

国際協力事業団

モンゴル国

エルデネット鉱山

モンゴル国エルデネット鉱山  
近代化計画調査報告書

第3編 銅製錬所建設構想への提言

平成5年12月

三井金属資源開発株式会社  
(MINDECO)

リ  
フ

モンゴル国エルデネット鉱山近代化計画調査報告書

(第三編)

平成5年12月

図

JICA  
115  
66  
MPI  
LIBRARY

鉱調工  
CR(3)  
93-176



国際協力事業団

モンゴル国

エルデネット鉱山

モンゴル国エルデネット鉱山  
近代化計画調査報告書

第3編 銅製錬所建設構想への提言

JICA LIBRARY



1120068101

平成5年12月

三井金属資源開発株式会社  
(MINDECO)

国際協力事業団

27756

# 銅製錬所建設構想への提言

## 目次

	ページ
1. 緒言	1
2. 提言のまとめ	2
3. 本件に関し意見交換をした政府関係者、技術者及び関係資料	4
3-1 銅製錬所建設構想に関し、意見交換を行った人員名簿	4
3-2 銅製錬所建設構想に関し、モンゴル側より調査団が提供 を受けた資料	5
3-3 銅製錬所建設に関し、当方より提出した参考資料	5
4. 「“ Report ” on Development of Copper Industry in Mongolia」 の概要	6
4-1 “ Report ” の作成目的と範囲	6
4-2 銅製錬所に関する基本設計 (1996 年 Start 予定)	6
4-3 建設投資に必要な金額概要	7
4-4 経済上、財務上の簡易分析	7
4-5 提起されている問題点	8
4-6 政府内に於ける “ Report ” の評価と、当面の見解	9
5. 調査団の評価	10
5-1 評価の概要	10
5-2 投資金の調達	10
5-3 環境に対する影響	10
5-4 Infrastructures の設備が優先	11
5-5 国際的連繋	11
5-6 C I S の銅製錬所との関係	11
5-7 製錬技術者及び関連技術者等の人材育成	12

6.	技術面の提言	13
6-1	生産規模	13
6-2	供用銅資源と工場立地	14
6-3	プロセスの選択	14
6-4	エネルギーとユーティリティ	15
6-5	硫酸の処分法（リン酸肥料生産）	15
6-6	銅精鉱中に含まれる As 対策	15
6-7	湿式製錬技術の検討	16
7.	経済、財務側面からの提言	17
7-1	銅製錬所建設のための詳細 Feasibility Studyについて	17
7-2	建設投資金額の妥当性	18
7-3	資金 Source	19
7-4	新製錬会社の形態	20

## 1. 緒言

モンゴル国エルデネット銅鉱山には 120,000ton/年を生産する資源及び設備があり、現在はその精鉱を輸出してモンゴル国にとって貴重な外貨獲得の役割を果たしている。

表-1に見るように、世界の銅地金の消費量、生産量とも経済成長率(約4%)ほどではないが漸増の傾向にあり、地金価格は需給のバランス、社会的問題(ストライキ、戦争etc.)などで都度変動するが大局で見ると物価につれて上昇する見込みである。

モンゴル国にとっても自国の資源により高い付加価値をつけること、例えば銅地金を得る事、つまり銅製錬所を建設することは当然の考えである。すでに昨年(1992年)「“Report” on Development of Copper Industry in Mongolia」(以下“Report”とする)が政府の指示で作成された。

本報告書は、モンゴル国当局の許可を受けた後“Report”を参考とし、又作成者を含む関係の者と討論する中で、エルデネット鉱山の近代化の一環としての銅製錬所の建設計画に対し、色々な角度から検討し、その可能性、経済性について参考意見を述べたものである。

表-1 世界の銅需要と価格の予想

年 度	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
銅消費量千t	8,968	9,050	9,350	9,700	10,050	10,300	10,550	10,750
鉱石生産量(千t)	7,411	7,550	7,800	8,050	8,350	8,600	8,850	9,075
地金生産量千t	8,539	8,800	9,050	9,400	9,700	10,000	10,350	10,550
在庫量 千t	862	912	890	860	810	760	790	820
価格建値US\$/t	2,352	2,285	2,315	2,460	2,675	2,790	2,965	3,070
現物 US\$/t	2,465	2,356	2,315	2,375	2,500	2,505	2,560	2,550

