

最新選鉱技術事情(2)

—外部機関(選鉱研究所、コンサルタント、エンジニアリング)の使い方—

金属企画調査部 調査課
専門調査員

中村 威一

連載

最新選鉱技術事情(2) —外部機関(選鉱研究所、コンサルタント、エンジニアリング)の使い方—

1. はじめに

前回のレポート(金属資源レポート2012.5)では鉱山開発の初期段階から選鉱技術者の関与が必要であり、それに伴う経済性評価等に関して述べた。ただ、選鉱技術者がいたと言え、一人で選鉱試験から設計まで出来るわけは無く、当然、選鉱技術者がいても外部の選鉱研究所やコンサルタント、そしてエンジニアリング会社を使用する必要がある。

選鉱技術者によるプロセス開発とは、通常対象となる鉱石を処理する上で、最も経済的で信頼性のある方法を選択、設備を選定し、建設して、試験運転するまでを言う。例えば車のデザイナーであれば、消費動向を探り、消費者ニーズに合う車を安全性、コストを考慮しながらデザインするような、消費者中心のアプローチを行うが、選鉱技術者はどちらかと言うと対象鉱石を中心に開発を進める。これは、車等の場合は製品を製造するのに適切な部品を集めてくる、又は開発するのにに対し、鉱山の場合は、まず対象鉱石が存在し、それをどのように処理するかを考える事が中心になる為である。

従って、選鉱技術者として開発最初のアプローチは、地質技術者より鉱石試料を受け取り、それがどのようなものであるかを調査する鉱物試験である事が一般的である。もちろん、地質技術者から受け取った試料がその鉱床を代表するものであるとは限らない為、その試料がどのように採取されたものであるかは確認しておく必要がある。その上で、通常は最初に鉱物試験が実施される。

鉱物試験が行われた後、地質データと合わせて基本処理法が検討される。その際は、例えば硫化銅鉱の様に非常に一般的な場合は類似操業から浮選法かSX-EWを組み合わせたかなどが想定できるが、鉱種によっては分離試験を実施する必要がある。分離試験を行う為にはサンプリングが必要であり、地質技術者と相談しながら、通常、ボーリングコアから1~3種類程度のコンポジットを作成し分離試験を実施する。分離試験は鉱山会社の場合はIn-Houseとして社内の研究所を使用するケースが多いが、一方、コンサルタントを通じて外部の試験室を使用するケースも多い(実際には硫化銅鉱でも分離試験は実施されるケースが多い)。

その後、類似操業や分離試験試験結果からScoping Studyとして簡単な経済性評価を行う。本段階での経済性評価はラフなものであり、重要な要素としての実収率、初期投資、操業費を試算し、総枠を求めるものである。詳細は続編の「初期投資、操業費の求め方」で述べることにする。

Scoping Study、Pre Feasibility Study、Bankable Feasibility StudyはEnvironment Impact Study(EIS)と同様にプロジェクトの公式文章として基本的に公表されるものであるため、投融资に関する側面以外に対外的に示す正式文章として認識、利用されるべきである。特に最近のプロジェクトでは開発初期段階からの周辺住民の理解、参加が必要となっており、プロジェクトの成否を左右するまでになっている。従ってプロセスの立場としては、特にScoping Studyの段階で、広く対象となるプロセスを掲げた上で、何故、提唱するプロセスが選択されたのかを述べ、その後のプロセスのベースとして、対外的に示すべきである。特に、レアアースやその他の鉱種ではベースメタルと異なり、プロセスの選定が非常に重要となってくる。折角、費用を使って、各Studyを行うのであるから、その意味を十分に考慮する事が必要である。

次にPre Feasibility Study段階になると、Scoping Studyで設定したプロセスを具体的にしてい段階とされる。即ち、概算や分離試験だけで求めた初期投資では無く、実際の硬さ試験や摩耗試験等を実施し、機器の選定を行ったり、平均コンポジットだけではなく、変動試験を実施して鉱種による差を確認し、採鉱計画を作成する事により埋蔵量計算を行う等のScoping Studyの内容を検証する等の手順が必要となる。Pre Feasibility Studyの段階ではScoping Studyの延長線としてコンサルタントが実施する場合と、Bankable Feasibility Studyの前段階としてエンジニアリング会社が担当する場合がある。どちらにしてもScoping Studyのプロセスを具象化していく段階であり、機器の見積もりを予算価格(Budget Base)でメーカーより入手し、積み上げベースで実情に合った初期投資費用や操業費等を計算するべきである。本段階で、濃縮、脱水等のメーカー試験も増加する。本段階では実際のエンジニアリングの基盤となるDesign Criteriaも作成される。

