・2 選鉱の進歩が採鉱部門に貢献した事例

「鉱石中の有価鉱物はなんでも手ざわよく選別する“なんでもござれの体制”にある」と、申し度いのであるが、私は“未だし”と謙虚にならざるを得ない。これは前述の“選鉱技術進歩の顕著なる事例”並びに、後述の“選鉱成績向上の事例”などを全般的に観察しての事である。

2・3 選鉱の進歩が冶金に貢献した事例

(1) 選鉱成績の向上：—— ① 銅精鉱品位の向上（製錬所へ高品位銅鉱の供給）：第4表に主要65鉱山についての調査結果（昭和32年度）を掲げる。

第4表 銅精鉱の品位

（昭和32年度、主要鉱山65の調査結果）

精 鉱 総 量 (t)	315,946 (概数 316,000)
銅 品 位 (%)	19.6 (概数 20)
含 有 銅 量 (t)	62,051 (概数 62,100)

銅 品 位	25% 以上	20%	15%	10%	10% 以下	合 計
鉱 山 数	15	15	21	8	6	65

ここで一寸注目すべきは、含銅硫化系（大久喜・土倉・飯盛・槇峯・下川等）は、銅採収率90%、銅精鉱品位 6~14%、富鉱比6~8、硫化精鉱中の銅品位 0.4 内外の成績を示すものが多いのに対し、原鉱中の銅品位 0.3% 内外の低品位を処理して、銅採収率50%内外、銅精鉱品位 6~20%、富鉱比50~70、硫化精鉱中の銅品位 0.1% 以下という成績を上げているところ（上北、太良、舟打、田老、秩父）もあることである。すなわち、銅品位を上げようとすれば採収率悪く、硫化の含銅高、一方売鉱費減となり、硫化中の含銅を下げようとすれば、銅精鉱品位が下る。何れにせよ品位の上昇で、含銅量 40% 前後（カラミ）、20~30%（銅精鉱）に達するものがある。

② 浮選硫化精鉱中の含銅低下（脱銅）：第5表に示すような成績になつている。

③ 複雑硫化鉱（Cu, Pb, Zn, Sp 等）から亜鉛を回収し、亜鉛製錬所の原料確保に寄与している（後述3）。

④ 各種精鉱品位の向上：例えば、鉛精鉱、亜鉛精鉱、マンガング精鉱（大江その他）、硫酸鉛鉱（尾去沢）などが

第5表 硫化精鉱中の含銅

	鉱 山 数	硫化精鉱量 (t)	硫化精鉱中の含銅量 (t)	銅 品 位 (%)
昭和28年度	34	603,090	1,600	0.27
昭和32年度	44	940,000	2,000	0.22

硫化精鉱中の銅品位	昭和28年度				昭和32年度			
	鉱山数	硫化精鉱量	精鉱比率	含銅分布率	鉱山数	硫化精鉱量	精鉱比率	含銅分布率
0.4 以上 %	12	106,148 t	17.7%	33%	8	104,200 t	10%	24.0%
0.3~0.4	8	163,070	27.0	35	6	72,400	8	13.5
0.2~0.3	6	60,498	10.0	8	11	298,500	32	35.0
0.1~0.2	7	261,753	43.6	23	14	413,900	44	27.0
0.1 以下	1	8,675	1.7	1	5	49,200	6	1.5
計	34	600,144	100.0	100	44	938,200	100	100.0

その例として挙げられる。

(2) 熔鉱炉カラミより浮選による銅の回収（尾去沢鉱山）：——尾去沢鉱山では、先般まで、熔鉱炉カラミを浮選にかけて、カラミ中の銅を回収していた。（現在休止中）

(3) 転炉カラミから浮選による銅の回収（日立鉱山）：——日立鉱山では、昭和33年春から酸素製錬を開始しているが、この場合、転炉カラミを徐冷して全泥浮選にかけ、銅分は精鉱として回収、残渣すなわち尾鉱は、製鉄原料とする事に成功した。従来の繰返しのカラミ量は激減すると同時に、全カラミ量の約 $\frac{3}{4}$ が全部製鉄原料となり、一石二鳥の効果を挙げたもので、この場合の浮選の適用は、もつとも重要な役割を果している。その成績の一例を示すと第6表のようになる。