出典：海外鉱業情報 Vol. 265号 P. 24

注：西側統計がベースとなっている。

## 2. 提言のまとめ

モンゴル国に於いて、製錬所を建設するのは、その生産規模、建設時期は確定されなくても近い将来に可能性のあることである。

それを前提として、“Report”をベースとして色々な角度から検討を試みた。これをまとめた提言は、以下の通りである。

### 内部的な視点から

- (1) 銅製錬所建設を、資金調達及び環境への対応面から現在計画を凍結していることはやむを得ず、正しい決断と評価出来る。
- (2) モンゴル国の経済状態の好転、周辺の国際的環境の変化などを慎重に観察、検討を行って計画(案)の発進に備えるべきと考える。
- (3) エルデネット鉱山は最大 120,000 t/年 (Cu Netの生産) が予定されているが、これでは適正な規模の製錬所への原料供給能力は不十分である。  
ここでは将来の (Cu Metal) 増産も考慮して、他の銅鉱山の開発も視野に入れておくことが重要である。
- (4) 将来を見通して、製錬技術者を増員し、これに係わる調査・研究あるいは訓練などをしておく事が必要である。人材を確保しなければ何も出来ない。
- (5) 乾式製錬は亜硫酸ガス排出への対応が重要である。大型製錬所は広域にわたって大気、水質への環境汚染が心配される。産業発展と環境維持の問題を調和させることなく本件を進めることは許されない。
- (6) 西側の製錬所などと接触を強化し、技術、資金、コストに関連する情報を常に収集しておく必要がある。

### 国外を視点とすれば

- (1) モンゴル国の経済自体は勿論、ここで当国非鉄金属鉱業に重大な関与を持って来た旧ソ連圏も影響があるので、今後ロシアの5~10年の動向を見極める必要がある。ロシアには環境問題から精鉱販売が減少していくこともあり得る。
- (2) 最近世界的に新銅製錬所建設の延期、中止(三菱アムカ、インドネシア、タイ等)が見られる。これが何によるかを注視するべきである。立地の問題から既設製錬所の増強が多い。建設コストが安く効果的な増設が選択されているようだ。
- (3) 湿式製錬法(例 SX-EW法)、つまり Stacklees Smelterについても技術的関心を持ち、製錬法の将来のトレンドを見極めることも必要であろう。  
これから生産される銅地金の1/3は SX-EW法によるとの見通しもある。  
モンゴル人の銅消費量は 2 kg/人・年とすれば国内需要高々は 5,000 t/年であり、この程度であればモンゴル国内の生産体制がとれそうである。まずこの辺から銅地金生産の工業に参入することも考えられる。
- (4) モンゴルは地金、副産物市場として成長の見込まれる東アジアに隣接している



これはスメルターとしての立地条件の1つである市場の条件が有利であることを意味する。硫酸のネット収入がその回収コストを吸収出来ると採算はかなり良い事業となるが、問題は硫酸の市場が常に供給過剰であることである。

以上を踏まえ本製錬所建設計画は資金調達が可能でかつ財務、経済効果が認められる Feasibility Study Reportが必要である。技術力のある機関に依頼することが望ましい。

3. 本件に関し意見を交換した政府関係者、技術者及び関係資料

3-1 銅製錬所建設構想に関し、意見交換を行った人員名簿（会見順）

(1993年：2月～3月)

- (1) Mr. N. Alгаа, Metallurgist in charge, Ministry of Geology & Mineral Resources.
- (2) Mr. Tsogdsaikhan, Metallurgist in charge, Erdenet Mine (Workshop)
- (3) Mr. Olgonbileg, General Director, Erdenet Mine
- (4) Mr. T. Oyunbileg, General Director, Dept. of Mines, Ministry of Geology & Mineral Resources.
- (5) Mr. Dambadarjaa, Beijing Concern, Erdenet Mine