Bankable Feasibility Studyの段階になると、各機器も数社から相見積もりを入れる等、エンジニアリングとほぼ一体化する為にエンジニアリング会社を利用するケースがほとんどである。当然ながら初期費用等は安くする事が重要ではあるのだが、安価だけでは無く、操業を想定しながら問題が無いようにしなければならない。又、実際には操業が

開始されると十分に設計準備をしていたとしても何らかの問題が起こる事は通常であり、初期コストを増加させないようにしながらも、それらの問題に対する対応策を図り、準備しておくのも重要である。例えば、処理量が達成できない場合を想定して、ペブルクラッシャーの増強の場所や、トロンメル代わりに振動スクリーンを設置する場所を確保しておく等である。当然、この様な対応は初期費用増加につながる対応ではあるが、選鉱技術者は常に問題が起こる事を想定し、その対処法を確保しておくことが非常に重要となる。

Bankable Feasibility Studyとほぼ並行してEnvironment Impact Study(EIS)が実施される。ただ、EISはベースラインスタディとしてプロジェクトが行われる前の環境状態調査に時間がかかるのでそれらはScoping StudyとPre Feasibility Studyの間ぐらいから始められる事が多い。EISでは何故選択されたプロセスが適切かを問われるのでScoping Studyでのプロセス選定工程が非常に重要になってくる。

この様に、鉱山開発では各部門が絡み合い、又、外部機関も多く使用する必要がある。ただ、選鉱に関しては基本フローも出来ていないのにPre Feasibility Studyや場合によってはBankable Feasibility Studyに移行しようとしている場合も見受けられる。本稿ではこの様な状況を鑑み、選鉱を通じてどの様に外部機関を用いるかについて述べたいと思う。

2. 鉱山開発の為の選鉱項目

鉱山開発において、上記の様にScoping Study、Pre Feasibility Study、Bankable Feasibility Studyのステップを踏む事は知られているが、残念ながら実際に選鉱関係でどの様な事をしなければならぬかの全体の流れを理解している人間は少ない。もちろん全てのプロジェクトで同じ手順が取られる事はないが、以下に代表的な項目を述べる。これを理解していないと、Feasibility Studyを作る段階において、まだ基本フローの選定も行われていないような状況も散見されるし、基本フロー選定後も開発までは多くのステップが必要であるが、そのスケジュール感も得られない事になりかねない。実際に今回のテーマとして取り上げた外部機関を使用する為の最も重要な事はこの全体の流れを理解し、現在どの位置に居て、現在何を求めなければならぬかを理解する事である。特にこの事はオーナー側が理解しておく必要がある。即ち、日本企業が外国の企業とジョイントベンチャー等で開発を行う場合であっても、日本企業側で以下の手順を理解し、相手先が現在どのような位置に居て、今後どのような事を行わなければいけないかを理解しておけば、例え、選鉱技術者がいなくても、取り敢えずプロジェクトのモニタリングは可能なのでは非、以下の8段階の手順は理解してもらいたい。

2-1. 鉱物試験

先にも述べたが、鉱山開発において選鉱技術者が最初に行うのが鉱物試験である。

鉱物試験は、QEMScanを持つ選鉱研究所であるならば選鉱技術者でなくても依頼可能であるので例えば地質技術者が担当する場合も多い。ただし、その結果を判断する為にはやはり、選鉱技術者が担当する方が良いと言える。

2-2. 基本フローの選定

鉱物試験が実施され、開発が行われる際には基本フローを選定する必要がある。その段階ではオーナー側で選鉱担当者を選定し、実際に試験を実施する選鉱研

究所を選定し、又、実際にプロジェクトを開発する価値があるかどうかを判断する目的の予察的経済評価を行う必要がある。詳細は後述するが、ここではそのリストを挙げる。

- 選鉱担当者の選定
 - 目標の明確化
 - 試験試料の選定
- 選鉱研究所の選定
 - 予備試験結果比較
 - 見積もり
- 予察的経済評価
 - 収入
 - CAPEX, OPEX

