

鉱業廃棄物からの金属回収 (事業の経済性・意義・今後の方向性)

(初出2006年3月)
(社)日本メタル経済研究所 主任研究員
kamiki@merij.or.jp

上木 隆司

はじめに

鉱業生産活動において発生する様々な残渣や廃棄物には、低品位の金属が含有されている場合が多く、資源の有効活用と世界的な環境規制の強化に伴う環境対策の両観点から、それらの含有金属を回収する事業機会が増える、あるいは回収率を更に高める努力が継続されるものと考えられる。

1. 調査研究の目的

2003年以降、金属価格の高騰期が継続し、その長期化の見方もあること及び、国際的な環境規制強化の中で鉱業廃棄物からの金属回収事業が進展するものと考えられる。その関連技術を有することで資源開発事業の多様化が期待され、国際的な競争力となり得る。本調査研究は国内外のそれらの事例をまとめ、検証することで事業の検討・推進の上での参考に資することを目的とする。

2. 鉱業廃棄物の定義

鉱業生産工程毎の生産物と鉱業廃棄物は、次のように整理できる。なお、閉山対策(環境対策)に係る事項も広義の意味において鉱業廃棄物に含めて考えることにした。

鉱業生産工程	生産物	廃棄物
・採鉱	鉱石	ずり、低品位鉱・難処理鉱、坑内水、古タイヤなど廃材
・選鉱	精鉱	尾鉱、堆積場浸透水、坑廃水処理殿物
・製錬	粗金属、精製金属	スラグ、煙灰、排煙、廃酸、残渣
・閉山対策 (残存施設を含む)		坑廃水、中和処理殿物、探掘空洞、廃止坑道、使用済み堆積場等残存施設

3. 鉱業廃棄物の特徴

鉱業廃棄物の特徴として次の事項が挙げられる：

- 経済的に不要なもの、経済的価値を持たないもの、生産コストに見合わないものである
- 金属価格の高騰、回収技術の向上に伴い経済価値が発生する場合がある
- そのまま放置すると低品位の金属鉱物等を含有するため鉱害の発生源となるおそれがある
- 安定堆積や保管等、維持管理にコストを要する場合がある
- その取扱い如何が当該プロジェクトの円滑実施や操業者の社会的信頼に影響する場合がある

本調査においては、特に左記の特性に着目し、鉱業廃棄物から金属が回収されている事例をまとめ、その経済性、意義について検討する。

4. 鉱業廃棄物からの金属回収事例

次の8事業について概要をまとめた。

尾鉱の再処理による金属回収

尾鉱の再選鉱による銅・モリブデン精鉱生産〔チリ・El Teniente：“MVC”〕

尾鉱からのPGM回収〔南アフリカ・Anglo Platinum：“WLTR”〕

尾鉱からの金回収〔南アフリカ・AngloGold Ashanti：“Ergo”〕

低品位貯鉱からの金属回収

低品位金鉱石からの金回収〔ウズベキスタン・Newmont：“Zarafshan”〕

低品位ニッケル鉱の湿式処理〔フィリピン・住友金属鉱山(株)：“Coral Bay”〕

坑内水等からの溶存金属回収

坑内水及び煙灰浸出液からのSX-EWカソード生産〔チリ・El Teniente：湿式製錬部〕

中和殿物中の鉄利用

セメンテーション廃液の中和処理殿物利用〔チリ・ENAMI：Ovalleプラント〕

中和殿物のフェロニッケル製錬用鉄源利用

〔京都府・(株)YAKIN大江山：大江山製錬所〕

5. 注目される鉱業廃棄物

次の8項目について検討を行った。

大規模銅山の尾鉱からの銅回収

大規模銅山の尾鉱からの鉄回収

SX-EW銅山のヒープリーチング残渣からの貴金属、Mo回収

SX-EW廃液残渣からのレアアース回収

PGM鉱山やクロム鉱山の尾鉱からのPGM回収

その他鉱山の尾鉱からの金属回収

酸性坑廃水及び中和殿物の利用
採掘跡空間〔露天掘跡地、坑内掘空洞〕の利用

例えば、5 - に関して長年の操業実績を有するチリの大規模銅山に関し、JOGMECの資料を基に試算すると、それらの尾鉱中には次に示すとおり膨大な量の銅が含有されているものと予想される。