(1993年：6月)

- (1) Mr. Dambadarjaa, Beijing Concern, Erdenet Mine
  - (2) Mr. N. Alгаа, Metallurgist in charge, Ministry of Geology & Mineral Resources
  - (3) Mr. Tsogdsaikhan  
Mr. Ts. Laaganjav  
Mr. D. Tsogdkhangai  
Mr. B. Badarch
- } Metallurgist in chage, Erdenet Mine

3-2 銅製錬所建設構想に関し、モンゴル側より調査団が提供を受けた資料

- (1) " Report " on Development of Cu Industry in Mongolia (1992年)
- (2) 銅製錬所建設に関する技術・経済的根拠

3-3 銅製錬所建設構想に関し、当方より提出した参考資料

- (1) Abstract on up-dated Cu Smelter Process including Wet-Process
- (2) List of Cu Pyro-Smelter and Refinery with Production ( x 1000 t/y)
- (3) Comparison of Copper Smelting Process
- (4) Technical Information on Copper Smelting for Erdenet Metallurgist
  - a. Recomendations of Construction Program of Cu Smelter
  - b. Reference Drawings for 100,000 t/y Cu Smelter
  - c. Organization, Manning Schedule for 100,000 t/y Cu Smelter
  - d. Estimated Meterials and Utilities for 100,000 t/y Cu Smelter
- (5) Technical Information on Copper Metallurgy for Erdenet Metallurgists
  - a. Energy for Cu Smelting
  - b. Arsenic Removal from Cu Concentrate
  - c. Hydro - Metallurgy

#### 4. 「 “ Report ” on Development of Copper Industry in Mongolia 」の概要

##### 4-1 “ Report ” の作成目的と範囲

1991年11月23日のモンゴル共和国政府 No. 119 決議に従って任命されたワーキンググループにより、銅資源の探査、採鉱、選鉱、及び製錬に関する国家の政策決定を目的として “ Report ” は作成された。

ワーキンググループは政府関係者及びエルデネット鉱山の技術者及び財務経済専門家の約15人で構成され、約半年で作成した。

この “ Report ” は、国内銅資源の分布、採鉱、選鉱の国内外の技術比較、2005年までの生産量推定、将来の銅製錬所、銅金属加工工場の建設、副産物、有価物の回収、資金調達法の広範囲に亘っている。

入手した諸資料を参考としているが、一致した意見は “ Report ” は “モンゴルの銅工業” に関する初期的な “ Report ” で、国家の “マスタープラン” に到達しないレベルと理解されていると思われる。

##### 4-2 銅製錬所に関する基本設計 (1996年スタート予定)

- (1) 銅生産能力 (Finland Outo-Kumpu Process)  
100,000 ton/年の銅カソード (99.99%) の生産。
- (2) モリブデン生産  
モリブデン又はモリブデン合金生産
- (3) 銅酸化鉱処理  
(SX-EW : Solvent Extraction - Electrolytic Winning) 銅カソード生産
- (4) パイライト精鉱処理  
硫酸 636,000 ton/年及び銅 1,080 ton/年・銀1.37 ton/年を含む  
銅スライムの生産
- (5) Muron リン鉱山の開発で生産したリン鉱石と、(1)、(4) 項で発生する硫酸を使い 36% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を含むリン酸肥料 450,000 ton/年を生産する。
- (6) 9,000 ton/年の銅金属加工工場。
- (7) その他関係部門の改善や社会基盤の整備。

#### 4-3 建設に必要な投資金額概要

(1) エルデネット鉱山のリハビリテーション	42.1 百万US\$
(2) 100,000 ton/年規模の銅製錬所	450
(3) 9,000 ton/年銅金属加工工場	3.2
(4) 450,000 ton/年りん酸肥料工場	50
(5) りん鉱山の開発	60
(6) エルデネットとムロン間の鉄道建設	438
(7) エルデネットとムロン間の送電線敷設	121
(8) 地質調査	3