2-3. 変動試験

基本フローが選定されたら、そのフローが鉱石毎にどの程度成績に差が出てくるかを確認するのが変動試験である。その結果は、多変量解析を用いて処理量、実収率、精鉱品位が予想できる様に数値モデル化できるように予想式を立てる事が求められるので、通常約100個程度の試験が実施される。この結果が採鉱ブロックモデルに導入されて、経済的採鉱計画が立てられて、初めて埋蔵量が確定される(資源量と埋蔵量の違いに関しては前回の金属資源レポートで説明済み)。また、鉱石の性状が変わる事が確認されると、成績の悪い鉱石に対してどの様な対応を取る事が良いかを確認する為の最適化も実施される。

2-4. 設備選定試験

基本フローでは概念設計の段階であるので、実際にどの様な設備を導入するかを確認する為の試験が実施される。当然エンジニアリングに関連する事なのでエンジニアリング会社为主体となって行われる事もある。詳細は後に述べるが、主な内容は以下の3つである。

- 破碎粉碎試験
- Pilot Plant
- その他設備試験

2-5. エンジニアリング

詳細は続編の「選鉱設備設計とは」で述べるが、少なくともBankable Feasibility Studyの段階ではエンジニアリング会社に依頼して設備設計、初期投資額(CAPEX)、操業コスト(OPEX)を確定する必要がある。

2-6. 経済性評価

前回の「鉱山開発における選鉱技術者の役割」でも述べたが、ほとんどのプロジェクトではDiscount Cash Flow法によるIRRとNPVで行われる。詳細は続編の「初期投資、操業費の求め方」に記すものとする。

2-7. 操業準備

操業員の雇い入れ、トレーニングマニュアルの作成、オペレーションマニュアルの作成、報告書フォームの作成、コミッショニング等が中心。現在はマニュアルは電子化してトレーニングと一体化するComputer Base Training(CBT)が一般化してきておりエンジニアリングで作成されたP&ID(Piping & Instrumentation Diagram)を基に外注して効果を上げる事も多くなってきている。又、操業開始に備えて、分析室や、試験室、メンテナンスの準備を行っておくことも重要である。

2-8. 操業開始

操業開始では通常ランプアップ期間として、徐々に処理量や操業度を上げていき初期トラブルを解決していく事を計画に盛り込んでいるが、エンジニアリングの段階や操業準備段階で起こりうるトラブルを予想しておき対応を検討しておく必要がある。

3. 鉱物試験

鉱物試験はこれまで、

- 蛍光X線分析装置による元素簡易分析
- 化学分析
- X線回折による主鉱物同定
- 示差熱分析による粘土鉱物同定
- 光学顕微鏡による金属鉱物観察
- EPMA、SEMによる面分析
- 主要元素の化学分析

が代表的なものであった。特に光学顕微鏡による鉱物観察は直接その鉱物を観察するとあって、選鉱技術では非常に重要な分野であったが、習熟した顕微鏡技術者が必要な分野でもあった。1970年代よりオーストラリアのCSIROで鉱石サンプルで鉱物を同定する方法をX線の分光技術と走査型電子顕微鏡エネルギー分散型を使用した研究が進められ、2003年にはQEMScanとして製品化された。以後も改良が進められ、現在では選鉱分野ではある意味で標準的なステータスを得るまでになっている。日本では産総研が最近になってQEMScanを導入している。

4. 基本フローの選定

基本フローを選定する上で重要なのが最初にオーナー側で選鉱担当者を選定し、実際に作業を行う選鉱研究所を選定する事である。選鉱担当者は必ずしも選鉱技術者である必要はないのであるが、上記のように開発に至るまでの選鉱項目は理解しておかなければならないし、オーナー側の立場として経済評価は出来る人間でなければならない。逆に例え選鉱技術者であったとしても、それらが出来ないようであれば、プロジェクトを進める上での選鉱担当者としては不適切だと言える。選鉱担当者は類似操業や文献等の情報を収集し、基本フローの候補を挙げて、実際に試験を実施する為の選鉱研究所を選定する事になる。この段階では、基本フロー候補は広く掲げておき、一つに絞らない方が良い。

候補が上がったら、実際に試験を実施する為の選鉱研究所を選定し、見積もりを依頼する。これは、一つの選鉱研究所に依頼しても良いし、候補ごとに幾つかの選鉱研究所を選定しても良い。著者は幾つかの選鉱研究所を選定して同じ試料で試験を実施し、比較する事を好むが、契約数も多くなり、進捗管理も大変になる事は覚悟する必要がある。又、見積もりにPreliminary Testを各試験所に実施させて、処理フローを逆に提案させる方法も多くとられる。

