豊羽鉱石の鉱脈別選鉱特性について

玉 井 英 晴*・佐々木 幸 雄*

Processing Properties of Ores from Each Vein at Toyoha Mine

Hideharu TAMAI and Yukio SASAKI

1. 緒 言

豊羽選鉱場は現在40,000t/月の処理を行い、鉛精鉱及び亜鉛精鉱を生産している。

豊羽鉱石中の鉱石鉱物は方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱を主とし、銀、インジウム、錫、銅、アンチモン、タングステン及びコバルト等の鉱物を微量含んでいる。

近年の採鉱の成果により採掘対象鉱脈数が増加し、選鉱処理原鉱中に占める各鉱脈の出鉱割合が変化している。各鉱脈が、それぞれ特徴的な鉱物組合せを有することから、出鉱割合の変化に伴い、選鉱処理原鉱中の鉱石鉱物の種類や量も変化してきている。

このような状況をふまえて、各鉱脈の鉱石について種々の調査・試験を実施してきたが、今回は各種鉱石鉱物の存在状態（鉱物の種類、含有量、共生状態等）、選鉱分離性等、選鉱処理の立場からみた豊羽鉱石の鉱脈別特徴について、これまでに得られている知見をとりまとめた。

2. 豊羽鉱山の地質・鉱床

2.1 地 質

豊羽鉱山付近の地質は新第三系中新統であり、下位より玄武岩及び石英安山岩からなる小柳沢層、礫岩・砂岩・泥岩の互層からなる本山層、及び変質安山岩を主とする長門層に区分される。

小柳沢層、本山層及び長門層はいずれも鉱床の母岩となっている。

2.2 鉱 床

豊羽鉱床は浅熱水性裂か充填型鉱床 NW-SE 方向 3 km, NE-SW 方向 1.2 km の範囲に50数条の鉱脈が分布し、その主要なものは第1図に示すとおりである。

鉱化作用は7段階の主要なステージに分けられ、各鉱脈は多重の鉱化作用を受けているが、このうち銀・鉛・

亜鉛の主要晶出時期は第Ⅰ期と第Ⅳ期である。北西部～中央部の利尻鍾、礼文鍾、第1～第3筑後鍾、但馬鍾等の鉱脈は主として第Ⅰ期の鉱化作用を受け（以下前期脈と呼ぶ）、東部～南東部の宗谷鍾、空知鍾、出雲鍾等の鉱脈は主として第Ⅳ期の鉱化作用を受けた（以下後期脈と呼ぶ）と考えられている。¹⁾

2.3 鉱石鉱物

前期脈及び後期脈の鉱石に含有される鉱石鉱物は第1表に示すとおりであり、前期脈と後期脈では下記の主要な差異が認められる。

- (1) 銀鉱物の種類（前期脈は輝銀鉱が主体であり、後期脈は硫塩銀鉱物が主体である）。
- (2) インジウム・錫の含有量（後期脈に多く、前期脈に少い）。
- (3) 閃亜鉛鉱中の鉄含有量（後期脈に多く、前期脈に少い）。

なお、前期脈あるいは後期脈に分類される各鉱脈に含有される鉱石鉱物の含有量は必ずしも一様でなく、また同一鉱脈内においても偏りがある。主要鉱脈の特徴は第2表に示すとおりである。

3. 最近の鉱脈別出鉱割合と

選鉱処理原鉱品位の推移

3.1 鉱脈別出鉱割合の推移

最近10年間の第2表に示す鉱脈グループ別出鉱割合は第2図に示すとおりであり、顕著な変化がみられる。主要な変化を列挙すると下記のとおりである。

- (1) 前期脈/後期脈比率が6/4から4/6に逆転した。
- (2) 空知鍾・出雲鍾の出鉱が開始、その後逐次出鉱量が増加し現在では全体の30%を占めるに至っている。
- (3) 礼文系の出鉱が開始された。
- (4) 上記の新規鉱脈からの出鉱に伴い、従来全体の過半を占めていた但馬系の出鉱割合が減少した。

3.2 選鉱処理原鉱品位の推移

第1表及び第2表に示したとおり前期脈と後期脈では

* 豊羽鉱山側選鉱課
昭和61年4月28日受理

第1図 豊羽鉾山鉾脈分布図

含有する鉾石鉾物の種類が異なり、また前期脈あるいは後期脈の中でも鉾脈により鉾石鉾物の含有量が異なる。したがって、鉾脈別出鉾割合が大きく変化すれば当然ながら選鉾処理原鉾の品位も変化する。

最近10年間の選鉾処理原鉾品位の推移を第3図に示す。鉾脈別出鉾割合を対照しながら選鉾処理原鉾品位の変化

をみると下記が観察される。

- (1) 銀：空知鉾及び礼文系の 高品位鉾脈の出鉾割合増加を反映し、上昇傾向にある。
- (2) インジウム及び錫：空知鉾及び出雲鉾の出鉾量増加に伴い、インジウム・錫とも品位が上昇している。錫品位の上昇が特に顕著であるが、空知鉾の中でも特に高