第6表 日立鉱山、酸素製錬転炉カラミ浮選成績の一例

	鉱 量 (t/月)	品 位			
		Au g/t	Ag g/t	Cu %	Fe %
処理カラミ	4,500	1.7	39	4.0	46.08
銅 精 鉱	1,125	6.5	150	15.1	35.50
鉄 精 鉱	3,285	0.1	2	0.3	49.91
溢流, 廃棄	90	0.1	2	0.2	-

	採 収 率 (%)				
	量	Au	Ag	Cu	Fe
銅 精 鉱	25	95.6	96.2	94.4	19.3
鉄 精 鉱	73	4.3	3.7	5.5	79.1
溢流, 廃棄	2	0.1	0.1	0.1	1.6

銅 精 鉱 の 一 例		重量 %	銅品位%	採収率%
No. 1	ユニット・セル精鉱	41	29	70.0
1	次 精 鉱	23	14	20.0
No. 2	ユニット・セル精鉱	3	9	1.8
2	次 精 鉱	33	2	4.3

なお、次項の含亜鉛—銅精鉱中の亜鉛と関連するが、日立自山銅精鉱中にも若干の亜鉛が含まれており、また方々から集まる銅精鉱の多くは、やはり亜鉛を含んでいるが、これらの亜鉛はほとんど Slag off されている。転炉カラミから製鉄原料がとれると申し述べたが、鉱石中の亜鉛を事前に除く事が出来れば、更に高品位の鉄鉱石となり得るわけである。

(4) 亜鉛製錬残渣から磁力選鉱によつて金、銀、銅

回収（三日市製錬所）：——三日市製錬所は“抵抗電熱式亜鉛蒸溜法”を採用している。同所の取扱鉱石は、日鉱関係から出るものが多いが、たとえば豊羽鉱は亜鉛精鉱中 250g/t 内外の銀、複雑硫化鉱出の亜鉛精鉱は大抵金、銀、銅を若干含んでいるので、これらが残渣中に残る。この残渣を磁選機にかけると、磁性物の方に金、銀、銅が回収される。

(5) 青化製錬への選鉱技術の導入:

これは別に珍らしい事ではないが、いわゆる全泥一本ヤリの当時に比較して好成績を収めている。たとえば、①串木野：銀黒鉱の浮選併用、②持越：Mineral Jig の挿入青化尾鉱廃棄前の浮選、③大谷：Placer Jig, Mineral Jig による粗粒金の回収、④高玉：ミル液洗浄による手選。

2・4 冶金の進歩が選鉱に貢献した事例

(1) 小坂製錬所における流動焙焼法¹⁾:

銅-亜鉛混合硫化精鉱を流動焙焼により、銅-亜鉛両者の硫酸化に成功、これらを湿式製錬電解法によって回収している。黒鉛の場合、銅-亜鉛の分離が極端に困難であったが、浮選による混合精鉱の採取は極めて良成績なる上、上述の新しい製錬法の出現によつて、漸く日の目を見たわけで、選鉱側としては重荷が下りた事例である。

(2) 直島製錬所における銅反射炉カラミの揮発製錬²⁾: 亜鉛資源の完全回収という見地からは、極めて賞讃に値するものであるが、カラミ中の亜鉛の品位如何によつて(いわゆる採算品位、稼行品位)、揮発製錬法の成否が決るわけで、製錬側、選鉱側両者の充分なる諒解がその鍵となる事と思う。

以上、最近の実例を述べたに過ぎないが、これにより、大方、“3Mの関連性”の重要性が認識されたと思う。

3. 複雑硫化鉱処理に関する私見

私は、日本鉱業協会誌、昭和30年6月号で、“選鉱が製錬か”の題下に、黒鉱並びに銅-亜鉛を共存する複雑硫化鉱は、その銅と亜鉛との分離は極めて困難なこと、“いわゆる含亜鉛-銅精鉱”の生産が年々漸増の傾向にある事を指摘した。

昭和32年度の該当鉱山27について見ると、浮選原鉱総量2,210,532t、銅(品位:1.12%,含有量:24,734t)、亜鉛(品位:2.36%,含有量:52,201t)。これからの精鉱総量118,027t、銅(品位:18.4%,含有量:21,711t)、亜鉛(品位:11.9%,含有量:14,085t)、採取率(精鉱量率:5.3%,銅:87.8%,亜鉛:27.0%)となる。この銅精鉱中に含まれている亜鉛の総量は、28年度約10,700tに対し、32年度は14,000t、30%の増加で、その中の45% 6,000t以上の亜鉛はほとんど未回収の状況にある。