同時に準備する事は試験に必要なコンポジット試料の作成である。これは質、量共に満足させる必要があるので地質技術者と討議して、得られているボーリングコアを用いて作成される事が多い。地質技術者は主として岩相による分類(岩石分類)による層別と品位から混合比を求めてコンポジットを作成するので、代表性を確認する為にはある程度の知識が必要となる。

尚、混同されがちであるが、岩石と鉱物は別物である。岩石は、鉱物または岩石破片の集合体であり、化学的に均質なものではない。鉱物は、化学的にはほぼ均質で、原子・イオンレベルで3次元的な秩序配列(結晶構造)を持つ。具体的には、墓石などに使われる花崗岩(御影石)は岩石であるが、花崗岩は石英、長石、雲母などの鉱物の集合からなっている。

4-1. 選鉱担当者の役割

先にも述べたが、鉱山開発を行う上で重要なのが選鉱担当者の選定である。鉱山会社がオーナーであるなら、自社で選鉱技術者を持っていると考えられるのでその人間を担当者とする事が通常であるが、例えば日本の商社が海外の探鉱ジュニアカンパニーとJVを組むような場合には選鉱技術者を保有しないと考えられるので、その場合は業務に精通するコンサルタントを雇う事になる。コンサルタントとしては海外で選鉱業務担当個人コンサルタントや選鉱研究所でも利用する事は出来るが、重要なのは先に述べた鉱山開発の為の選鉱項目を良く理解し、これらのコンサルタントをコントロールしなければならない。その為には、銀行な

どの金融機関でも良く、Due Dilligenceや環境評価で独自に評価コンサルタントを雇い、プロジェクトの選鉱分野が正当に実施されているかどうかのチェックを行う事も多い。JOGMECでも企業支援として専門家のアドバイスを始め、コンサルタント費用の補助等様々な支援があるので相談してもらいたい。

4-1-1. 試験目的の明確化

選鉱試験でどのような選鉱研究所を用いたとしても、これらはあくまで請負機関であり、基本的な事項はオーナーが責任を持ち、試験を依頼する場合でも試験目的はできるだけ具体化、明確化する必要がある。例えば、最初にも述べたが、試験がScoping Studyの段階なのか、Pre Feasibility StudyやBankable Studyの段階なのかでその試験内容も要求事項も大きく異なってくる。Scoping Studyの段階では対象鉱石やその位置に対し最も有効なプロセスを選定する事が求められるので代表的コンボジットを作成し、多くのプロセスについて基本的な試験を行う事が求められるし、Bankable Feasibility Study段階であるのならば選定したプロセスに対し、多くの鉱石の試験を行う事でモデル化し、操業年度毎の成績を予想する事が求められる。基本的には重要なのはScoping Studyの段階における選鉱試験であり、目的を果たす為に、数社の選鉱研究所に同じ鉱石を出して、並列に試験を行う事もある。一方で、Scoping Studyの段階でのプロセス選定試験がいい加減な場合には、Pre Feasibility Studyや場合によってはBankable Feasibility Studyの段階でプロセス見直しを行う必要性にも迫られる場合も多いので注意を要する。

4-1-2. 情報収集

選鉱研究所を使用したとしても基本的なフローシートはオーナー側が決定する事が多い。従って、実際に試験を依頼する前に対象鉱石に近い実操業例を調査し、その成績や操業条件、設備の調査を行う必要がある。できれば、その場所を訪問し、操業上の問題点や苦労話なども現場Auditする事が望ましい。

又、銅などのベースメタルでは余り問題になる事はないが、レアメタルの鉱山開発の様な場合には市場やユーザー訪問を行って状況を確認する必要もある。

参考書

情報収集する上で、現在有効な方法はInternetで検索する事である。特許情報も技術情報としてかなり有用であるので参考にしたい。参考書としては、多くの場合、富田堅二先生著「選鉱便覧」(1966)を用いる事が多く、現在でも基礎資料として十分に通用するものであるが、著された時点から既に半世紀近く経っており状況がかなり変化しているプロセスも多い。世界的に選鉱技術者に実用書として使用されている本としては選鉱試験のメーカーであるCytec社が発行している「Cytec Mining Handbook」がある。非売品ではあるが、

世界の選鉱技術者の間では広く流布しているのでは是非手に入れておく必要がある。Barry A. Wills著の「Mineral Processing Technology」は海外の大学で教科書として使用されている。選鉱の単位操作を理解する上で基礎となる非常に良い教科書ではあるが、実際の現場で適用する上では少々そぐわない点も見受けられる。Srdjan M. Bulatovic著の「Handbook of Flotation Reagents」は著者のLakefield研究所での経験が良く纏められており、浮選条件を検討する上では是非参考にしたい1冊である。JOGMECでも選鉱に限らず、地質、採鉱等多くの技術書類を纏め、利用できるのでは気軽に相談いただきたい。