計

1,167.3百万US\$

但し、40 TG/US\$、1 交換 Rub/US\$とした。

#### 4-4 経済、財務の簡易分析

##### 4-4-1 簡易経済分析

単純投資利益率を回収年数計算法で実施、主な計算結果は以下の通り、但し全体計画での分析ではない。

##### (1) 100,000 ton/年銅製錬所/精錬所

投資額： 450 百万US\$  
利益： 66.4百万US\$ / 年  
回収： 7年間

##### (2) パイライト精鉱処理

投資額： 75 百万US\$  
利益： 3.4百万US\$ / 年  
回収： 22年間

##### (3) りん酸肥料工場

投資額： 50 百万US\$  
利益： 3.6百万US\$ / 年  
回収： 14年間

#### 4-4-2 財務上の問題解析

建設に必要な投資額に対し、具体的なファイナンス方法は検討していないが、基本的なコンセプトとして、必要資金は外国からの導入を前提としている。

そのほか、委託製錬、外国（ロシア）の製錬所への投資、精製だけの建設なども、その得失を挙げて検討している。

#### 4-5 提起されている問題点

##### 4-5-1 “Report”の中で提起されている問題点

- (1) 副生する硫酸処理が問題  
乾式法のみでなく湿式製錬法も検討の必要がある。
- (2) 外国（対象はロシア、カザフスタン）の製錬所に委託製錬する。  
現在すでに実施中
- (3) 外国の製錬所に精鉱処理を依頼し、プリスターで返還してもらい、国内に精製工場の建設を検討する。
- (4) 外国の製錬会社に投資し、合弁の製錬所を建設する。
- (5) リン鉱山が開発出来ぬ場合、外国からリン鉱を輸入することも検討する。

##### 4-5-2 関係者との討議の中で提起された問題点

- (1) 全体計画は投資金額が大きく、その調達方法に難があること。
- (2) 副生硫酸処理とリン酸肥料の生産工場の立地が困難であること。  
Muron のリン鉱山が国立公園内に位置しているので、開発が難しい。
- (3) 環境汚染に対する完全な防止策がある。中途半端では汚染が加速される恐れがある。
- (4) 硫酸を生産しなくてすむ湿式製錬法の採用の可能性をさぐる。
- (5) 技術、資金調達の面で外国との間で提携が可能であるのか。

#### 4-6 モンゴル政府内に於ける “Report” の評価と、当面の見解

前項に提起されている問題点を踏まえて、政府内及びエルデネット鉱山に於いては、次のような “Report” に対する評価及び見解が示されている。

- (1) “Report” は、モンゴル国の銅工業に関する調査 Report であり “マスタープラン” と称する程の評価を下していない。
- (2) 現在、政府部内で検討中であり、未だ承認されていない。

- しかし、日本の調査団が“ Report ”を読み通し評価することは了解する。
- (3) 現在のモンゴル国の経済状態で投資するにはあまりにも膨大な建設費である。
  - (4) 乾式銅製錬は、一般的に排煙、排水の点で公害発生型の工場であり、環境汚染の拡散が心配される。
  - (5) したがって、当面この銅製錬所建設計画は一時棚上げとし、国内経済状態が好転した時に再検討するものとする。
  - (6) その間、精鉱販売・委託製錬はやむを得ない。自国の原料を使ってより有利な利益の上がる方法を模索し、投資のための準備を行う。

## 5. 調査団の評価

### 5-1 評価の概要

モンゴル国は実際の製錬技術に関する経験が非常に少ない。その中で数少ない技術者が少ない情報を基に作成している“Report”は高く評価される。

しかしモンゴル国の政策に直ちに反映し決定されるような“マスタープラン”ではない。今後の詳細な調査研究立案に対してはかなり役立つものと思われる。

結論として、この様な膨大な投資を必要とする国家的プロジェクトに対しては、もっと確度の高い詳細な Feasibility Study に基づく検討が必要である。

### 5-2 投資金の調達

一般に銅製錬所の建設の資本コストは銅純分割15¢/lb ~ 20¢/lb とみられている。

銅製錬所建設に必要な資金は 450百万US\$ とされているが、この金額の水準の妥当性については他の例も参考にしながら検討する必要がある。

一方、製錬所建設を含む全体計画の投資額は 1,167百万US\$ となっておりモンゴル国の国民総生産額にはほぼ同じ額、国家予算に対して数倍であることから国の経済力からして到底調達出来ない数字ということになる。

