鉱物処理薬剤の現況と将来*

—Part 1 フローテーション用捕収剤—

鈴木 眞 夫**・上 田 素 之***

Chemical Reagents for Mineral Industry

—Part 1 Collectors in Sulfide Mineral Flotation—

Masao SUZUKI and Motoyuki UEDA

1. は じ め に

フローテーション flotation が生まれて100年。

この技術が生まれなかったら、現在規模の鉱業は存在していないとさえいわれる。

歴史的に見ると、フローテーションプロセスは金属硫化鉱物の選別手段の一つとして、19世紀末の先駆的考案を経て、20世紀の第一四半期にかけて、実用化した。革新的な選鉱技術として、オーストラリア、アメリカだけでなく、全世界的規模での普及が燃え上がった^{1, 2, 3, 4)}。

1907年、神岡鉱山、加納鉱山において多油式浮選操業が開始された。生野をはじめ尾去沢、足尾においても、1917年にかけて浮選操業が採用された^{5, 6, 7, 8)}。

フローテーションに対する学術研究と工業化開発の努力によって、浮選プロセスの工業的発展と普及が進んだ。こうして、今日の金属材料の広範な利用が可能になったといわれる。

人類の歴史上、その成長発展の駆動力となった技術的要素として、次のような発見や工夫・発明を挙げることができよう。

- 火を利用する工夫
- 道具を高度に利用する工夫
- 種から芽が出ることの発見→農耕文明への端緒
- 金、銅などの金属を製錬する方法の発明

鉱業分野において、フローテーション〔浮遊選別もしくは浮選〕は画期的な技術革新の一つである。対象物表面の物理化学的特性を利用し、さらに人為的に調節する

ことによって選別を達成するという高度な技術が、フローテーションの特徴である。

その後、フローテーションは鉱物以外の対象に利用範囲を広げ、固形物・粉粒体あるいはイオンまでを取り扱

第1図 アメリカ最初の浮選工場 (1911年, The Butte and Superior Copper Co., Basin, Mont.) (2)

第2図 最新のフローテーション工場 (1990年代)

* 平成10年6月4日日本会第100回例会において発表

** アイテック技術開発(株)

*** (有)フジテック

平成10年5月15日受理

第1表 フローテーションプロセスに使用される薬剤

No.	薬剤区分	役割
1	捕収剤	分離回収の対象である粒子の表面を疎水性に変える薬剤である。イオン性の化合物が主体であ。
2	起泡剤	目的物を固液分離するため、担体として用いる気泡ないし泡沫（フロス）を作り易くする役割をはたす。
3	条件調節剤	① この薬剤は主に、対象物表面および水の性質・条件を調節して捕収剤の働きを加減する。次の3種類に分類される： ② 活性剤：対象物界面への捕収剤の接着を助長し、疎水性を高める薬剤。 ③ 抑制剤：活性剤とは逆に、その疎水性を弱めて親水性をます薬剤。 ④ pH条件剤：粒子懸濁液（スラリー）のpHを調節する薬剤。

うようになってきている。製紙プロセス等の新しい分野への適用も拡大している^{9, 10, 11, 12, 13, 14}。

浮選研究会第60回例会（1978年6月13日）において、筆者の一人である鈴木眞夫が、「捕収剤および起泡剤の現状（「最近の浮選剤および凝集剤について-I」）を報告した¹⁵。それから20年。世界の非鉄金属鉱業の発展を支える不可欠の鍵として貢献している、新しいタイプの捕収剤を含めて、フローテーション用捕収剤について報告する。

2. フローテーションと薬剤

2.1 フローテーションの定義

フローテーションプロセスを以下のように定義する。

- ①単体分離（対象成分だけで構成されるた粒子状態）の程度に粉碎した対象粒子を、互いに分離する。
- ②この操作は水と鉱石粒子の懸濁液（パルプ）中で行われる。パルプ中に導入された気泡に付着した特定成分粒子は、浮遊してフロス層を形成し、パルプ中に懸濁している別成分の粒子から分離される。
- ③現在、鉱業分野においてフローテーションといえば、このフロス層を利用するフロスフローテーションを指すことが普通である。

2.2 フローテーションプロセスにおいて使用される薬剤

フローテーションプロセスにおいては、対象粒子の表面性状を疎水性（親気性、親油性）あるいは親水性に調節して、2.1の②に示す操作を達成する。

この目的のため、固体粒子の、水に対する界面の特性を制御する界面活性剤、その他の化学薬剤を使用する。これらの薬剤の役割を第1表に示す¹⁶。フローテーションの主役を演じる薬剤について、山崎・南条の分類を第2表に示す¹⁷。