4-2. 選鉱研究所の選定

プロセス開発は、各大学や非鉄金属各社の研究所等で基礎試験やコンセプト試験が行われる事も多いが、実際に鉱山を開発するにあたっては、以下に代表される様な試験機関を使用する事が多い。ただし、注意すべきはこれらはあくまで試験機関であり、クライアント側でその試験機関と打ち合わせを行い、方向性を示さなければならない。従って、クライアント側でも選鉱コンサルタントを雇うかして、常に選鉱研究所と密接な連絡を取る必要がある。

4-2-1. 世界の主な選鉱研究所

SGS Lakefield

カナダ、トロント近郊にある分析試験会社で、2002年に鉱業分野で著名な分析会社のSGSと選鉱試験等で歴史のあるLakefield Researchが合併して設立。

カナダ、オーストラリア、チリ、ブラジル、米国、南ア、英国などに支部をもち、1,000人以上のスタッフを有する(2006年はロシア、2007年はインド、中国にも進出)。

鉱石分析、選鉱試験等ピーカーレベルからパイロットプラントレベルまでの試験を実施。

AMDEL

1960年に西オーストラリア政府と民間企業によるコンソーシアムAMIRAにより設立された分析機関(1987年に民間企業として独立)。

鉱業に係わる各種の分析試験のほか、近年では環境、農業、薬品、さらに鉄鋼業界や自動車業界にもそのサービスを展開。

Hazen

1961年に創立した米国コロラド州、ゴールデンにある分析試験会社。

現在110名余のスタッフによる鉱石分析、選鉱試験等ピーカーレベルからパイロットプラントレベルまでの試験を実施。

CSIRO

オーストラリア連邦科学産業研究機構(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)はオーストラリア教育科学訓練省所管の研究開発機関。

1916年設立。オーストラリア最大の総合研究機関で、産業への応用や公共の利益につながる国家的課題の解決に向けた研究開発を行うことを目的とする。

研究分野は、農業、環境、情報通信、保健、材料、製造、鉱物、エネルギー等広範にわたり、スタッフは6,500人。

本部はキャンベラにあり、支所は国内、外国事務所大小合わせて57カ所。

2006-07年予算は607百万A\$ (連邦所管省庁からの予算)、外部からの委託などを加えると900百万A\$を超える。

MINTEK

MINTEKは、南アのMineral Technology法(1989)に基づき設置されている独立した国家機関であり、選鉱、製錬、材料工学といった生産技術に係る調査研究を主に行っている。

1934年に設立され70年以上の歴史を持つ。金鉱床からのウラン回収技術の研究、Carbon in Pulp法による金の回収、白金族金属の回収法などで南ア鉱業の発展に寄与。このほかに、南アの研究機関であることから、フェロアロイや砂鉱床などの処理を得意分野としている。

職員数は750人(うち専門職250人)。50百万US\$の予算のうち30%が政府から資金である。なお、我が国の独立行政法人物質・材料研究機構とは白金族金属をベースとした高融点超合金に関する研究協力を行っている。

XPS

Xtrata Process Support(XPS)はXtrataが有する研究機関であり、カナダ サドベリーに位置し、社外のプロジェクトも請け負っている。

鉱物測定は多くの機械を有しQEMScanだけでも3台保有している。

その他、湿式、乾式冶金試験も可能。又、プロセスコントロールや素材分野も有する。

广州有色金属研究院

Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals (GRINM)は中国南部最大の鉱物研究所であり、1999年に3つの金属関係の研究機関が合併し設立。現在は広州省の管理下。

1,276人のスタッフ、475名の教授、235名のドクターを有し、18の下部研究機関を有す。

新金属の研究に優れ、特にレアアースについても30年以上の経験を有す。

北京矿冶研究总院

Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy(BGRIMM)は1956年に設立された採掘から閉山までをサポートする中央政府管理下の研究機関。現在はその4割の業務を海外プロジェクトに割いており、海外からの依頼も受けている。