一方選鉱面を見ると、“苦心惨憺”の有様で、昭和25~26年(その頃から各山とも亜鉛精鉱の分離をはじめた。

第7表 含亜鉛-銅精鉱の生産推移(昭和28~32年)

年度	鉱山数	精鉱量(t)	銅		亜鉛		
			品位(%)	含有量(t)	品位(%)	含有量(t)	分布率(%)
昭和28	(生野・明延山) (花 17 鉱 山)	79,056 (24,279) (25,135) (29,642)	16.90	12,772 (4,753) (2,538) (5,481)	13.53	10,693 (3,713) (3,697) (3,283)	100.0 (34.7) (34.5) (30.8)
		85,002 (24,372) (28,659) (31,471)	16.61	14,119 (5,017) (2,923) (6,179)	12.92	10,980 (3,799) (3,929) (3,252)	100.0 (34.6) (35.8) (29.6)
29	(生野・明延山) (花 15 鉱 山)	94,341 (24,804) (30,753) (38,784)	16.20 20.43 (9.70) 18.70	15,333 (5,079) (2,990) (7,263)	12.50 (15.30) (13.70) (9.80)	11,813 (3,801) (4,216) (3,796)	100.0 (32.2) (35.7) (32.1)
		122,621 (25,228) (33,085) (64,308)	15.50 (20.70) (8.80) 18.10	19,760 (5,220) (2,915) (11,625)	10.30 (14.10) (10.80) 8.45	12,606 (3,556) (3,585) (5,465)	100.0 (29.0) (29.0) (42.0)
30	(生野・明延山) (花 18 鉱 山)	118,027 (24,134) (32,214) (61,679)	18.40 (21.48) (8.20) 22.52	21,711 (5,185) (2,636) (13,890)	11.90 (13.86) (14.40) 10.60	14,085 (3,345) (4,532) (6,208)	100.0 (23.3) (32.4) (44.3)

それまでは全くの混合精鉱。)からの成績を見ると、漸次向上はしているものの、“或る限度”に近づいているように思われる。選鉱関係者一同の努力により、解決の日の近からんことを期待する次第である。

3・1 含亜鉛-銅精鉱

(1) 含亜鉛-銅精鉱最近5カ年間の生産推移(第7表参照)

(2) 含亜鉛-銅精鉱(昭和32年度)の吟味(第8表第2図参照)

銅精鉱、亜鉛精鉱への亜鉛採取分布は、黒鉱、含銅硫化鉄鉱では、銅精鉱へ35~50%、亜鉛精鉱へ50%。鉄脈型のものでは、銅精鉱へ10~40%、亜鉛精鉱へ65~85%。一方 Zn/Cu 比から見ると、銅精鉱では1以下が多く、亜鉛精鉱は50以上に達するものが多い。これから見ると、銅精鉱中では、銅、亜鉛両硫化物は極めて緻密な共生状態にあり、単体分離が不十分で、単体分離し易かつた部分が亜鉛精鉱となつていると思われる。与内畑鉱についての、東北大、竹内研究室の実験成績³⁾などからも、この点極めて明瞭である。すなわち、単体分離度の難易