2.3 従来型の金属硫化鉱物用フローテーション捕収剤¹⁸

フローテーションプロセスの鍵である捕収剤は、対象

物の化学組成・結晶構造および水との界面特性に応じて選択される。硫化鉱物を対象する従来型の捕収剤を第3表に示す。ジチオホスホン酸塩系の捕収剤は代表的商品名であるエロフロートと呼ばれることが普通である。付録1に化学構造、相当する商品名等の詳細な情報を示す¹⁹。

2.4 非硫化鉱物ならびに非金属鉱物の捕収剤¹⁸

このグループは、比較的新しく登場した薬剤である。陰イオン性および陽イオン性の薬剤が、鉱物種ならびに浮選条件に応じて利用される。

（1）塩類鉱物および金属酸化鉱物

重晶石 BaSO_4 、灰重石 CaWO_4 、酸化鉄 Fe_2O_3 、すず石 SnO_2 、蛍石 CaF_2 等に対して、以下に示す陰イオン性有機酸系捕収剤が使用される。

- カルボン酸とその塩：オレイン酸，トール油脂肪酸
- スルホン酸塩：石油スルホン酸塩，アルキルスルホコハク酸塩
- ホスホン酸／アルソン酸：すず石を対象とする
- 硫酸エステル塩：高級アルコール硫酸エステル塩

（2）珪酸塩鉱物

石英 SiO_2 、長石、雲母、粘土鉱物等に対しては、カルボン酸系捕収剤またはアミン系の陽イオン性薬剤が適用される。後者の脂肪族飽和アミン（ $\text{C}_{12}\sim\text{C}_{18}$ ）のうち、第1級アミン RNH_2 やジアミン $\text{RNH}(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2$ （ないしその誘導体）が、中和塩の形で使用されている。

このアミン系捕収剤の興味ぶかい応用例が、カリ岩塩 KCl に対する優先浮選である。

2.5 日本における浮選剤の使用動向

太平洋戦争終結後間もなく、鉱業生産を向上させる目的で、捕収剤が緊急輸入された。そのころ（今から52年前）、日本鉱業協会技術部は第3図に示すパンフレット「浮遊選鉱試薬」を翻訳・配布している。

1954年（昭和29年）以降の浮選剤の使用動向を、処理鉱石量（第4図）、浮選剤の使用量（第5図）および浮選剤の使用量原単位（第6図）について示す²⁰。

第2表 浮選剤の分類

化合物の主分類	化合物の基本型	化合物の分類	代表例	役割り
浮選剤	有極性浮選剤	陰イオン浮選剤	炭酸 H_2CO_3	ジチオ炭酸エステル $ROCSSNa (K, NH_4)$ 各種ゼンセート 捕収剤
			リン酸 H_2PO_4	ジチオカルバメート塩 $R_2NCSSNa (K, NH_4)$ 捕収剤
			硫酸 H_2SO_4	酸性ジチオリン酸エステル およびその塩 $(RO)_2PSSH (Na \cdot K, NH_4)$ 各種エロフロート 捕収剤
			無機酸	硫酸エステル塩 $ROSO_3Na$ $R: C_8 \sim C_{18}$ 捕収剤
			有機酸	脂肪酸 飽和酸(塩) ステアリン酸 捕収剤 不飽和酸(塩) オキシ脂肪酸 抑制剤 酢酸鉛 オレイン酸 捕収剤 活性剤
		陽イオン浮選剤	スルホン酸 $-C-SO_3H$	芳香族酸 没食子酸 タンニン酸 抑制剤 環状酸 樹脂酸 アビエチン酸 捕収剤 ナフテン酸 捕収剤
			ホスホン酸 $-C-P(O)(OH)_2$	フルキル化芳香族スルホン酸塩 ドデシルベンゼンスルホン酸 湿潤剤 リグニンスルホン酸塩 Goulac 湿潤剤・抑制剤
			アルソン酸 $Ar-As(O)(OH)_2$	石油スルホン酸 Mahogany Soap 捕収剤
			フェノール $Ar-OH$	β 位にN(Ⅲ)を持つスルホン酸 Aerosol 類 捕収剤 スルホコハク酸 Igepon T 捕収剤
			メルカプタン	$R-P(O)(OH)_2$ $R=Bu, Heptyl$ など 捕収剤(SnO_2)
		非イオン浮選剤	アンモニウム塩 NH_4X	第1級アミン 脂肪族飽和アミン(塩) $RNH_2 C_{10} \sim C_{18}$ (酢酸塩) 第2級アミン 脂肪族不飽和アミン(塩) オレイルアミン 芳香族アミン トルイジン 環状アミン(塩) アビエチルアミン(酢酸塩) 捕収剤
			ヒドロキシ化合物	脂肪族アルコール MIBC 起泡剤 環状アルコール テルピネオール 起泡剤 澱粉・糊糖 抑制剤
			エーテル	脂肪族エーテル トリエキシブタン(TEB) 起泡剤 ポリアルキレングリコール Dowfroth, Aerofroth 起泡剤 アルキルエーテル 環状エーテル
			ケトン	環状ケトン シネオール 起泡剤
			中性酸エステル	チオノカルバメートエステル カンファー 起泡剤 $RNHC(S)OR$ Z 200 捕収剤
		無極性浮選剤	過チオ化合物	ジキサントゲン $ROC(S)SS(S)COR$ Minerac 捕収剤
			脂肪族炭化水素	飽和 各種パラフィン 補助捕収剤 不飽和 各種オレフィン 補助捕収剤
			芳香族炭化水素	各種芳香族炭化水素 補助捕収剤
			環状炭化水素	各種テルペン炭化水素 補助捕収剤