従業員は3,000人。エンジニアリングも手掛けている。

最近、2012年に試験棟を移動したばかりで調整中。

4-2-2. 見積もり依頼

試験目的を明確にし、収集した情報を元に仕様書を書いたならば、試験を行う選鉱研究所を選定する為に各試験場にプロジェクトの概要と試験受諾の可否を問うためのレターを送付する。受諾の意思が判明したら、次に守秘義務協定(Confidential Agreement、CA)を締結した後、仕様書や関連データを送付し、見積もりを出してもらう。見積もりには仕様書に基づいて、試験項目、試験期間、費用、必要試料量、及びその鉱種における試験経験リストを記述するように依頼する。その後、それらの内容を検討した後に試験を行う為の選鉱試験研究所を選定する事になるが、見積もりだけでは無く、実際に数社に対して同一試料を送付し、簡単な試験を実施させて、成績や内容の比較を行う場合もある。

4-2-3. 選定基準

選鉱研究所を選択する上では見積もりによる値段の比較以上に以下の項目を確認する。

設備

外部選鉱研究所を選ぶ際に最も重要なのは、その研究所における主任技術者の経験と実績が大きい、合わせて以下の様な設備を有する研究所に依頼すると仕事の効率が良いので参考までに記す。尚、以下の2つはどちらかと言うと、コンポジット作成や鉱物試験の段階での設備であるので、これらの仕事は当該設備を有する研究所で行い、実際の分離試験は他の研究所で行う事もある。

ボーリングコア自動ロギング装置

ボーリングコアをそのまま蛍光X線分析装置を用いて自動的に品位ロギングする装置。測定で粉碎する必要もなく、長さ(深さ)方向で直接品位データを得る事が出来るのでコンポジットを作成するのに非常に便利な装置である。ただし、放射線管理の問題がなければ、ポータブル蛍光X線分析装置で同様な方法は可能。

QEMScan

独立行政法人産業技術総合研究所(産総研)が最近導入したとの情報。

分析法の確認

分析は非常に重要であり、値を確認する意味でもいくつかの研究所で同じ試料について予備試験を行うことは重要である。分析に関してはその精度とスピードが要求される。鉱種や前処理法(混合酸や粒度)によっても分析値は変わる場合があるので注意が必要である。

成績比較

多くの場合、選鉱試験方法は標準化されており、先の参考書で挙げた「Cytec Mining Handbook」にも示されているような方法を用いられていることが多い。ただし、粉碎条件などや基本試薬などやはり、各試験研究所ごとに条件は異なり、トレースの意味合いをこめても成績比較を行うほうが良いと考える。特にレアメタル選鉱のような場合には試験場毎に成績が大きく異なることもままあり、その後のフローシート作成に影響する。

フローシートを選定したならば、Preliminary Testから精選試験等を行い、最終的にバッチ試験の延長である繰り返しを含むLocked Cycle試験を実施して、最終成績を求める。

5. 予察的経済評価

プロセスを選定する上ではやはり、基本的には経済評価を行う必要がある。当然、本段階では経済評価自体がかなりラフなものであることは否めなく、例えばCAPEX、OPEXもMining Cost Dataや類似プロジェクトを参考にして求めるような事もある。ただし、ここでラフとはいえ経済評価を行うことによりプロジェクト全体のレビューを行うことにもつながるので、選鉱担当者は都度経済評価を行うことが望ましい。

6. 変動試験(モデル化)

先にも書いたが開発に関しても生産時においても実収率、品位を予測する為のモデルの作成は非常に重要である。通常、開発初期の段階では岩石分類と品位による層別で成績予想を行うが、同じフローで色々な鉱石で試験し、その成績の差を確認する変動試験(Variation Tests)を実施する時には、化学分析値で成績を求めるようなモデル式を作成する事が通常である。例えば銅鉱石の場合には、通常酸化鉱では実収率が低下するが、それを酸溶解銅やアンモニア溶解銅などを分析し、酸化度合いの指標とし、成績予想を行う事になる。指標として良く用いられるのは、Cu、OxCu(酸化銅として記述されるが通常は酸溶解銅やアンモニア溶解銅で代表される)、Fe、S、Al₂O₃、MgO、As、Sb等であるが、QEMScanの鉱物分析や試験結果に基づき、分析技術者と相談の上、分析指標を決定する事が通常である。

即ち、①コンポジットによるプロセス開発、②作成したプロセスによる変動試験、③多変量解析による数

値モデル化(処理量、実収率、精鉱品位)、④ブロックモデルへの予想式入力(ボーリングコア追加分析を含む)、⑤最適採鉱計画、⑥年度別キャッシュフロー計算の順で行う事になる。これによって最終的な鉱石毎の層別となる。