第2図 原鉱中のZn/Cuと亜鉛採取率との関係

第8表 昭和32年度、含亜鉛-銅精鉱生産内訳

鉱山名	鉱床型	鉱種	浮選方式	浮選原鉱			含亜鉛銅精鉱		同左採取率(%)		含亜鉛銅精鉱		同左採取率(%)	
				Cu %	Zn %	Zn, Cu	Cu %	Zn %	Cu	Zn	Cu %	Zn %	Cu	Zn
1 陸奥(日)	脈	Cu, Zn	直接優先	1.85	3.39	1.83	24.06	2.91	93.99	6.22	0.94	55.26	2.45	75.60
2 見立(日)	〃	Cu, Zn	〃	2.02	3.22	1.59	27.40	4.91	94.46	10.66	1.10	53.81	2.67	81.85
3 高都	〃	Cu, Zn	〃	0.74	2.50	3.38	20.59	14.69	83.90	17.70	1.93	52.63	9.10	73.30
4 佐都	〃	Cu, Zn	〃	0.57	5.72	10.00	14.26	17.81	84.36	11.41	0.66	47.78	9.42	73.60
5 立尾	〃	Cu, Zn	〃	1.57	2.35	1.50	26.70	6.20	93.77	14.43	3.34	53.11	5.00	53.27
6 立尾	〃	Cu, Zn, Sp	〃	1.66	0.77	0.46	25.20	7.19	95.21	58.78	3.35	44.98	18.19	13.40
7 立尾	〃	Cu, Zn, Sp	総合優先	1.29	1.45	1.12	16.77	9.86	92.69	48.55	2.71	46.43	2.76	42.00
8 立尾	〃	Cu, Pb, Zn	〃	1.21	5.28	4.36	8.83	15.74	66.33	27.03	2.13	52.51	10.72	60.31
9 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	1.62	7.62	4.70	22.99	14.60	75.90	10.20	0.99	54.56	6.40	75.20
10 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	0.53	8.31	15.70	17.25	17.27	73.60	4.94	0.85	53.43	19.10	78.36
11 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	0.17	5.77	33.90	21.63	7.39	43.46	0.45	0.82	55.12	41.72	83.92
12 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	0.28	5.81	20.80	19.32	0.66	66.10	1.18	0.64	57.21	20.41	88.33
13 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	0.74	7.42	10.00	21.71	13.15	82.86	15.02	0.65	56.59	9.64	84.95
14 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	0.88	1.68	1.90	23.40	6.78	87.90	13.30	0.91	56.36	2.40	77.60
15 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	1.24	3.34	2.69	26.58	6.50	92.22	8.40	0.62	59.29	2.34	83.75
16 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	0.95	4.39	4.60	20.74	7.15	84.29	6.03	1.21	56.81	8.82	89.70
17 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	1.91	1.70	0.89	26.01	8.63	92.70	34.61	1.43	53.86	1.28	54.25
18 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sn	〃	1.33	2.76	2.08	21.72	10.04	88.20	19.60	1.54	53.03	4.23	70.20
19 立尾	〃	Cu, Pb, Zn, Sp	〃	1.08	2.51	2.32	21.08	17.54	86.66	30.95	2.00	53.01	5.18	58.86
20 立尾	〃	Sp, As (Sn)	〃	0.19	3.81	20.00	13.89	9.60	60.60	2.08	0.53	48.36	20.10	91.48
21 立尾	〃	Cu, Zn, Sp	直接優先	0.82	0.86	1.05	22.27	8.77	87.80	33.10	1.40	50.12	1.50	50.40
22 立尾	〃	Cu, Zn, Sp	〃	1.13	0.73	0.65	18.75	6.35	91.52	47.87	1.70	50.06	0.90	40.79
23 立尾	〃	Cu, Zn, Sp	総合優先	0.25	6.01	24.00	5.54	17.01	35.63	4.50	0.51	51.43	19.65	81.99
24 立尾	〃	Cu, Zn, Sp	直接優先	1.38	3.66	2.65	13.76	14.29	84.95	33.25	1.93	48.84	5.55	52.95
25 立尾	〃	Cu, Zn, Sp	〃	0.80	1.69	2.10	12.25	12.05	80.90	37.60	2.43	49.66	5.30	51.20
26 立尾	〃	Cu, Zn, Sp	総合優先	0.99	0.46	0.47	18.67	7.86	89.86	81.43	4.08	50.46	0.26	7.03
27 立尾	〃(黒鉱)	Cu, Zn, Pb, Sp	〃	1.80	6.00	3.33	-	-	-	-	-	-	-	-
	〃(黄鉄)	Cu, Zn, Pb, Sp	〃	1.72	2.29	1.33	-	-	-	-	-	-	-	-

が大きな原因であるのと、現行の多くの分離法では、銅亜鉛浮遊度が接近して、その幅が極めて狭い事も関係があると思われる。

高品位亜鉛鉱(原鉱中 Zn/Cu の大なるもの)中の閃亜鉛鉱は、低品位のそれより浮遊し易いようで、この点も、竹内教授は与内畑鉱で、高低両閃亜鉛鉱には鉱物学的に種々異なる性質があると指摘されている。また、昭和32年の国際選鉱会議中の論文⁹⁾に、原鉱中の有価成分の比率が、後の選鉱成績に大きな影響を与えることが指摘されており、この比率自体が、かなり重要な意味を持つ事は、重大な関心が抱かれる問題である。