製錬所が建設されると操業を維持する必要な補修サービスが必要であるのでこれらの関連産業を育成しておかなければならない。これより調達資金はさらに追加積算となる見込みであり、決定までには慎重な検討を必要とする。

### 5-3 環境に対する影響評価

粗鉱生産処理工程を受け持つ鉱山業に比較して、その下流である製錬業は亜硫酸ガス排出への対応が重要である。とくに、大気、水質、その他コスト如何にかかわらず硫黄分をフルに回収しなければならぬ。環境保全及び労働環境等の面から見て、その汚染の範囲や影響が大きい。

生産を重視するあまり、公害防止に対する関心が遅れた政策が、後日環境の回復のために莫大な代償の支払となって来た例を世界各国で見ることが出来る。

非鉄製錬業は「環境経済的宿命」を負っている、ということが言える。

1960年代以降の日本の非鉄金属鉱業は、生産活動と環境保全との葛藤の歴史であり、技術革新によりこれを克服して現在の競争力をつけてきた。手痛い犠牲を通して豊富な経験を蓄積して来た結果日本のスマルターは世界で最も厳しい環境規制をクリアー（硫黄分の99.5%を回収）した。

モンゴル国に於いても、銅製錬所の建設決定に際しては、最新の環境汚染防止技



術を使った設備とした上で充分なる環境影響評価が行われるべきである。

周辺環境が汚染されると云うことは、そこで働く労働者にとっても身近な労働環境、生活環境が破壊されることを意味し建設は住民の合意を得られない。

有害物質の発生源を抑えて快適で、かつ安心して働ける労働環境を確立することは、正常な事業活動をしている証拠である。

#### 5-4 インフラストラクチャー整備

“Report”の中にはインフラストラクチャーを整備することを優先するために多額の投資額が必要と指摘しており、この投資を無視することは出来ない。

道路、鉄道などの交通網、通信手段などの整備は優先的に実施しておかなければ、事業が開始された後国際商品市場の競争に耐えられない。

エネルギー、水、その他ユーティリティ等の整備も並行して行い、広い範囲で社会基盤が整備されなければならない。

#### 5-5 国際的連繋

このような大規模な構想を実現させる為には、モンゴル国一国の力では難しく、技術的、資金的にも外国の援助が必要である。

この為には、調査の段階より外国の企業との関係を持つことが不可欠である。

かかる連繋は、特に銅の安定供給、安定消費の市場を持つ西側先進国との間で行うことが有効と思われる。

銅資源を主要な外貨獲得源としているモンゴルと、銅の安定供給先でかつ消費先となっている西側諸国との間でお互いに立場を補完し合って、双方の利益につながる形で構想を実現化してゆくことが重要となる。

#### 5-6 CISの銅製錬所との関係

エルデネット鉱山の開発は旧ソ連の（ウラル地方）のいくつかの製錬所の銅原料の供給基地としての役割を持って行われたものである。

また、現在もバルハシ製錬所（カザフスタン）への委託製錬や、ロシアの製錬所に精銅を供給しているという現実を簡単に変更することが出来ないが、将来はもっと間口を拡げて提携先をいくつも作る、という柔軟性が必要と考える。

東側諸国の民主化が進むにつれ、ベールに包まれていた旧ソ連、東欧圏の非鉄金属製錬業界の実態が明らかになり、その技術水準及び、製品品質の低さなど国際競争力に弱点があることが知られて来た。