鉱石の変動はバッチ試験で求めるが、代表的な鉱石に関してはLocked Cycle試験を実施して、最終成績予想に役立てる。

6-1. Variation Test

同じフローで色々な鉱石を試験し、鉱石性状による成績変動を確認する為の試験。銅鉱石の浮選フローの様な場合だと通常は100以上の試験を実施し、多変量解析を行う事でモデル化する。先に述べたように鉱石は分析項目を決めて、性状を現せるようにする事が大切である。

鉱石性状で実収率、精鉱品位と共に重要なのが処理量であり、通常は試験ミルで一定時間粉碎し、その粒度差で硬さの比較を行い、処理量予測式を立てる。

又、試験フローも粗選と精選1回のみと言うように単純化し、その結果から、最終成績を推定するような手順を取られる事が多い。これらの結果は最終的に採鉱ブロックモデルに組み込まれ、最適採掘計画が作成される。

6-2. 操業成績によるモデル化

試験とは異なるが、操業に入ると鉱石性状の成績への影響を求める為のモデル化は開発におけるVariation Tests以上に重要になってくる。これらの内容は続編の「問題が起こった時の解決法」でより詳細に述べるものとする。

7. 設備選定試験

設備選定試験は選鉱担当者が中心と成って行う場合とエンジニアリング会社を通して行う場合があるが、主な内容は以下の3つと考えられる。

7-1. 破碎粉碎試験

選鉱設備で最も重要とされるのは粉碎機の選定である。特にSAGをはじめとするミルは値段が高いこともあるが、通常納期が長いので、早め実施される傾向がある。ただし、注意しなければならないのは、サンプルの代表性であり、変動試験を実施する前にコンポジットを用いて設計値を求めた為、実際の操業で処理量が行かない過少設備になってしまう事例も見受けられる。又、破碎、粉碎機は例えばWi等の設計指数を求めた後、シミュレーター等の計算によって設備を選定することが一般的であるが、シミュレーターによってはミルの選定には差が出てくる。従って、以下に述べる方法から数社を選定し、得られた設備で最大の物を選定するほうが良い。筆者の経験からはJKSimの結果は設備が他と比較し小さく算出される傾向があるよ

うに思われる。

又、Variation Testから硬い鉱石を選定し、改めて硬さ指数を測定した上で改めてシミュレーターでどの程度の処理省低下が起こるのかも計算しておく必要がある。以下に一般的に用いられる設計指数(硬さ指数)を挙げる。

- ボンド ボールミルWi：上に述べたボンドの粉碎仕事指数。目的粉碎サイズ毎に試験されるが、通常の試験サイズは48Meshサイズから400Meshまで。
- ボンド ロッドミルWi：ボンド試験ではボールが使用されるが、ロッドミルを対象または、粉碎目的サイズが4Meshから65Mesh程度の場合用いられる。
- ボンド クラッシャーWi：クラッシャー設計に用いられる。
- ボンド 摩耗試験Ai：粉碎媒体とライナー消費量予想に用いられる。
- JK Drop-weight test breakage parameters(A x b, ta)：JKTechがJKSimMetと言う磨鉱シミュレーションプログラムを用いる為に使用する試験。ペンドラム試験とも呼ばれる。SAGデザインに多く用いられているが、本試験結果とSPIの結果を併用してSAG仕様を決定する事が多い。
- SMC Drop Weight Index(DWi)：JK Drop-weight test breakage parametersよりも試料量が少なく済む。
- SAG Power Index (SPIR)：Minnovex CEET grinding simulation systemに用いられSAGやAGの設計に使用される。非常にデータ数が豊富でJKペンドラム試験と併用してSAGデザインに用いられる事が多い。
- MacPherson Autogenous Work Index：やはり、SAG、AGミルをボンドのボールミルWiやロッドミルWiと一緒に用いられる。

SAGの代わりにHigh Pressure Grinding Rolls(HPGR)を使用する場合や、微粉碎としてIsaMill等を用いた場合は試験設備を持った試験研究所で試験を実施するか、シミュレーションプログラムを用いて効果を概算する方法が良く用いられている。以下にHPGRとSAGをシミュレーターを用いて比較したレポートが示されているので参考にして欲しい。

(<http://www.saimm.co.za/Journal/v110n03p117.pdf>)

7-2. Pilot Plant

連続小規模試験であり、少し前まではこのPilot Plant試験の結果が非常に重視されていた。しかしながら、本試験は大量の試料が必要であり、試料の代表性にも疑問が残る。通常は試験坑道を掘って試料の採取を行う。従って、成績の確認というよりも本試験は設備の問題点を抽出する試験と位置づけるべきと考える。ただし、冶金試験やシックナーや脱水試験などの他の設備試験を行う為の試料を準備する意味合いは持つので、出来る限り実施すべき手順ではある。