第1表 豊羽鉾山に産する主要鉾石鉾物

	前 期 脈	後 期 脈
鉛	方鉛鉾	方鉛鉾
亜 鉛	閃亜鉛鉾	閃亜鉛鉾
鉄	黄鉄鉾，赤鉄鉾，磁鉄鉾，磁硫鉄鉾	黄鉄鉾，白鉄鉾，磁流鉄鉾
銀	輝銀鉾，自然銀，エレクトラム	銀四面銅鉾，濃紅銀鉾，ダイアフォライトその他多種類の硫塩銀鉾物
インジウム		含インジウム黄錫鉾，亜鉛—インジウム鉾物（鉾物名未詳）
錫		錫石，黄錫鉾，含銀錫鉾物
銅	黄銅鉾	黄銅鉾，四面銅鉾

第2表 鉱脈別鉱石鉱物含有量の特徴

鉱脈グループ	鉱脈名	特徴
前期脈	礼文系 利尻鍾 第1～2礼文鍾	銀含有量が多い。
	筑後系 第1～3筑後鍾	筑後鍾には局部的に銀の富鉱部がある。 但馬鍾上部には局部的に銅の富鉱部がある（昭和30年台に採掘済）。
	但馬系 但馬鍾 若狭鍾 播磨鍾	
後期脈	宗谷系 宗谷鍾 宗谷分岐鍾	後期脈の中ではインジウム・錫の含有量が少ない。
	空知系 空知鍾	銀・インジウム・錫含有量が多い。
	出雲系 出雲鍾	インジウム・錫・黄鉄鉱含有量が多い。 鉛の含有量が少い。 下部に塊状の銅富鉱部がある。

第2図 鉱脈別出鉱割合の推移

品位の部分を採掘した結果と考えられる。

- (3) 鉛及び黄鉄鉱：鉛品位が低く、黄鉄鉱の含有量の多い出雲鍾の出鉱割合に密接に連動している。
- (4) 亜鉛：若干上昇傾向にある。鉱脈別出鉱割合との相関は顕著ではない。
- (5) 銅：顕著な変化はないが、将来出雲鍾の富鉱部の出鉱に伴い上昇することが予想される。

4. 鉱脈別選鉱特性

近年の鉱脈別出鉱割合の変化に伴って選鉱処理原鉱品位が変化していることは前述のとおりであるが、鉱石鉱物の量ばかりでなく鉱物の種類・共生状態も変化している。従来からの稼行対象の銀、鉛及び亜鉛の回収成績改善の指針を得るため、及び、現在稼行対象ではないイン

第3図 選鉱処理原鉱品位の推移

ジウム、錫及び銅の微量有価金属を精鉱として回収することの可能性を究明するために、各鉱脈の鉱石について実施した調査・試験の結果を以下にまとめる。

4.1 鉛・亜鉛

8 鉱脈（前期脈 5，後期脈 3）の 14 試料について第 4 図に示す鉛-亜鉛直接優先浮選の小試験を行い，鉛浮選における Pb/Zn 及び Pb/s，亜鉛浮選における Zn/S の Gaudin の選択度指数を計算した結果を第 3 表に示す。鉛浮選及び亜鉛浮選における亜鉛及び黄鉄鉱の浮選挙動には前期脈の試料と後期脈の試料の間に顕著な差がある。鉛浮選において鉛の浮遊性は各試料ともほぼ同様であるのに対し，亜鉛の浮遊性は前期脈の方が顕著に大きく，黄鉄鉱もバラツキがあるが平均すれば前期脈の方が浮遊性が高い。すなわち，鉛浮選においては前期脈の鉱石より後期脈の鉱石の方が Pb-(Zn・Py) の分離が良好であり，試料の Pb/Zn・Py 品位比率が小さいにもかかわらず高品位の鉛精鉱を採取できる。一方，亜鉛浮選における Zn・Py 分離性については平均すれば前期脈の方が良

好である。その原因として前期脈よりも後期脈の方が閃亜鉛鉱と黄鉄鉱の結合が緻密であることがあげられる。以上の結果から後期脈の出鉱割合が増大の場合には鉛浮選を縮小し亜鉛浮選を増強すべきであるという指針が得られた。

つぎに前期脈と後期脈の主要な差異の一つである閃亜鉛鉱中の鉄の含有量についての調査結果にふれる。

5 鉱脈（前期脈 2，後期脈 3）の鉱石から浮選小試験にて採取した亜鉛精鉱及び現場にて採取した亜鉛粗選フロスを Isodynamic Separator で選別した結果を第 4 表に示す。閃亜鉛鉱の磁性は鉄含有量に比例して大きくなる。前期脈と後期脈を比較すると両者とも 9,000 Gauss で磁着するものから 15,000 Gauss でも磁着しないものまで閃亜鉛鉱中の鉄含有量は広い範囲に分布するが，後期脈の方が磁着率が大きく閃亜鉛鉱中の平均鉄含有量は明らかに後期脈の方が大である。