とくに、環境汚染防止のコストを省いていること、品質保証の考え方が薄いことなどが問題視される点である。

例えば、委託製錬先で生産された銅カソードが LME Grade に到達せず、国際的な標準価格に達しない、という問題も起きている。

この観点から、CIS の製錬所については充分調査、検討する必要があることを提言せざるを得ない。

#### 5-7 製錬技術者及び関連技術者等の人材育成

製錬事業を受持つ関係技術者等の人材育成に早く手をつけることが必要と思われる。

人材をストックすることは早すぎることはない。

ウランバートルまたはエルデネット鉱山に製錬を専門とする部門を設置し、冶金技術者を中心として事前業務を始めることを提案する。ここで行うことは

- (1) 外国の製錬技術の現状と将来の傾向、特に湿式製錬技術などの調査と研究。
- (2) 実際の製錬所の実習、パイロットプラントの稼働。
- (3) 環境汚染、自動化制御、エネルギー、その他の周辺技術の調査、試験の実施。

これらの調査研究や経験は、精鉱販売交渉、委託製錬条件交渉などに際しても、有益な役割を発揮するものである。

また、銅製錬所は、常温で操業する採選鉱部門と異なり、高温の危険性、高度な装置産業であること、自動化、連続操業、環境汚染、緊急事態の発生頻度が高いことなどがあり厳しい管理が要求される。

経験を積んだ冶金技術者ばかりでなく、周辺を支える機械、電気、計装、土木建築及び公害防止、安全衛生担当の技術者もなど設備の維持保全や高品質のサービスを支える支援体制が必要である。

## 6. 技術的面の提言

### 6-1 生産規模

“ Report ” の中では、100,000 ton/年の電気銅の生産規模としている。

現在世界的に経済規模としては 200,000 ton/年以上が理想的とされているが、エルデネット鉱山の銅精鉱を処理する規模としては妥当なものであると考えてよい。

その理由は以下の通りである。

- (1) モンゴル国での最初の銅製錬所（非鉄金属製錬所）であるので、未経験の、新型公害対策、硫酸処理などに精力を注がねばならないが、その対応は規模があまり大きくない方が対処しやすい。
- (2) エルデネット鉱山の精鉱生産計画量（Cu Net）120,000 ton/年にマッチする。他に Tsagan - Subraga 鉱山などの開発の計画が実現したとしても、エルデネット鉱山での操業の変動を埋める程度でモンゴル国初の製錬所としては、100,000 ton/年が適当な規模と云える。  
然し、将来の適正な規模への増産を考えれば他の鉱山の開発も念願におくべきである。
- (3) エルデネット銅精鉱中の砒素（As）が 0.3~0.20%と高く、砒素除去対策には特別な配慮や設備が必要である。これらはとくに小規模の方が影響は少なく良い。
- (4) 世界の製錬所の生産実績を見ると、最新型プロセスをもつ製錬所の中でも、90,000 ton/年（Oulo - Kumpu, Harjabarta）の例もあり、この程度でも経済的に成り立つ事例もある。
- (5) 各先進国の製錬所はいずれも 100,000 ton/年程度からスタートし、その後の多くの改善や増設を加え 150~200%の生産拡大を行っている。

しかし、将来のある生産増に対する準備として基本的なことは建設時に考慮された設計とすべきである。

問題となるのは、原料の扱い、亜硫酸ガス処理などであるが、特に各設備のレイアウト、スペース等にあらかじめ拡張余地を残しておく。

仮にモンゴル国の銅の国内消費量のレベルだけ考えれば、SX-EW 法など湿式製錬という方法もある。このプロセスの生産能力は、10,000t/年程度が適当とも云われている。

## 6-2 供用銅資源と工場立地

### (1) 供用銅資源

エルデネット銅鉱山は、副成分としては収入になる Au, Ag が少なく、逆にペナルティに働く As が通常の 3～5 倍と高い。

製錬原料としては、As 含有が高いことをのぞけばれば処理し易いものであると言える。しかし、公害防止と云う観点からすれば難処理鉱に属する。西側製錬所とくに日本は 0.07% 以下を希望するなど As に対する要求が厳しい。