銅山名称	操業年数(操業開始年)	精鉱中銅量(百万t)	尾鉱中銅量(百万t)
El Teniente	103年(1904年～)	17.3	2.9
Chuquibambilla	97年(1910年～)	27.0	3.1
Escondida	17年(1990年～)	10.3	1.8

6. まとめ

<経済性>

- (1) 原鉱品位は事業の収益性を左右する重要事項である
- (2) 収益性を確保するための対策の実例として次が挙げられる：
 - 処理能力の増強
 - 原鉱品位の高い原料の確保
 - 生産物の付加価値を高めること
- (3) 尾鉱処理事業の場合などは、採掘・磨鉱済みの原料であることによる低い処理コストが強みとなる

<事業の意義と今後の方向性>

- (1) 時間的観点から過去、現在、将来に分けて考えることが可能
 - ・過去：鉱業廃棄物が古いほど品位が高く、操業期間が長いほど含有金属の蓄積量が大であるため、それらが金属回収事業の検討対象となる可能性が高い。
 - ・現在：実施されている金属回収事業は、過去に比べて進歩した技術により事業化を実現している。また、古典的と見なされる技術が条件に応じて活用されている例も見られる。
 - ・将来：現時点では金属回収が不可能であっても将来を見越して貯鉱あるいは保管して時期を待つことが考えられる。すなわち、回収技術が未成熟で発展段階にある場合、時間の経過とともに自然酸化などで処理条件の改善が見込める場合、採掘終了跡地に再処理残渣を廃棄できるような見通しがある場合、金属市況が処理コスト以上に充分改善することが期待出来る場合 などである。

(2) 技術の発展性に関する展望

- 複数金属の回収
- 実収率の向上
- 鉱業生産に係る環境対策技術としての進化

- 効率的・省エネルギー技術の適用
- 最終残渣の減量化や有効利用のための技術の確立
- 湿式製錬技術の応用
- 鉱山開発計画へのフィードバック
- 閉山対策への応用
- 産廃や金属スクラップ処理事業への応用

- (3) 今後の技術革新のために注目される技術
 - 硫化鉱の湿式製錬技術（バクテリアリーチング、塩素系化学浸出など）
 - 有害物質の分離・固定化技術
 - 新旧技術の総合的評価・見直しによる最適処理システムの検討

- (4) 円滑な事業化のために行政支援が重要

- (5) 鉱山開発への波及効果
 - 資源量・埋蔵量の増大、生産量の追加、廃棄物中の含有金属量の減少による環境負荷の縮減、社会的信頼や国際的競争力の確保などに効果がある。
- (2006.7.14)

【参考1】4 - 尾鉱の再選鉱による銅・モリブデン精鉱生産〔チリ・El Teniente：“MVC”〕現地状況



写真1：El Teniente銅山Colon（コロン）選鉱場（2000～2003年間に拡張され、年間鉱石処理能力4,700万tとなった。）



写真2：Colon選鉱場の尾鉱流送機（尾鉱発生量4,463万t/年、品位Cu0.111%（2005年データ））

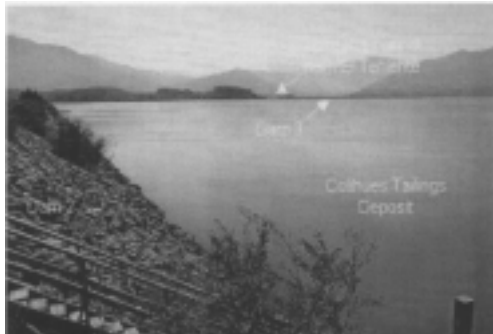


写真3：Colihues（コリウエス）尾鉱堆積場
（1977～1987年間に使用した堆積場で尾鉱品位がCu0.265%と比較的高い。含有量はCu56万t、Mo2万4,000t）MVCプラントは同堆積場の北側（鉱山から36km下流）に位置する。現在使用中の堆積場は、MVCプラントから更に50km西に位置するCaren堆積場である。

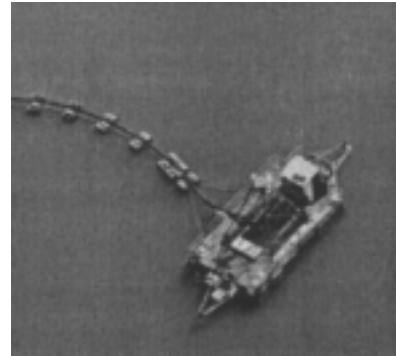


写真6：MVCのColihues尾鉱処理試験用のドレッジャー（2007年本格運転開始予定、投資額4.7百万US\$）



写真4：MVC選鉱設備
（尾鉱処理量4,400万t/y）



写真7：MVCのCascade（カスケード）浮選設備
（段差を付けた水路を自然流下する過程で空気を水中に取り込み水泡を生じさせる、言わば省エネ型浮遊選鉱設備で1914年にBroken Hill鉱山で初めて適用された。）