3.2 含亜鉛-銅精鉱“新処理法”の提案

新しい処理法を提案するに当って、その成功を万人が認めている小坂の流動焙焼法と比較する意図は毛頭ない。東北大、選研彙報、7巻、1・2号に、“複雑硫化鉱処理の研究”が発表されているが、この方法は“選択硫酸化-浮選法”と称されるもので、第3図に掲げたような系統図である。選択硫酸化の基礎実験によると、①閃亜鉛鉱または鉄閃亜鉛鉱、方鉛鉱、磁鉄鉱などは硫酸と反応する。②黄銅鉱、黄鉄鉱はほとんど反応しない。

このように閃亜鉛鉱のみが(方鉛鉱も硫酸化されるが不溶である)硫酸亜鉛となり、これを電解法で処理する。残滓中には黄銅鉱、黄鉄鉱、硫酸鉛などがあるので、これらを優先浮選で分離するわけである。

また、昭和25~26年頃、小坂鉱業所の実験室において“複雑硫化の選択硫酸化反応”について、約1カ年実験されている。その結果を総合すると、①精粉の亜鉛品位は25%以上のものが経済的に有利である。②硫酸濃度は60%(重量)。③鉱石対60%硫酸の比率は1:1が望ましい。

④精粉の粒度は150mesh以下を要する。⑤反応温度は130~150°C位で充分である。⑥反応時間は所要温度に達してより約1時間を要する(ただし、最初の30分位で大部分は溶解する)となる。

(1) 含亜鉛-銅精鉱に“選択硫酸化法(Selective Sulphatization Process)”の適用[Acid Lixiviation]

：——前述のように、その基礎実験が確立しているので、選鉱で充分精選した“混合精鉱”(とくに銅に主眼をおいた)、たとえば Cu 20%, Zn 10% を含むと、精鉱中黄銅鉱がほぼ 58%, 閃亜鉛鉱が15%, 計 73% (前掲32年度表中24鉱山の合計品位に近いものを取った)になる。こういった共存鉱物も夾雑物も少ない精鉱をこの方法で処理する。すなわち、第4図に示すように、亜鉛電解の設備だけで済むわけである。

この方法は、小坂のように流動焙焼法で立派な成績を挙げている所には問題ないが、この種の鉱石が沢山集まるいわゆる中央製錬所の性格を有する銅乾式製錬所などで、一考に値するものと思われる。また、亜鉛電解工場

第3図 選択硫酸化-浮選法系統図

第9表 黄銅鉱の焙焼と浸出試験

Minerals	Heating Conditions		Halting Point in °C, One Hour for Constant Temp.	Lixiviation of Cu in %				Lixiviation of Fe in %			
	Kinds of Roasting	Heating Rate °C/min		Soluble	Acid Soluble	Insoluble	Total	Soluble	Acid Soluble	Insoluble	Total
Chalcopyrite	Oxidizing Roast	2	550	87.90	10.85	1.05	99.80	11.25	21.18	69.05	99.48
Chalcopyrite	5% SO ₂ Roasting	2	600	99.20	0.35	0.15	99.70	48.30	16.95	44.50	100.75
Equivalent Mixture of Cu ₂ S : FeS : FeS ₂	Oxidizing Roast	2	550	95.00	0.60	0.70	96.30	11.20	15.50	75.90	102.60
Cupriferous pyrite	Oxidizing Roast	2	550	94.80	1.20	3.60	99.60	9.10	14.00	76.90	100.00
Cupriferous pyrite	5% SO ₂ Roasting	2	550	98.10	tr	1.55	99.55	14.90	14.20	70.75	99.85

Analysis of Cupriferous Pyrite: Cu 8.33%, Fe 41.16%, S 47.45%, SiO₂ 2.5%, Total 99.44%