閃亜鉛鉱の鉄含有量と浮遊性の関連については，亜鉛粗選の区別フロスの調査において 1～10 区では若干の逆相関は認められるが明らかではない。しかしながら，11～16 区フロスは 1～10 区と比べて顕著な差が認められ磁着物・非磁着物とも格段に鉄含有量が多い。M 2～M 3 の低位の磁着物についても鉄含有量が多いことは，肉眼観察で閃亜鉛鉱が黒っぽいことから確認できるが，磁性の弱い黄鉄鉱と片刃であるために M 1 に回収されなかったものと考えられる。以上の結果から，閃亜鉛鉱の鉄

第 4 図 鉱脈別浮選小試験系統図

第 3 表 鉱脈別浮選試験の原鉱品位及び選択度指数

			原 鉱 品 位			原 鉱 品 位 比 率			選 択 度 指 数		
			Pb %	Zn %	S %	Pb/Zn	Pb/S	Zn/S	Pb/Zn	Pb/S	Zn/S
前 期 脈	利 尻		2.43	6.03	4.22	0.4	0.6	1.4	6.6	8.3	8.6
	礼 文 1		24.86	25.02	4.74	1.0	5.2	5.3	5.6	6.8	6.1
	礼 文 2		2.55	7.66	6.58	0.3	0.4	1.2	6.4	7.7	16.1
	筑 後 1		8.52	15.47	6.14	0.6	1.4	2.5	11.0	8.4	4.5
	筑 後 2		2.47	4.95	12.79	0.5	0.2	0.4	5.2	5.4	8.0
	但 馬 1		3.69	9.28	3.57	0.4	1.0	2.6	9.2	7.3	3.5
	但 馬 2		2.21	6.85	5.89	0.3	0.4	1.2	7.7	6.9	4.8
	播 磨		2.82	7.06	14.52	0.4	0.2	0.5	12.6	10.5	9.2
	平 均		6.19	10.29	7.31	0.6	0.8	1.4	8.0	7.7	7.6
後 期 脈	宗 谷 1		1.82	10.47	9.22	0.2	0.2	1.1	33.9	20.2	4.9
	宗 谷 2		1.99	11.99	6.99	0.2	0.3	1.7	15.6	14.2	5.1
	空 知 1		0.34	3.94	28.58	0.1	0.0	0.1	15.2	7.6	3.9
	空 知 2		7.98	49.96	3.71	0.2	2.1	13.5	32.1	13.9	5.5
	空 知 3		2.00	9.07	5.91	0.2	0.3	1.5	12.9	6.8	4.4
	出 雲		1.10	32.36	21.30	0.0	0.1	1.5	11.5	5.8	2.2
	平 均		2.54	19.63	12.62	0.1	0.2	1.6	20.2	11.4	4.3

備考 S 欄は Pyrite-S（計算値）を示す。

第4表 亜鉛精鉱の磁力選別試験結果

供 試 料			原 鉱 品 位 (%)			ZnS 中の Fe 含有量 (%)					亜 鉛 磁 着 率 (%)				
			Zn	S	Fe	F	M1	M2	M3	NM	F	M1	M2	M3	NM
鉱脈別 亜鉛精鉱 (小試験)	前期脈	礼文 但馬	59.02	32.33	3.73	2.3	5.9	3.1	2.4	0.3	100	7.7	34.3	24.4	33.5
			46.69	27.26	4.88	3.1	6.8	3.8	3.0	0.9	100	13.2	32.8	23.1	30.9
	後期脈	宗谷 空知 出雲	59.11	31.74	4.20	3.9	5.3	3.9	2.9	0.4	100	17.2	67.7	9.8	5.3
			60.63	32.31	3.88	3.4	6.5	3.8	2.6	0.2	100	17.0	49.9	13.3	19.8
			61.40	32.53	3.64	3.2	5.8	3.4	2.8	0.4	100	14.7	42.9	26.8	15.6
亜鉛粗選 (現場)	1-3区	フロス	56.32	31.21	4.45	3.1	4.1	3.5	3.1	0.2	100	54.5	8.6	15.0	21.8
	4-6区	フロス	54.55	31.51	5.53	3.3	4.9	2.9	2.4	0.8	100	52.3	8.5	11.0	28.2
	7-10区	フロス	51.52	30.54	6.16	3.9	5.1	3.3	3.1	2.1	100	50.6	9.4	13.9	26.0
	11-16区	フロス	16.70	33.19	23.63	12.6	17.2	7.2	5.8	11.1	100	41.9	11.1	20.1	26.9

含有量は5%以下では浮遊性に与える影響は小さく、7%程度以上になると浮遊性は急激に低下するものと推定される。

なお、当社探査課の調査結果では、前期脈及び後期脈の閃亜鉛鉱中のFeS含有量は各々3.2mol%(Fe 1.8%), 6.7mol%(Fe 3.9%)としており、Zn(Fe)Sの含有量が90%の亜鉛精鉱の場合亜鉛品位は前期脈で58.6%後期で56.7%となり、後期脈の鉱石については亜鉛精鉱品位を上昇させていくといえる。

4.2 銀

豊羽鉱石は銀含有量が多く生産品収入の重要な要素を占める。第3図に示したとおり、最近10年間に選鉱処理原鉱中の銀含有量は100 g/t から160 g/t に増加しており、銀の回収成績改善の必要性はますます増大している。このような状況のもとに、従来より銀回収改善に向けて多大の努力がなされており、銀鉱物の存在状態及び浮選挙動についてはかなりの部分が解明されている。