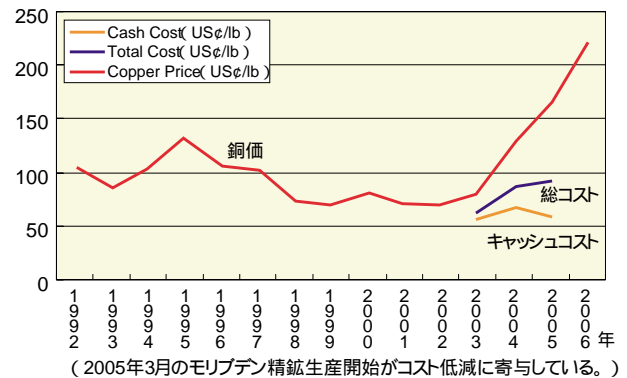


図1 銅価とキャッシュコスト、総コストの関係



写真5：MVCのモリブデン選鉱設備
（2005年3月生産開始。Mo生産量は2005年296t、2006年410t）

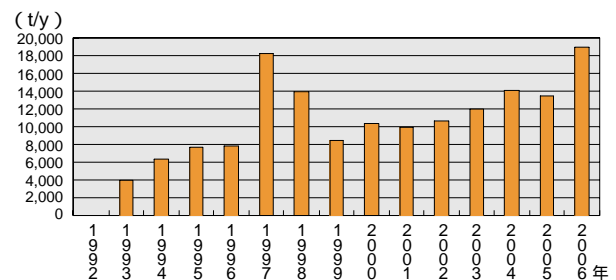


図2 MVCの生産量推移(銅精鉱中銅量)

〔参考2〕JOGMEC（旧MMAJ）による鉱業廃棄物からの金属回収に関する研究協力事業実績

JOGMEC（2004年2月28日以前、MMAJ）は、これまでに実施した関連技術開発・調査研究事業として、鉱害防止技術開発において酸性坑廃水からの鉄回収試験研究、中和殿物の減容化と有効利用及び、海外の研

究機関と未利用資源/鉱業廃棄物からの金属回収に関する研究協力事業4件、計6件を下表のとおり実施している。今後、鉱業廃棄物からの金属回収事業を検討する上で、これらの試験結果は参考になる要素が多々あると考えられる。報告書については、JOGMEC図書館にて閲覧可能である。

事業名称(モデル現場)	研究対象	対象鉱種	技術要素	実施年度
1) 坑水中の金属回収技術開発 〔松尾(岩手県)〕	鉄溶存酸性坑廃水からの フェライト、ヘマタイト ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, Fe_2O_3) 回収	Fe	常温フェライト法	S55～H2年(1980～1990年)
2) 未利用希少金属資源の有効利用 〔タイ〕	錫の漂砂鉱床の 選鉱尾鉱(アマン)	REE, Ta, Nb	篩分、比重選鉱、静電選鉱	S59～H1年(1984～1989年)
3) 未利用金属資源の有効利用 〔メキシコ〕	含金銀硫化鉄精鉱	Au, Ag	バクテリアリーチング、 青化製錬、シアン廃水処理	H2～6年(1990～1996年)
4) 環境調和型高能率鉱物資源抽出・ 処理技術 〔カザフスタン〕	浮選尾鉱、低品位鉱	Cu, Au, Ag	ケミカルリーチング、 バクテリアリーチング、 SX-EW、シアン廃水処理、 Au-Ag回収	H6～12年(1996～2000年)
5) 高効率殿物造粒システム技術 〔幌別硫黄(北海道)〕	硫酸酸性坑廃水の 中和殿物	Fe, Al	鉄酸化バクテリア法、 二段中和法、殿物繰返法	H13～16年(2001～2004年)
6) 製錬所煙灰の無害化金属回収技術 〔Ventanas製錬所(チリ)〕	銅製錬所煙灰	Cu, Pb, Zn, As	結晶質硫酸鉄、砒素固定、 有用金属回収	H13～18年(2001～2006年)

注:H17年度以降、同様試験を続行中。