第10表 閃亜鉛鉱の焙焼と浸出試験

Mineral	Kinds of Roasting	Heating at gradually and then constant temperature					
		Temp. °C	Duration of constant heating in Min.	Lixiviation of Zn in %			
				Soluble	Acid Soluble	Insoluble	Total
Zincblende	Oxidizing Roast	600	150	3.50	14.75	81.25	99.50
Zincblende	Oxidizing Roast	650	150	6.20	56.20	37.80	100.20
Zincblende	Oxidizing Roast	700	150	7.45	87.25	4.90	99.60
Zincblende	Oxidizing Roast	750	150	0.50	96.20	2.55	99.25
Zincblende	5% SO ₂ Roasting	600	150	11.10	4.35	84.30	99.75

第4図 亜鉛-銅混合精鉱の選択硫酸化焙焼系統図

の共存しているような所、または新たにならぬの方法でこの種の鉱石を取扱う計画のある場合などである。

(2) 混合精鉱の“選択硫酸化焙焼 (Selective Sulphatizing Roast)” [Water Lixiviation]: ——これは、私の提案する第2の方法で、銅亜-鉛混合鉱物を“酸化焙焼”する場合、黄銅鉱と閃亜鉛鉱の酸化の始まる温度には、相当の開きがあるのに着目し、私はほぼ35年前に“熱天秤による硫化鉱その他の焙焼”について、いささか研究した事があり、それ以来今日までのこの種の焙焼問題、加熱変化などには常に深い関心を持っている。

昭和26~27年頃から、色々の資料で、小坂鉱山が多年苦勞に苦勞を重ねても、選鉱技術だけでは解決出来なかつた“黒鉱石”を選鉱により銅-亜鉛混合精鉱とし、これを流動焙焼法による湿式製錬によつて解決し得たと

知つて、心から喜んだ。そして、自分の35年前のデータ“Thermo-balance Analysis Diagram*”をふりかえつて見ると、黄銅鉱と閃亜鉛鉱のそれは第5図、第6図のようになつてゐる。この図で判るように、黄銅鉱は350°C辺から増量変化となり、540~550°Cで極大点に達し、それからほとんど減量となる。閃亜鉛鉱は、600°C位まではほとんど酸化を受けない。黄銅鉱は550°C辺でCuSO₄生成が極大値に達する。このような特性が判つたので、つぎに焙焼並びに浸出の試験をおこない、第9、10表に示すような結果を得た。

こんな事から、私は第7図に示すような方法を提案したい。この場合も東北大学並びに小坂の研究同様、最適の条件確立のため、更に研究すべき点が多いと思う。

この含亜鉛-銅精鉱の取扱ひについて、卒直な意見として、たとえば三つの中央製錬所を引合に出す事をお許

第5図 黄銅鉱のTBA曲線

第6図 閃亜鉛鉱のTBA曲線

* “熱天秤による硫化鉱の焙焼に関する研究”，日本鉱業会大正14年(1925)7月5日大会講演 “The thermo-balance analysis of the change in various compounds heated in different gases”, Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., Series I, Vol. 16, No. 1 (1927).

し願つて申し上げれば、小坂付近で産出する含亜鉛-銅精鉱は、なるべく小坂の製錬所に集めて流動焙焼法で処理する事がもつとも望ましい。つぎに、日立のような自社鉱（日立の自山鉱，社内各山よりの買鉱石）で，この含亜鉛-銅精鉱が相当量集る所では，①流動焙焼法，②揮発法，③選択硫酸化法，④選択硫酸化焙焼法，の何れかの方法を採用して，亜鉛の完全回収をはかりたい。こうすれば，前述酸素製錬転炉カラミ産の鉄鉱石は，高品位となり，市場価値が高まるだけでなく，これらの精鉱を産出する数々の山の選鉱が楽になり採算面にも利するところが大きいと予想される。

昭和33年5月，日本鉱業協会現場担当者会議での明延鉱業所の“銅-亜鉛の優先浮選について”の報告によれば，銅精鉱の銅品位2.70%上昇，亜鉛2.90%低下に成功したという。今後さらに成績が上るであろうと期待するが，この例を見ても銅・亜鉛分離には並々ならぬ苦心をされている事が判る。他の選鉱場の立場も，全く明延と同様である。直島では関係鉱山の含亜鉛-銅精鉱の亜鉛除去が漸次よくなり亜鉛の品位がある限界に達すると，揮発法の稼行限度を割るような事態がおこらぬとも限らない。これでは亜鉛を下げようとする選鉱の努力と矛盾する。含亜鉛の低下は，揮発法の点からばかりでなく，亜鉛の製錬までひびいて来るわけである。直島には亜鉛電解工場があつて銅電解工場がない。日立には，銅電解工場があつて亜鉛電解工場がない。したがって，直島には選択硫酸化法，日立には選択硫酸化焙焼法が思い浮かぶ次第である。