(1) 銀鉱物の存在状態

豊羽鉱石中の銀鉱物は多種多様であるが、主要なものは輝銀鉱、濃紅銀鉱及び銀四面銅鉱である。このうち輝

第5表 主要銀鉱物の産状

銀 鉱 物 名	主要共生鉱物	粒径(μ)		精 鉱 中 の 存 在 状 態
輝 銀 鉱	Py>Sp>Gn	5~100	鉛 精 鉱	単体が主体。 輝銀鉱主体の片刃(相手鉱物はPyが多く、Sp, Gnもある。)も相当量ある。
			亜鉛精鉱	Spとの片刃が主体。 単体及びPyとの片刃もある。
			硫化鉄精鉱	Py主体の片刃。
濃 紅 銀 鉱	Gn>Sp>Py	<3~50	鉛 精 鉱	Gn中にドット状に含まれているものが大部分。 まれに単体がある。
			亜鉛精鉱	Sp中にドット状に含まれているもの及びSpと片刃のGn中にドット状に含まれているものがある。
			硫化鉄精鉱	Py中にドット状に含まれる。
銀四面銅鉱	Sp>Cp>Gn>Py	10~50	鉛 精 鉱	単体が多い。 Sp, Cpあるいは両者との片刃及びGn中にドット状に含まれているものもある。
			亜鉛精鉱	Sp中のCpの周辺に含まれる。
			硫化鉄精鉱	Py主体の片刃。

備考 記号の説明 Gn: 方鉛鉱, Sp: 閃亜鉛鉱, Py: 黄鉄鉱, Cp: 黄銅鉱

銀鉱は前期脈の鉱石に含有され、他の2種は後期脈の鉱石に含有される²⁾。上記3種類の銀鉱物について光学顕微鏡により観察される産状は第5表に示すとおりである。精鉱中に観察される銀鉱物は、単体の場合輝銀鉱の一部が亜鉛精鉱にみられる他は鉛精鉱にのみみられ、独立に挙動する単体銀産物の浮遊性は大きいと予想される。しかしながら、各銀鉱物の粒径は全般的に小さく（特に濃紅銀鉱は80%以上が10 μ 以下の微粒である）、片刃として存在するものが多く、共生鉱物の影響を強く受ける。また各銀鉱物の共生鉱物は顕著に異なり、鉱石中に含有される銀全体の浮選挙動はきわめて複雑なものとなっている。

なお、光学顕微鏡では1~3 μ 程度の粒径が銀鉱物を同定できる限界であるが、亜鉛精鉱の場合化学分析による銀含有量の20~30%に相当する銀鉱物を同定できにすぎない。そこでEPMAにより詳細な検討を行った結果、光学顕微鏡では銀鉱物を見い出せない閃亜鉛鉱であっても非常に細かいSb系、Sn系及びIn系の含銀硫酸鉱物が分布しているものがあることを確認している。

(2) 鉱脈別銀鉱物の浮選挙動

前期脈と後期脈の各5試料について、前述の第4図の系統で浮選試験を行った結果を第6表に示す。鉛浮選の銀採収率をみると、前期脈と後期脈で鉛精鉱の採収率は大きく異なるが、粗選では前期脈の方が著しく多く浮遊し精選では後期脈の方が採収率が高い。前期脈では黄鉄鉱が多く濃集する鉛精選尾鉱(Pb-M)に多くの銀が分布し、後期脈では亜鉛精鉱に多くの銀が分布するというように、前期脈と後期脈で銀鉱物の浮選挙動は顕著に異なる。

原鉱、鉛精鉱及び亜鉛精鉱中の銀がすべて方鉛鉱、閃

亜鉛鉱及び黄鉄鉱に均一濃度で付随するものと仮定して、Pb, Zn, Py-S 各々について1%当りの銀随伴量を算出すると第6表の右欄のようになる。原鉱銀品位の差異を考慮すると、前期脈は後期脈と比べてPbに付随する銀量は少なく、Znに付随する銀量は同様、Py-Sに付随する銀量は多い。これは前期脈と後期脈で銀鉱物の主要共生鉱物が異なる（前者は黄鉄鉱が多く、後者は方鉛鉱が多い）ためと考えられる。

つぎに鉛精選尾鉱(Pb-M)及び亜鉛精選尾鉱(Zn-M)について、Pb, Zn, Py-S品位に第6表右欄の仮定値を適用して算定した銀品位計算値と実際の銀品位分析値の比較表を第7表に示す。Pb-M, Zn-Mともに品位はPb<Zn<Py-Sであり、Pb:Zn:Py-Sの品位比率も類似しているのであるが、前期脈の場合Pb-Mについてはほぼ分析値と計算値が等しいがZn-Mは明らかに分析値の方が計算値よりも低いのに対し、後期脈の場合Pb-M, Zn-Mともに±10%の誤差の範囲で分析値と計算値が一致している。これは、前期脈の銀鉱物は独立の挙動をとるものが相当量存在しZn-MよりもPb-Mに多く分布すること、及び、後期脈の銀鉱物は独立の挙動をとるものが少なく大部分がPb, Zn, Py-Sに従属の挙動をとることを示唆している。