これらから次のことが判明する：

①1996年度の処理鉱石量および浮選剤の使用量：

1974年度（昭和49年）のほぼ1/10に減少した。

②浮選剤の使用量原単位：

ゼンセート：182g/t→79g/t 50%以下に減少

エロフロート類：32g/t→61g/t 200%の増加

捕収剤合計：214g/t→139g/t 30%の減少

起泡剤：101g/t→63g/t 40%の減少

現在、日本国内では6つの工場（鉛・亜鉛鉱山＝2工

場および銅精練所＝4工場）において浮選操作が行われている。各使用捕収剤の種類を第4表に示す。

3. 新しいタイプの金属硫化鉱物用捕収剤

3.1 捕収剤の多様化と改質

硫化鉱物用の捕収剤が考案されてから50年を経て、資料1に示すように、炭素数の異なるアルキル基を成分とする捕収剤、あるいはその混合物を処方とする、多様化が進められた。同時に以下に示す改質も行われた。

第 3 表 金属硫化鉱物に使用される捕収剤

名称と化学構造	主な商品名
1. ジチオ炭酸- Oアルキルエステル ROCSSNa (R=C _n H _{2n+1})	ザンセート：エチルC ₂ H ₅ , イソプロピルC ₃ H ₆ , イソブチルC ₄ H ₉ , アミルC ₅ H ₁₁
2. アルキル-アルキル チオノカバメート ROCSNHR' (R=C ₂ H ₅ , R'=C ₃ H ₇)	Z-200, エロプロモータ 4037
3. デクレシールジチオ燐酸エステルとその塩- (ArO) ₂ PSSH/NH ₄ (Ar=CH ₃ C ₆ H ₅)	エロフロート：25, 31, 33, 241, 242
4. ジアルキルジチオ燐酸エステルとその塩-2： (RO) ₂ PSSNa (R=C _n H _{2n+1} , n=2~5)	エロフロート：ソデューム, 208, 211, 238, 249 エロプロモータ：3477, 3501
5. メルカプトベンゾチアゾール+ジアルキルジチオ 燐酸エステル (RO) ₂ PSSNa (R=C _n H _{2n+1} , n=2~5)	エロプロモータ：404, 407, 412, 425
6. ジアルキルジチオホスフィンサルハイド (R) ₂ PSSNa (R=C _n H _{2n+1})	エロフィン 3418 A

第 3 図 日本鉱業協会の浮選剤パンフレット「浮遊選鉱試薬」

第4図 選鉱処理鉱量の推移 (1954年度～1996年度)

第6図 捕収剤および起泡剤の原単位の推移 (1954年度～1996年度)

- エアフロート系：液体化と有効成分濃度の向上。薬剤単価の低減
- ザンセート系：ペレット化→取扱上の容易性と安全性の向上
- ザンセート系：液体化→溶解作業の軽減