これが“選鉱-製錬”総合経営上の一例としての“私見”である。なんとかしてこの難問題解決の企業的前進を希望するのみである。

(3) 含亜鉛-銅精鉱に対する“塩化法(Chlorination)”の適用：—35年前を想起しての選択硫酸化焙焼法とは極端に対照的な，近來発達した“塩化冶金法”が，この含亜鉛-銅精鉱に適用出来るかどうかという事である。

昨年国際選鉱会議において，H. Hohn 氏(オーストリア)が，“Investigation on chlorination of non-ferrous metal ores”と題して，①冶金学的，化学的鉄石処理法②鉄石塩化の問題と可能性，③金属酸化物及び金属硫化物の塩化に関する法則，④硫化物を塩化する方法，⑤塩化による複雑な錫鉱の濃縮，⑥酸化物塩化の方法等について，その研究と所見とを発表し，その結論として，“古典的な製錬技術による酸化物冶金学の決定的な点は，高品位の鉄石を必要とし，分離が悪く，製錬のために高温度を要し，得られた金属の純度が悪いなどの点である。化学工業法は，この垣根をつきぬけた湿式冶金学，電気化学，アマルガメーションで，貧鉄や複雑鉄を処理し得

第7図

亜鉛-銅混合精
鉱の選択硫黄酸
化焙焼系統図

ると同様に，新性質あるいは少なくとも改良された性質をもつ金属の製造を可能にした。近來発達した鉄石の化学的処理方法は塩化冶金法である。各種鉄石構成物が，①塩素に対して異なる親和力を持ち，②それら塩化物の揮発性が異なり，③かつ水溶性が異なり，そして④酸化に対する抵抗が各々異なっているという事などから，塩化冶金学が確立され得る”と述べている。

この塩化法が銅-亜鉛混合精鉱に適用できるか？

日本でも，10数年来，硫化鉄物の直接電解法に関する諸研究論文が発表されているが，これらの前段の反応は塩化法である。当今，鉱業界での硫化鉄の問題，肥料工業の硫安の問題は極めて深刻な状態におかれている。黄鉄鉱の塩化法の如きは，極めて興味ある問題で，優良なる鉄鉱(Fe₂O₃)と硫黄とを回収するが如き，その研究が順調に進んでいる所もあり，これの企業化に成功する様な事があれば，ストック上の難をまぬがれるばかりでなく，安い硫酸原料ともなり，鉄山-肥料両業界の理解ある協調の下に，“世界一安価な硫安”の供給とでもなれば，両界当面の難局打開の一助ともなろうと考える次第である。

結 語

以上，“選鉱10年の歩みと3Mの関連性”と題し，「選鉱技術戦後の歩み」，「夢の選鉱系統」，「3Mの関連性」，「複雑鉄物処理の一知見」等を申し上げたが，要するに“温古知新”と“乾湿両存”の必要性を強調して，鉱業経営者の御参考に供した次第である。各鉄山会社のお名前研究成績などの引用に当り，あらかじめ御承認を得なかつたところもあるが，お許しを願ひ度い。

終りに，本稿は早稲田大学原田種臣講師の速記によるもので御好意に深謝する。

文 献

- 1) 角田資敏：“小坂鉱業所の銅亜鉛混合精鉱の湿式製錬法”，日鉱誌，Vol. 72, No. 822 (1956) pp. 681~686.
- 2) 荒金正：“直島製錬所の銅製錬”，日鉱誌，Vol. 72, No. 822(1956) pp. 713~719.
- 3) 竹内常彦・権藤一徳：“与内畑鉄山産黒鉄々石の処理に関する研究(1)(2)”，東北大選研集報，Vol. 8, No. 2 (1952)，pp. 237: Vol. 9, No. 1 (1953) pp. 49.
- 4) Mc Quiston: “Flotation of Complex Copper-Lead-Zinc Ores.”, 1957 年 国際選鉱会議論文集