(3) 銀鉱物の選鉱分離性

鉱山の収入面からみると、銀を鉛精鉱に回収するのが最善で、次いで亜鉛精鉱に回収するのが望ましい。現状の選鉱操業では鉛精鉱と亜鉛精鉱合わせて、前期脈の輝銀鉱を60~65%、後期脈の硫酸銀鉱物を約90%採取していると推定される。また鉛精鉱と亜鉛精鉱の銀の配分は選鉱処理原鉱のPb/Zn品位比率の影響を強く受けてい

第6表 鉱脈別浮選試験の銀採収状況

		原 鉱 Ag (g/t)	分 布 率 (%)						Pb, Zn, Py-S に付随の Ag(g/t/%) <仮定値>		
			F	Pb-C	Pb-M	Zn-C	Zn-M	T	Ag/Pb	Ag/Zn	Ag/S
前 期 脈	利 尻 A	131	100	24.0	57.3	12.0	2.1	4.6	12.8	6.2	14.9
	利 尻 B	535	100	10.8	66.1	6.1	7.8	9.2	19.9	33.1	37.8
	礼 文	72	100	20.1	65.0	4.4	4.4	6.1	4.4	1.7	7.2
	筑 後	601	100	26.5	66.1	1.0	1.1	5.3	51.0	5.4	35.1
	但 馬	277	100	27.6	68.0	2.3	0.5	1.6	28.6	0.5	35.7
	平 均	323	100	21.8	64.5	5.2	3.2	5.3	23.3	9.4	26.1
後 期 脈	宗 谷	80	100	27.3	26.1	40.9	2.0	3.7	11.3	4.0	1.5
	空 知A	88	100	40.5	18.7	34.6	2.0	4.2	19.2	4.6	1.4
	空 知B	1,778	100	19.8	17.5	43.7	5.5	13.5	756.2	81.4	1.5
	空 知C	2,223	100	21.3	29.8	39.6	4.6	4.7	122.3	32.5	19.6
	出 雲	134	100	10.0	25.6	41.3	21.0	2.1	17.6	2.8	1.2
	平 均	861	100	23.8	23.5	40.0	7.0	5.7	185.3	25.1	5.0

第7表 銀の浮選挙動の独立性検討資料

			原 鉱 Ag (g/t)	銀 品 位 比 較 (g/t)					
				分 析 値 < 1 >		計 算 値 < 2 >		< 1 > / < 2 >	
				Pb-M	Zn-M	Pb-M	Zn-M	Pb-M	Zn-M
前 期 脈	利 尻 A	131	407	38	401	47	1.01	0.81	
	利 尻 B	535	1,510	314	1,316	652	1.15	0.48	
	礼 文	72	212	40	200	45	1.06	0.89	
	筑 後	601	1,110	126	1,153	149	0.96	0.85	
	但 馬	277	895	35	871	51	1.03	0.69	
	平 均	323	827	111	788	189	1.05	0.59	
後 期 脈	宗 谷	80	93	16	99	16	0.94	1.00	
	空 知 A	88	76	20	82	22	0.93	0.91	
	空 知 B	1,778	2,796	670	2,648	671	1.06	1.00	
	空 知 C	2,223	2,253	1,151	2,221	1,097	1.01	1.05	
	出 雲	134	76	162	83	149	0.92	1.09	
	平 均	861	1,059	404	1,027	391	1.03	1.03	

る。

現在選鉱処理原鉱中の銀のうち70%を占める後期脈の硫塩銀鉱物については、前期脈の輝銀鉱と比べて採収成績が良好であるが下記理由から今後の改善の余地は少い。

- (i) 単体及び片刃であっても 20 μ 程度以上の銀鉱物はほとんどすべてが鉛精鉱に回収されている。
- (ii) 亜鉛精鉱及び硫化精鉱中のものは大部分が独立に挙動しない微粒である。
- (iii) Pb-Zn-Py 分離を完全に行い得れば銀採収率を 1.5% 上昇させられると考えられるが、相当の困難が予想される。一方、前期脈の輝銀鉱については選鉱原鉱中の銀の 30% を占め、その 1/3 の 10% が硫化鉄精鉱及び廃石に分布するが、輝銀鉱は独立に挙動するものが相当量であると推定されることから硫化鉄精鉱及び廃石中の輝銀鉱について存在状態の調査・回収手段の探索等検討の余地があると考えられる。

4.3 微量有価金属

第3図に示すとおり、空知鍾及び出雲鍾の出鉱量増加

に伴い選鉱処理原鉱中のインジウム・錫含有量が増加していること、近い将来出雲鍾の銅富鉱部が採掘される予定であることを鑑み、インジウム・錫・銅について検討した結果を以下にまとめた。

4.3.1 インジウム

(1) 鉱床内の分布及び選鉱処理原鉱品位の推移

インジウム鉱物の主要晶出時期は第IV期の鉱化作用と考えられており、前期脈の鉱石には 10~60 g/t 程度の含有量であるのに対し、後期脈の鉱石には数 100 g/t が含有される。特に空知鍾及び出雲鍾の含有量が多く、局部的には 1,000 g/t 以上の富鉱部がある⁹⁾。