7-3. その他設備試験

シックナー設計の為の濃縮試験や脱水試験等が設備試験として挙げられる。又、注意すべきはパルプの粘性を測定。以前、ポンプメーカーを有する鉱山会社のプロジェクトでポンプを過小設計し結局全てのポンプの取替えを行わなければならなかったような事例すらある。又、濃縮試験は昔はメスシリンダーを用いた沈降試験等が行われていたが、現在の主流であるHigh Rate Thicknerなどではメーカー毎に試験機があり、かなり多量の試料量が必要となる。その点でも上記Pilot Plant試験は実施するべきである。

8. エンジニアリング

変動試験で行われるLocked Cycle Test、設備選定試験の結果を元に、実際のプラント設計の為のエンジニアリングが実施される。一般的にはエンジニアリング会社を選定し、そこに選鉱担当者が常駐することで設計が進められることが多い。詳細は続編の「選鉱設備設計とは」で述べる。

8-1. 鉱山開発の為のエンジニアリング会社

Pre Feasibility Studyや特にBankable Feasibility Studyでは上述したようにエンジニアリング会社を使用して作成する事がほとんどである。日本にも優秀なエンジニアリング会社はあるが、鉱山開発ではAMEC、Bateman、Bechtel、Fluor Daniel Wright、Hatch Associates等の経験豊富な大手の多国籍エンジニアリング会社を使用する事が多い。又、環境問題ではGolder Associates、プロセス評価ではSRK Consultingと其々の分野で幾つかのエンジニアリング、コンサルタント会社を用いてプロジェクトを進める事も多い。通常はプロジェクトオーナー会社より数名~10数名程度をエンジニアリング会社に派遣し、エンジニアリング会社とオーナー会社で連絡を密にして仕事を進める事が多い。

8-2. デザイン・クライテリアの作成

オーナーとエンジニアリング会社で結ばれるのが設計と件であるDesign Criteriaである。Design Criteriaと言っても、上記のような各試験結果を総合的にまとめたDesign Criteriaもあれば、単に処理量と品位等やざっとした物量バランスを挙げたような目も当てられないようなDesign Criteriaも存在する。従って、選鉱部門でプロジェクトの状況を確認する為にはDesign Criteriaがどのようなものであるかを確認し、そのBack Dataを確認するだけで事足りると言える。

9. 経済性評価

詳細は続編の「初期投資、操業費の求め方」に記すが、経済性評価自体は収入予想(金属価格、原鉱品位、処理量、実収率、製錬実収率)とコスト予想(操業費(物品費、人件費、エネルギーコスト)、管理費、製錬費、

輸送費(精鉱品位の関数))と初期投資額が決定すれば計算自体は非常に単純である。問題はそれをどの様に論理的に予想しているかであり、変動試験の重要性がここにある。

10. 操業準備

先にも書いたが、操業員の雇い入れ、トレーニングマニュアルの作成、オペレーションマニュアルの作成、報告書フォームの作成、コミッショニング等が中心。雇い入れは、知り合いを当てる場合も多いが、公式には新聞広告等でJob Requirementを出したり、Linked Inを利用したりする。この頃には建設も進み、Commissioning準備も大切になってくる。

又、大事なものは分析室や、試験室、メンテナンスの準備。分析室は国際的な分析機関に依頼する事が多い。エンジニアリング時に定常的なサンプリング装置は設置するが、その他に細かいマテリアルバランスを作成する為のハンドサンプリング箇所を計画しておく事もトラブル解決の為には非常に重要になる。又、プ

ラントの機器からのデータ解析を行う為の準備があるが、マイクロソフトエクセルに直接データ呼び込めるPIシステムの利用が一般化している。

11. 操業開始

操業開始では準備しておいても成績が上がらなかったり、初期トラブルが続出することが通常である。その場合、外部コンサルタントの助けを借りたり、追加試験を実施したりもする。詳細は続編「問題が起こった時の解決法」に示すものとする。

12. まとめ

前稿の「鉱山開発における選鉱技術者の役割」では、プロジェクト全体に対して選鉱技術者の関与に関する概論を述べたが、今回は実際の選鉱技術者の行うべき仕事のフローのうち、特に試験業務を中心に述べた。次回はエンジニアリングにおいて実際の選鉱設備を設計するに当たって留意すべき点について述べるものとする。

(2012.6.7)