3.2 ホスフィン系捕収剤¹⁸⁾

1980年代になって、新しい化学構造を持つ捕収剤としてジアルキルジチオホスフィンサルハイド (商品名Aerophine 3418A) が誕生した。ザンセートの効きにくい浮選条件下で、捕収力を発揮する強い捕収剤である。ごく微量の金・銀に対しても優れた効果を示す。

3.3 チオノカルバメート系およびチオ尿素系の捕収剤²¹⁾

その後さらに、低品位銅鉱石や複雑硫化鉱石を対象として、次に示す二つの化合物をベースとする捕収剤の開発が進められた。

第5図 捕収剤使用量の推移 (1954年度～1996年度)

○thionocarbamate チオノカルバメート系
○thiourea チオ尿素系
(別名 thiocarbamide カルバミド)
炭素数のことなるアルキル基あるいはアリル基を導入した新しい捕収剤が実用化された。

第5表に、それらの化学組成と特徴、利点を示す。主な特性を次にまとめた。

- ①強い捕収性をもつこと (ザンセートや Z-200 に比較)
- ②大きな浮選速度を与えること
- ③選択性にすぐれていること (主な対象は黄鉄鉱)
- ④随伴する金・銀に対して有効であること

特に、「黄鉄鉱を浮遊させない選択性」に優れていることが大きな利点である。これによって、pH 調節剤使用量を低減させ、物流や取扱いの手間を含めて経費の節減という利益を得ることができる。さらに、低い pH 条件は金・銀の浮選回収に役立つことになる。

世界各地の選鉱工場におけるこれらの捕収剤の使用状況を第6表に示す。

カナダにおいて行われた、銅・鉛・亜鉛鉱に対する、AP 5100 とザンセートの比較試験結果を第7表に示す。

第4表 日本における捕収剤の使用状況

浮選工場	ザンセート類 *	AP404 類 **	Z-200	DM 2000
A 鉛・亜鉛	使用	使用		
A 鉛・亜鉛	使用			
C 銅カラミ		使用	使用	使用
D 銅カラミ		使用	使用	使用
E 銅カラミ	使用		使用	
F 銅カラミ	使用		使用	使用

* ザンセート類：EX, IPX, IBX, AX; AP404 類：DTP + HBT

資料 1 金属硫化鉱物用捕収剤の詳細

Collector type	Formula	Manufacturer and designation	
Mercaptan	$R-SH$	Pennwalt, Phillips	
Dithiocarbonate (xanthate)	$R-O-\overset{\overset{S}{\parallel}}{C}-S Na$	AmCy	Dow*
		303	Z-3
		325	Z-4
		322	Z-9
		343	Z-11
		—	Z-7
		317	Z-14
		—	Z-8
		301	Z-12
		355	—
		350	Z-6
		—	Z-5
		—	Z-10
Trithiocarbonate	$R-S-\overset{\overset{S}{\parallel}}{C}-S Na$	Phillips—reportedly Orfom C0800 series	
Xanthogen formate	$R-O-\overset{\overset{S}{\parallel}}{C}-S-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-R'$	Dow*	Minerec
		Z-100	A
		—	2048
		—	B
		—	898, 1995
		—	201
		—	1040
		—	27
Xanthic ester	$R-O-\overset{\overset{S}{\parallel}}{C}-S-R'$	AmCy	Minerec
		3302	1750
		3461	2023
Monothiophosphate	$\begin{array}{c} S \\ \parallel \\ R-O-P-O Na \\ \\ R-O \end{array}$	AmCy	
		194	
		3394	
Dithiophosphate	$\begin{array}{c} S \\ \parallel \\ R-O-P-SH(Na) \\ \\ R-O \end{array}$	AmCy (Aerofloat)	
		Cresylic acid + 15% P_2S_5	
		Aero. 15	
		Cresylic acid + 25% P_2S_5	
		Aero. 25	
		Ditto, water-soluble form	
		Aero. 241	
		Aero. 25 + 6% thiocarbanilide	
		Aero. 31	
		Ditto, water-soluble form	
		Aero. 242	
		Na di-ethyl	
		Na Aerofloat	
Dithiophosphinate	$\begin{array}{c} S \\ \parallel \\ R-P-S Na \\ \\ R \end{array}$	Aero. 208	
		Aero. 211, 243	
		Aero. 3477	
		(Minerec 2044)	
		Aero. 3501	
		Aero. 238	
		Aero. 249	
		AmCy 3418	
Thionocarbamate	$\begin{array}{c} H \quad S \\ \quad \parallel \\ R-N-C-O-R' \end{array}$	Dow*	Minerec
		—	1703
		—	1331
		—	1846
		Z-200	1661
		—	1669
Thiourea	$(C_6H_5NH)_2C=S$		
Thiocarbanilide		Dispersible form	
Mercaptobenzothiazole		AmCy Aero. 130	
		Homologs	
		AmCy 400 Series	

*Manufacture discontinued in United States.