第2図及び第3図に示したとおり、空知鍾及び出雲鍾の出鉱割合の増加に伴い選鉱処理原鉱のインジウム含有量は増加し昭和57年のピーク時には 100 g/t 以上の品位となった。

(2) 含インジウム鉱物の鉱石中の存在状態⁹⁾

空知鍾及び出雲鍾の試料から採収した亜鉛精鉱について光学顕微鏡及び EPMA により含インジウム黄錫鉱及

第5図 含インジウム鉱物の一例

第8表 浮選工程における微量有価金属の分布率

	品 位 (g/t, %)					採 収 率 (%)			
	In	Zn	In/Zn	Sn	Cu	In	Zn	Sn	Cu
原 鉱	110	8.15	13.5	0.045	0.04	100.0	100.0	100.0	100.0
鉛 精 鉱	40	3.66	10.9	0.061	0.22	1.0	1.3	3.5	11.2
亜鉛精鉱	790	57.72	13.7	0.122	0.34	96.6	96.1	36.2	83.9
硫化鉄精鉱	30	0.46	65.2	0.026	0.03	2.4	0.5	4.3	4.9
廃 石	<10	0.23		0.033	<0.01		2.1	56.0	

備考 Sn: 昭和58年度実績 他: 昭和57年度実績

び桜井鉱様の亜鉛—インジウム鉱物の存在を確認している。両者とも閃亜鉛鉱と密接に共生しており、含インジウム鉱物は閃亜鉛鉱中に固溶体状にあるいは非常に微細($<1\mu$)な鉱物の集合体として存在する。含インジウム鉱物を含む閃亜鉛鉱の一例を第5図に示す。電子顕微鏡像には閃亜鉛鉱中に縞模様が観察され、EPMAのX線像と照合すると縞部が生地部と比べてインジウム濃度が高いことがわかる。閃亜鉛鉱中のインジウム含有量は検出されないものから数%のものまで様々である。

(3) 浮選挙動及び選鉱分離性

浮選工程におけるインジウムの挙動は鉱石中の含インジウム鉱物の存在状態から推測されるとおり、亜鉛とはほぼ同様であり大部分が亜鉛精鉱に回収される。浮選操業におけるインジウムの分布率の一例として昭和57年度実績を第8表に示す。

含インジウム鉱物が単体鉱粒として存在せず、閃亜鉛鉱中にきわめて微細な粒子として存在することから、通常の選鉱分離手段では高品位のインジウム精鉱を採取することはきわめて困難であるといえる。各精鉱中のIn/Zn品位比が異なることから閃亜鉛鉱の浮遊性がインジウム含有量によって影響を受けると考えられることに着目し、浮選により亜鉛精鉱中のインジウムを濃縮することを試みたが1.2倍に濃縮できる可能性を見出したにすぎない³⁾。

4.3.2 錫

(1) 鉱床内の分布及び選鉱処理原鉱品位の推移

錫鉱物の主要晶出時期はインジウムと同様第Ⅳ期の鉱化作用と考えられており、後期脈の鉱石に多い。特に空知鍾及び出雲鍾の含有量が多く、局部的には0.5%を超える富鉱部がある⁹⁾。

第3図に示したとおり、空知鍾及び出雲鍾の出鉱割合の増加に伴い選鉱処理原鉱中の錫含有量は増加し、昭和58年～59年は富鉱部を採掘したため特に多くなっている。

(2) 錫鉱物

錫石が主体で黄錫鉱及び含錫銀鉱物が少量存在し、いずれも閃亜鉛鉱と密接に共生している。特に錫石以外は

閃亜鉛鉱中に微粒の集合として存在するものが大部分である。

(3) 浮選工程における分布

第8表に示す昭和58年度実績をみると、分布率は廃石>亜鉛精鉱>硫化鉄精鉱=鉛精鉱であり、品位は亜鉛精鉱>鉛精鉱>廃石>硫化鉄精鉱である。この分布状態は錫鉱物が閃亜鉛鉱と密接に共生していることにより亜鉛精鉱に多く分布し、閃亜鉛精鉱と単体分離した錫石(通常の硫化物浮選条件では難浮遊性)が廃石に分布、単体分離した黄錫鉱(易浮遊性)が鉛精鉱に分布するものと解釈できる。

(4) 浮選廃石からの錫精鉱採取試験

黄錫鉱及び閃亜鉛鉱中に包有される錫石については選鉱分離が困難であることから、浮選廃石中の錫石に的をしぼり、これを比重分離することを試みた。分級・テーブル・脱硫浮選・脱鉄磁選の組合せにより錫品位が0.02%に満たない浮選廃石から50% Snの錫精鉱を採取することができたが、これは2,500倍以上に錫を濃縮したことになる。しかしながら、第6図に示すとおり、錫採取率は僅か0.2%にすぎない(昭和55年の試験)。その後テーブルの諸条件を改善したこと及び浮選廃石中の錫品位が上昇したことにより、錫採取率は上昇したがそれでも約4%にすぎない(昭和58年の試験)。