エルデネット鉱山のライフは 30 年以上あるが、将来の増産を視野にいと付属製錬所としてはまだまだ埋蔵鉱量が足りない。

近辺の鉱床の開発や南方の Tsagaan - Suvraga (600 Km) 鉱山等からの銅精鉱の供給も念頭に置かなければならない。競争力のある鉱山と競争力のある製錬所のコンビネーションを形成するには一層埋蔵鉱量の確保が望まれるところである。

### (2) 工場立地

エルデネット鉱山地区に 2 カ所ほど候補地を挙げて検討し、選鉱 Plant の東側数 Km の地点を第一候補として選定している。

製錬所の位置選定の条件は、電力、工業用水供給、精鉱、製品などの運搬距離、風向など気象条件、保全機能労働力などが鉱山と共有出来るか、などを考慮に入れねばならない。

経済的な面からすると、製品地金の消費市場へのアクセス、副生硫酸の処理市場がついてまわる。

最終的には鉱山から製錬更には金属加工までアップストリームからダウンストリームまでの展開を目標とした総合的な工業企業集団を念願に置いた立地が望ましい。

## 6-3 プロセスの選択

100,000 t/年規模とすると、現在の技術レベルでは乾式製錬とならざるを得ない。

“ Report ” は、現在世界で最も信頼性が高いと言われている Outokumpu 型の Flash Smelting Furnace を採用することになっているが、提出した資料「銅製錬法の比較」、「List of Pyro - Smelter with Production」から見ても妥当なものと云える。

Modified Flash smelting Furnace としては、日本の三井玉野では、内部電極を装備することにより Slag Cleaning Furnace を省略した、省エネルギー改善型も稼働している。

そのほか、三菱連続銅法、ISA Process、純 O<sub>2</sub> を使用する NORANDA 法など、種々の製錬法がある。調査団はそれらに関する技術情報を提供し、エルデネット鉱山の冶金技術者に提供したので検討の材料にしてほしい。

この資料には、硫酸が副生しない湿式プロセスの情報も含めてある。

#### 6-4 エネルギーとユーティリティー

モンゴル国内、特にエルデネット市は製錬所の立地条件としてはエネルギー（電力、燃料）、ユーティリティー（工業用水、フラックス材、その他）、需要市場の面から他国の製錬所に比べてハンディを負っている。

#### 6-5 硫酸の処理法（リン酸の肥料生産）

硫酸の処理が、製錬所の建設にあって技術的、経済的に最も難しい問題である。この問題解決のための方策としては、次の点が挙げられる。

##### (1) SO<sub>2</sub> ガスを H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> ではなく、固形硫黄として回収する。

湿式製錬（高温、高圧オートクレーブ処理を中心とする）により、固形硫黄を回収し、同時に硫酸銅溶液を得、それから電解採取で銅カソードを生産する方式である。まだ、経済的大規模プラントの実績に乏しい上に、更に、回収固形硫黄が少量の重金属を含有し、重油脱硫による回収硫黄に較べると販売競争力がないという弱点がある。カナダの2つの亜鉛製錬所で、同様方式で得た硫黄を約 20,000 t/年回収している実績があるが、その販売処理に苦慮している。製錬所は回収硫黄を所内に積み上げているというのが現状との報告がある。

##### (2) 硫酸とリン鉱による肥料製造

硫酸の処理についてはリン酸肥料への転換が良い。これであれば近隣諸国に需要が見込めるし、技術的にそれほど難しくなく経済的にも優れている。しかし現在対象としているリン鉱山が国定公園内にあることが開発を難しくしている。Hubusgul湖周辺の環境、とくに生態系を破壊することなくリン鉱山開発が出来ることが望ましい。

環境保全を第1に「持続可能な開発」に挑戦する研究を継続して欲しい。

#### 6-6 銅精鉱中に含まれる As 対策

エルデネット銅精鉱には 0.3～0.40% の As が含有される。

買鉱製錬所側の買鉱標準は一般に As < 0.1% であり、ペナルティ支払の問題でなく売鉱が出来るかどうかの大問題になる。

製錬／精製のプロセスで、Asが障害とならぬよう、また最終的に銅カソードに混入しないように特別な除去技術、設備が必要となる。

ある鉱山では精鉱品位が Cu > 30%、Au : 50 g/t、Ag : 200 g/tで、かつ As > 10%という特殊な精鉱もあり、流動焙焼(650℃)により脱 As 前処理するという例がある。