Sources: Refs. 2, 52-56.

AP 5100 によって銅精鉱中に誤入する鉛は 1/3 から 1/2 ほど減少した。こうして、銅実収率を維持したまま、銅精鉱品位を向上させた²²⁾。

第 7 図は、AP 5100 と Z-200 の比較試験結果を銅品位—銅実収率曲線の形で示したグラフである。AP 5100 が銅に対して優れた捕収性を示す事例 (Western U.S. Copper 鉱石) の一つである²¹⁾。

4. 今後の展望

大量処理の低品位銅鉱、二次銅鉱あるいは鉛・亜鉛等の複雑鉱が、今後のフローテーションプロセスの対象であるとされる。この観点から捕収剤の今後の展望を検討する。

4.1 新タイプの捕収剤

次の 3 種類の捕収剤が主役として活躍するものと期待される。

- ①ホスフィン系捕収剤
- ②チオノカルバメート系捕収剤
- ③チオ尿素系捕収剤

これらは、3.3において述べたように、強い捕収性と優れた選択性を特徴として今後もさらに普及するものと思われる。

4.2 古典的捕収剤

ザンセートやエロフロート (例えば 208,404 等) も一定の役割を果たすものと期待される。

4.3 Joint Technical Development Program 協同開発

第 5 表 新しい金属硫化鉱物用の捕収剤—化学成分・構造と特徴

No.	操業鉱山	銘柄	浮選産物	利点 / 効果
1. カナダ				
1	Brunswick Mining	AP-5100	銅/鉛	銅実収率の向上
2	HBM&S Snow Lake	AP-5100	銅/亜鉛	銅品位上昇/亜鉛除去向上
3	Inmet	AP-6931	銅	銅実収率の向上
4	Audrey Resources	AP-3418A	銅/亜鉛	銅品位上昇/亜鉛除去向上
5	Noranda-Gaspe	AP-3418A	銅	銅実収率の向上
2. アメリカ USA				
6	ASARCO Mission South	S-7380	銅	pH 低下 (消石灰 40% 節減)
7	Copper Range	S-7151	銅	単一使用、コスト削減
8	Cyprus Sierrita	AP-3302	銅/Mo*	Mo 粗選実収率の向上
9	Magma Pinto Valley	S-7668	銅/Mo/金	pH 低下、金実収率の向上
10	Magma San Manuel	AP-5741	銅/Mo	銅/Mo の実収率の向上
11	Phelps Dodge Chino	S-7048	銅/Mo	pH 低下、銅実収率の向上
12	Sonora Gold	AP-6697	金	金実収率の向上/黄鉄鉱除去の向上
3. メキシコ				
13	Mexicana de Cananea	S-6682	銅	銅品位の向上
14	Mexicana de Cobre	AP-5415 AP-3302	銅/Mo	銅/Mo の実収率の向上
4. オーストラリア/パプアニューギニア				
15	Golden Grove	AP-3418A	銅/鉛/亜鉛	銅実収率/品位の向上
16	Mt Lyell	AP-5415	銅	pH 低下/銅実収率の向上
17	Ok Tedi	S-7249	銅/金	金実収率の向上
18	Pasminco Elura	AP-3418A	鉛/亜鉛	鉛実収率/品位の向上
19	Pasminco Rosebury	S-7021	銅/鉛/亜鉛	亜鉛実収率の向上
20	Pasminco Broken Hill	S-7016	鉛/亜鉛	亜鉛品位の向上
21	Red Dome	AP-5415	銅	銅品位の向上
5. チリ				
22	Chuquicamata	S-7518	銅	pH 低下/銅実収率の向上
23	El Teniente	S-7518	銅	pH 低下/銅実収率の向上
24	Mantos Blancas	S-6682	銅	pH 低下/銅実収率の向上
6. その他				
25	Sar Cheshmeh (Iran)	AP-5415	銅/Mo	pH 低下/銅, Mo 実収率の向上
26	Assarel (Bulgaria)	AP-5415	銅	pH 低下/銅実収率の向上