浮選による錫の回収についても、各種試薬条件で試験したが高品位の錫精鉱を得ることはできなかった。その

	昭和55年試験			昭和58年試験		
	原鉱	品位	分布率(%)	原鉱	品位	分布率(%)
浮選廃石	0.018	100	100	0.051	100	100
↓	U.F.			U.F.		
サイクロン	0.019	68.8	72.4	0.051	70.0	70.0
↓	網下			網下		
シープベンド	0.022	37.5	46.4	0.098	16.7	32.2
↓	Conc.			Conc.		
テーブル	0.401	0.04	0.84	0.989	0.85	15.9
↓	Tail.			Tail.		
脱硫・脱鉄	3.60	0.002	0.34	2.56	0.22	10.1
↓	Conc.			Conc.		
テーブル	15.50	0.000	0.26	39.51	0.006	4.2
↓	Tail.			Tail.		
脱硫・脱鉄	39.15	0.000	0.23	43.48	0.005	4.0
↓	最終精鉱			最終精鉱		
テーブル	42.42	0.000	0.22	50.45	0.004	3.8

凡例

品位	分布率(%)
Sn(%)	鉱量 Sn

第6図 浮選廃石からの錫精鉱採取試験結果

第9表 錫浮選試験結果

	錫品位(%)			採取率(%)	
	給鉱	精鉱	尾鉱	鉱量	Sn
脱硫浮選	0.025	0.032	0.020	46.2	57.5
錫浮選	0.032	0.250	0.008	9.7	76.9
総 合	0.025	0.250	0.015	4.5	44.2

備考 1) 脱硫浮選はフロスを尾鉱欄に記載。

2) 錫浮選試験条件

H_2SO_4 Na_2SiO_3 AP 845
pH₂ 2000 g/t 1400 g/t

中では一番良好な分離成績を得ることができた試薬条件及び分離成績を第9表に示す。浮選廃石中の約半分を10倍に濃縮できることから、テーブルによる比重分離の予備濃縮の手段となりうる。

(5) 空知鍾の高錫鉱石からの錫精鉱採取試験

空知鍾には0.5%を超える錫富鉱部があることは前述したが、その中でも錫含有量が最大のところから採取した鉱石から錫精鉱採取を試みた。

まず Pb-Zn-Py の順に硫化物を浮選分離し鉱石中のSの99%を除去したが、これに際して約50%の錫が硫化物

第10表 空知 150 ML 高錫鉱石の脱硫浮選試験結果

	品位(%)		採取率(%)		
	Sn	S	鉱量	Sn	S
原 鉱	6.83	21.09	100.0	100.0	100.0
硫化物	4.98	29.71	70.2	51.2	98.9
脱硫化物	11.17	0.78	29.8	48.8	1.1

とともに浮遊した(第10表)。この硫化物フロスを検鏡した結果、硫化物(中でも閃亜鉛鉱が多い)と片刃の錫石及び黄錫鉱を検出している。

つぎに上記の脱硫化物を粒度別にテーブル分離した結果を第11表に示す。50%を超える錫精鉱の採取率は約6%と低い。そして50%以上の錫が分布する約20% Snの片刃については再処理しても高品位の錫精鉱を採取できなかった。400 mesh 以上の精鉱・片刃・尾鉱について検鏡の結果、+200 mesh については錫石単体鉱粒は皆無であり、錫石主体の片刃は精鉱に、石英主体の片刃は尾鉱に、中間のものは片刃に分布する。片刃の相手鉱物は大部分が石英である。-200 mesh については精鉱中では錫石単体が多くなるが、片刃及び尾鉱中では大部分

第11表 空知 150 ML 高錫鉱石のテーブル分離試験結果

粒 度 (mesh)	錫品位(%)				錫分 布 率 (%)							
					対粒度別処理原鉱				対全処理原鉱			
	結鉱	精鉱	片刃	尾鉱	給鉱	精鉱	片刃	尾鉱	給鉱	精鉱	片刃	尾鉱
+65	8.98	18.08	8.16	7.18	100.0	25.2	40.7	34.1	1.7	0.4	0.7	0.6
65/100	11.67	22.70	12.81	8.89	100.0	14.6	48.9	36.5	9.1	1.3	4.5	3.3
100/150	11.20	44.79	19.24	6.13	100.0	5.8	59.0	35.2	16.5	1.0	9.7	5.8
150/200	10.08	49.05	13.76	4.86	100.0	7.8	69.2	23.0	15.5	1.2	10.7	3.6
200/270	10.80	55.02	25.54	3.73	100.0	5.9	70.2	23.9	21.1	1.3	14.8	5.0
270/400	10.65	55.63	24.26	4.42	100.0	7.6	63.0	29.4	13.6	1.0	8.6	4.0
-400	10.43	55.32	17.69	8.19	100.0	5.2	31.8	63.0	22.5	1.2	7.1	14.2
合 計	10.68	38.61	18.38	5.96	100.0	7.4	56.1	36.5	100.0	7.4	56.1	36.5