* Mo : モリブデン

第 6 表 新しい金属硫化鉱物用捕収剤の使用状況—世界 7 カ国

No.	名 称	化学成分-構造	使用上の特徴と利点
1	AEROPHINE 3418A	Dithiophosphinate	複雑な銅や鉛鉱に適する。ザンセート、エロフロートより強力。黄鉄鉱に対して選択性(浮かさない)。鉛鉱に伴う金銀をよく回収する。
2	AP 5383	Monothiophosphinate	pH 5-9 において強力で安定な捕収性を示す。
新 AP 5000 番系列の Promoters : thionocarbamate および thiourea 系 特 徴 : ① 強力で選択性に富む、 ② 高い浮選速度を与える、 ③ 低 pH でも黄鉄鉱を浮かさない			
3	AP 5100	allyl thionocarbamate	亜鉛、白金族に強い。高含銅鉱石や金属銅向け。pH 7-12 で有効(pH9-10.5 が最適)。起泡性良好。
4	AP 5415	ethoxycarbonyl thionocarbamate	強い選択性。高含銅鉱石(輝銅鉱 CuS:Cu=80%; ダイジェナイト: Cu=79%; コペリン Cu=67%; ハン銅鉱 Cu=67%)に適す(黄銅鉱 Cu=35%にはむしろ弱い)。pH 7 以上で黄鉄鉱に強い選択性(pH 10.5 前後が最適)。
5	AP 5500	ethoxycarbonyl thiourea	強い選択性。銅鉱石、特に黄銅鉱用。黄鉄鉱、方鉛鉱、非活性の亜鉛鉱に選択性を示す。活性化した亜鉛鉱を浮かす。AP 5415 よりも強力。粗粒片刃を良く回収する。適用 pH 範囲は 7-11.5 (最適 pH 9-10.5)。
6	AP 6588	ethoxycarbonyl thionocarbamate	輝銅鉱や黄銅鉱に対して強い捕収性。黄鉄鉱に強い選択性。粗粒片刃の回収力が抜群。

注 : すべて商標登録済み。正式名称は AERO xxx Promoter

プログラム

新しいタイプの捕収剤を工場に導入する最適の方法として、次のステップで代表される「協同開発プログラム」が推奨される。

- ①顕微鏡による鉱物試験
- ②一次試験による捕収剤の探索
- ③最適捕収剤の選択と調合formulation
- ④工場試験—パイロットおよびフルスケール

ユーザーとメーカーが力を合わせた「協同開発プログラム」が、当面する課題解決の鍵である。新しい薬剤の採用後も、このプログラムは一層の最適化と持続性のある向上を目指して進められる。

4.4 捕収剤の最適化調合

このような「協同開発」によって、浮選対象鉱石に対して最適な捕収剤を新しく調合し、製造することが可能となる。今後、この方式の捕収剤開発が普及するものと期待される。調合捕収剤の事例を第 8 表に示す²¹⁾。

4.5 その他の条件

操業成績を維持・向上するためには、次のような自動

制御を含めて、計装化と自動化を含む、運転設備と運転技術の高度化が不可欠の条件である。

- ①粉砕回路の自動制御、
- ②オンライン分析と浮選プロセス・浮選薬剤添加の自動制御

持続性のある安定した浮選操業条件を維持することが、捕収剤の能力・効果を設計どおりに発揮させる条件である。

選鉱エンジニアは、捕収剤と操業条件の両者をコントロールすることによって、技術と成績の向上に貢献する

第 7 図 AP5100 と Z-200 の比較試験結果

第 7 表 AP5100 の比較試験結果—銅精鉱の性状

試験 No.	浮選機 列	捕収剤 組合わせ	重量, %		品位, %		分布率, %		
			%	Cu	Cu	Pb	Zn		
1	A	PAX/208	8.8	12.5	90	70	14		
	B	5100/208	7.1	15.1	91	22	10		
2	A	PAX/208	14.8	7.4	90	64	15		
	B	5100/208	8.9	15.1	89	22	12		
3	A	PAX/208	12.1	10.9	90	62	22		
	B	5100/208	9.8	13.8	91	23	19		

第8表 新しい金属硫化鉱物用捕収剤の化学成分と対象鉱物

区分	捕収剤名称	構成成分			優れた効果が期待できる主な対象鉱物
		thiono-carbamate	thiourea	dithio-phosphates	
1	5100	allyl	—	—	銅、亜鉛
2	5415 5460	ethoxy-carbonyl	—	—	銅、金
3	5540 5550	ethoxy	ethoxy	—	銅、金、亜鉛
4	7016 7025	—	ethoxy	ブレンド	銅、金、亜鉛
5	7048	allyl	—	ブレンド	銅、亜鉛
6	7279	allyl	—	ブレンド	銅、亜鉛
7	7380	ethoxy	ethoxy	ブレンド	銅、金、亜鉛
8	7640	ethoxy	—	ブレンド	銅、金

のである。

5. ま と め

鉱物処理薬剤の一つであるフロートーション用捕収剤について、その現状と将来を展望した。

「フロートーション」は、火を使う製錬法、溶媒を使う金属イオンの抽出法や金・銀の青化法とともに、鉱業分野における技術革新の一つである。この技術は20世紀初頭に誕生し、その後目ざましい発展を遂げ、現在もさらに進歩を続けている。本報告を以下にまとめる。

1. 本報告において、まずフロートーションの定義を述べた。
  2. 次にフロートーションプロセスで使用される薬剤、特に捕収剤について整理した。
  3. ここ45年間にわたる、日本におけるフロートーション薬剤の使用状況を解説した。
    - ①フロートーションの処理鉱量が 1/10 以下に低下した
    - ②比例的に捕収剤、起泡剤の使用量が減少した
    - ③処理鉱石 1 トン当たりの添加薬剤量 g/tは、
      - ザンセートは半減した
      - エロフロートは 2 倍に増加した
      - 起泡剤は40%減となった
  4. 強い捕収性と高い浮選速度、黄鉄鉱等に対する優れた選択性を目標に、チオノカルバメート系およびチオ尿素系の新捕収剤が開発された。使用の現状を含めてその化学組成、特徴と利点を報告した。代表的な AP 5100 は Z-200 に比べて強力である。
  5. 今後、ユーザーとメーカーの協同開発プログラムによって、各浮選工場の処理鉱石に最適な捕収剤の調合製造が可能となり、操業成績の向上と利益の拡大が期待される。
- 分離精度を高める選択性と、強い捕収性をもつ新タイ

プの捕収剤の開発によって、金属硫化鉱物のフロートーションは、引き続き発展するに違いない。鉱業分野から他の工業分野への応用と普及が新しく期待される。その一つとして、微粒子に対するフロートーションは重要な課題といえる。

謝 辞

この報告にあたり、若松貴英・名城大学都市情報学部教授、芝田隼次・関西大学工学部教授のご指導に感謝申し上げます。A. Day・Chief Metallurgist, CYTEC INDUSTRIES INC. (旧ACC : American Cyanamid Company) から、新しい金属硫化鉱物用捕収剤に関する多くの情報を入手した。心から感謝する。協力いただいた同社の Dr. P. Avotin, Dr. D. R. Nagaraj に対し厚くお礼申し上げます。

資源処理学会〈浮選研究会〉第100回例会にあたり、浮選技術やフロートーションプロセスに関わり、その向上と発展に寄与・貢献された諸先輩はじめ多くの関係者の方々に、あらためて心からの尊敬と深い感謝の意を表する次第である。

引 用 文 献

- 1) A. M. Gaudin: Flotation, 1, 460, McGraw-Hill Book Company, Inc., (1957).
- 2) D. W. Fuerstenau (Editor): Froth Flotation—50th Anniversary Volume, 1, 39, 55, The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., (1982).
- 3) F. F. Aplan, Encyclopedia of Chemical Technology—third ed. (Kirk-Othmer), 10, 523, John Wiley & Sons (1978).
- 4) R. Lemlich (edited): Adsorptive bubble separation techniques, Academic Press, 1972.
- 5) 鳥井愛己：神岡鉱山 鉛亜鉛鉛優先浮遊選鉱に就いて、日本鉱業会誌 Vol. 46, No. 542 (1930), p. 424～434.
- 6) 西村元三郎：足尾鉱山の選鉱に就いて、日本鉱業会誌 Vol. 46, No. 537 (1930), p. 12～28.
- 7) 高橋幸三郎：生野鉱山の選鉱法、日本鉱業会誌 Vol. No. 542 (1930), p. 545～553.
- 8) 鉱山懇話会：日本鉱業発達史上巻, p. 309～373.
- 9) F. Sebbä: Ion Flotation, 1-6, Elsevier Publishing Company, (1962) Amsterdam.
- 10) A. F. Colombo, and D. W. Formmer: Flotation-- A. M. Gaudin Memorial Volume, 2, 1285, The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. (1976).
- 11) 古屋仲芳男：浮選（浮選研究会），第49号，p. 68～71（1973年春季号）。
- 12) 灘谷彰彦：浮選（浮選研究会），第51号，p. 59～70（1973年秋季号）。
- 13) T. Nagahama: Proceedings of ROC-Japan Joint