65/100mesh

200/270mesh

第7図 錫石と石英の片刃の一例

第12表 出雲鉱石浮選試験結果

出雲鉱石 混合比率		銅品位(%)		銅採収率(%)			選択度指数		
		原鉱	鉛精鉱	鉛粗選	鉛精選	総合	Pb/Zn	Pb/S	Zn/S
一回目	0%	0.08	0.22	46.9	22.0	10.3	13.9	14.9	17.0
	33%	0.90	10.10	91.3	54.3	49.6	5.9	2.4	9.3
	100%	2.21	14.35	95.6	50.2	48.0	3.8	4.0	9.0
二回目	0%	0.06	0.14	52.3	10.1	5.3	14.6	18.1	13.8
	2%	0.10	0.30	69.1	8.7	6.0	14.2	15.1	11.8
	5%	0.18	1.01	78.5	14.4	11.3	12.5	15.2	11.0
	10%	0.31	3.36	82.8	30.3	25.1	10.0	13.7	10.6

が石英との片刃である。錫と石英の片刃粒子の一例を第7図に示す。検鏡結果から判断すると80%以上の単体分離度を得るためには400 mesh程度まで摩鉱する必要がある。

(6) 錫鉱物の選鉱分離性

錫鉱物のうち黄錫鉱については現在のところ分離回収の手段は見当たらず、錫名についても閃亜鉛鉱と緻密に共生しているものは分離困難であり、検討の対象となるのは浮選廃石中の錫石である。浮選廃石中の錫石はこれまでの調査においては鉱物粒径が相当に細かく、分離回収に相当の困難は予想されるが可能性は十分にある。

これまでの検討結果から錫精鉱採取系統を想定すると、浮選廃石から硫化物を除去後錫浮選により予備濃縮を行い、それを細摩鉱後テーブルあるいはその他の比重選別機により分離を基本系統とし、適宜脱硫浮選、脱泥設備等を組み合わせることにより、浮選廃石中の錫の40%（脱硫・錫浮選の予備濃縮で60%、比重分離で70%）を分離回収可能と考えられる。なお、設備容量は増加するが、浮選廃石を全量細摩鉱後予備濃縮、あるいは全量再摩鉱後直接比重分離することにより、採収率向上を期待できる。

4.3.3 銅

(1) 鉱床内の分布及び選鉱処理原鉱品位の推移

最近の選鉱処理原鉱品位は第3図に示したとおり大きな変化はないが、近い将来出雲鍾東部の銅品位1%以上の富鉱部からの出鉱が予想されている。

(2) 銅鉱物の鉱石中の存在状態

主要銅鉱物は黄銅鉱であり四面銅鉱も少量存在する。黄銅鉱は一般的産状として閃亜鉛鉱中にドット状に含まれているが、出雲鍾の富鉱部では大きな結晶として存在する。

(3) 浮選挙動及び選鉱分離性

一般的豊羽鉱石については第8表に昭和57年度実績を示したとおり大部分が閃亜鉛鉱に従属の挙動をとり、亜

鉛精鉱に回収される。黄銅鉱は単体分離していれば通常鉛精鉱に回収されると考えられるのに反し、閃亜鉛鉱と挙動をともにするのは閃亜鉛鉱中に細粒が含有されるといふ産状によるものと推定され、これの分離回収は困難である。

一方、出雲鍾の富鉱部の鉱石については、現状の粗鉱に混合して第4回に示した系統での浮選試験結果（第12表）にみられるとおり、多くが鉛精鉱に回収される。また、鉛精鉱からの銅分離についても可能であることを確認している。なお、第12表にGaudinの選択度指数を付記してあるが、出雲鍾の銅富鉱部の鉱石を混合した場合Pb-Zn-Pyの分離性が著しく悪化することが予想され、将来、銅精鉱採取の検討と合わせて、Pb-Zn-Py分離の浮選条件を見直す必要がある。

5. 結 言

以上、豊羽鉱石中の微量有価金属を含む各種鉱石鉱物の存在状態及び選鉱特性を鉱脈別に調査した結果をとりまとめた。

今回の調査・検討で選鉱操業改善の指針が多く得られたが、そのおもなものはつぎのとおりである。

- (1) Pb-Zn-Pyの分離性が前期脈と後期脈で異なる。
- (2) 前期脈と後期脈で銀鉱物の種類・存在状態が異なり、前期脈の輝銀鉱の回収改善に検討の余地がある。
- (3) 後期脈の鉱石にはインジウム・錫等の微量有価金属が多く含まれるが、このうち錫については選鉱段階で分離回収の可能性はある。
- (4) 出雲鍾の銅富鉱部の鉱石はPb-Zn-Py分離性が現状の平均的な粗鉱と比べて劣る。

今後は、これまでの調査・検討を継続するとともに、今回得た操業改善の指針を実操業に適用を検討していく所存である。

最後に、御指導・御協力を頂いた社内各位に対し深く感謝申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 吉江隆・成井英一・加藤金良：豊羽鉾床の生成過程と微量有価成分の分布（印刷中），鉾山地質，36，128～140(1986)
- 2) 臼井凱也・玉井英晴・小原可守・佐々木幸雄：豊羽選鉾場における浮選工程中の銀の挙動について，浮選誌，27，3 (1980)
- 3) 臼井凱也・菅原泰造・玉井英晴・越智功：豊羽鉾山鉾石中の微量有価元素について，日本鉾業会誌，99〔1142〕，(1983)