- Symposium on Three Phase Reactors, 219 (1986).
- 14) 和泉澄夫, 保坂秀人, 細井学: 地熱技術, 21, 29 (1983).
  - 15) 鈴木眞夫: 浮選 (浮選研究会), 第68号, p. 38~43 (1978年秋季号).
  - 16) 鈴木眞夫: 粉体工学会誌, Vol. 24, p. 792~797 (粉体工学会), (1987).
  - 17) 山崎太郎, 南条道夫: 日本鉱業会誌, 86, 644 (1970)
  - 18) Mining Chemicals Handbook (Revised Edition), American Cyanamid Co., (1986).
  - 19) P. Somasundaran and B. M. Moudgil: REAGENTS IN MINERAL TECHNOLOGY, p. 348~350, Marcel Dekker, Inc., 1988.
  - 20) 日本鉱業協会編 選鉱青化主要原単位並成績表: 昭和30年; 昭和50年; 平成5年; 平成9年.
  - 21) AERO 5000 Promoters, Technical INFORMATION, Cytec Industries Inc., (1997), 9P.
  - 22) T. J. Bruce and P. So: IMPROVED COPPER-LEAD SEPARATION USING AERO 5100 PROMOTER, 17th CIM District Meeting, Kamloops, British Columbia, Canada, September 19~21, 1996, 8P.
- 参 考 文 献
- 1) 山口吉郎: 浮遊選鉱法 (岩波全書), 岩波書店, 昭和24年11月15日 (第10刷) [昭和10年12月10日, 第1刷]
  - 2) 浮選研究会翻訳: 浮選の原理—K. L. Sutherland and I. W. Wark “Principles of Flotation, 1955”. 第I集 (第11号, 1959年秋季号), 第II集 (第12号, 1960年春季号), 第III集 (第13号, 1960年秋季号), 第IV集 (第14号, 1961年春季号).
  - 3) 高桑 健: 選鉱工学 上巻, 共立出版株式会社, 昭和37年9月1日改訂6刷 [昭和16年6月10日初版1刷].
  - 4) 高桑 健: 選鉱工学 下巻, 共立出版株式会社, 昭和31年3月1日改訂1刷 [昭和16年6月10日初版].
  - 5) 富田堅二: 工業原料鉱物 選鉱便覧, 共立出版株式会社, 昭和41年5月15日初版第1刷.
  - 6) 富田堅二: 非金属鉱物の選鉱法, 社団法人窯業協会, 昭和42年4月15日.
  - 7) J. J. Bikerman, J. M. Perri, R. B. Booth and C. C. Currie: Foams: theory and Industrial Applications, Renold Publishing Corporation, 1953.
  - 8) V. I. Klassen and V. A. Mokrousov (Translated by J. Leja and G. W. Poling): An Introduction to the Theory of Flotation, Butterworth & Co. (publishes) Ltd., (London), 1963.
  - 9) AERO Xanthate HANDBOOK (American Cyanamid Company, 1972).
  - 10) P. Somasundaran (Editor): Fine Particles Processing, Volume 1 and Volume 2, The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., 1980.
  - 11) A. L. Mular and R. B. Bhappu (Co-Editors): Mineral Processing Plant Design 2nd Edition, The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., 1980.
  - 12) M. H. Jones and J. T. Woodcock (Edited by): Principles of Mineral Flotation-Symposia Series No. 40, 1984, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 1984.
  - 13) K. S. Eric Forssberg (Edited by): Flotation of Sulfide Minerals, Elsevier Science Publishers B.V., 1985.
  - 14) Mining Chemicals Handbook—Revised Edition—Mineral Dressing Notes No. 26 (American Cyanamid Company, 1986).
- Keywords: flotation, collector, promoter, sulfide ore, oxide ore, xanthate, aerofloat, thionocarbamate, thiourea.