但し、焼鉱中の残留 As は、エルデネット精鉱と殆ど同じ 0.3%程度である。

上記のような高 As 含有精鉱であれば、複雑な処理を要する脱 As 焙焼を導入しても Au, Ag 品位が高いので十分に前処理費を回収出来るが、As 0.3%程度のエルデネット精鉱は前処理をするほどの品位でもなく、やりにくい。

銅製錬所建設に際しては、脱 As 技術・設備を具備する計画にしておいた方がよい。

#### 6-7 湿式製錬技術の検討

モンゴルに於ける冶金技術者との対話の中で、湿式製錬に関する技術情報収集に強い関心を示した。

この理由は、硫酸を回収しなくても良いこと、むしろ硫酸を消費する製錬法であることに魅力を感じている。しかも10,000t/年程度のキャパシティが適しており、この規模は銅加工産業のキャパシティとも一致している。

又規模が小さいことによるデメリットもあるが検討に値するプロジェクトであるので、日本で手に入る論文等資料を関係冶金技術者に提供した。

現在、世界で導入検討されている湿式銅製錬法は以下の通りである。

- (1) The Cuprex Metal Extraction Process
- (2) Nitric - Sulfuric Leach Process
- (3) Sherritt Gordon (COMINCO) Process
- (4) Cymet Copper Reduction Process
- (5) Arbiter Process (ANACONDA)
- (6) Bacteria Leaching & SX - EW Process

エルデネット鉱山でも、すでにアメリカの Morrison - Knudson社が銅低品位滓に対しパイロットプラント規模の試験を行い、その結果報告が提出されているとの事であるが、これらも参考としさらに詳細な調査をされることをすすめる。

## 7. 経済、財務面からの提言

### 7-1 銅製錬所建設に必要な Feasibility Study

“ Report ” では銅製錬所建設の経済性についてプラント毎に簡単な“回収期間法”により分析を行っている。

操業開始後の各プラントに於ける年間予想利益の推定と、投資金額が操業後何年で回収されるかに注目し、経済性を検討している。

プラント投資金回収期間は以下のとおりと算出されている。

- |                           |        |
|---------------------------|--------|
| (1) 100,000 ton/年銅製錬所／精製所 | : 7年間  |
| (2) Pyrite精鉱処理 Plant      | : 22年間 |
| (3) リン酸肥料工場               | : 14年間 |

回収期間経過後は当該プラントから得られる利益は全て投資者側が享受出来るので、この回収期間は短いことが好ましい。

一概には論ずることはできないが、一般的に10年程度で回収可能かどうかが目安となろう。

従って本件の場合、パイライト精鉱処理プラントとリン酸肥料工場は、回収期間が長いと評価されるかもしれない。

現段階に於いては計画自体非常に初期的な段階にあるので、この程度の経済性分析となることは止む得ない。今後プロジェクトを具体化するにはより詳細な Feasibility Study が必要で、相当な時間と費用がかかる。

これには、海外のコンサルタント会社を起用して国際的に通用する（海外の投資家の判断材料たりうる） Feasibility Study が作成されることが望まれる。

#### 7-1-1 評価手法について

一般に設備投資の経済性評価に関してはいくつかの方法が考えられており、“ Report ” で採用されている上述の“回収期間法”もひとつの確立された評価方法である。

しかし乍ら、投下資本が回収された後に、どのくらいの利益が得られ、投資の見返りとして戻って来るかが明確に計算されない点に欠点があると言われている。

資金源のひとつの選択枝として外資の導入を考えているのであれば、外国投資家の投資価値判断に合致した合理的な経済性分析が必要である。

外国投資家はできるだけ短い期間内に投資資本を回収し、その上安定した収益を確保することを望むだろう。

“収益性”を評価する手法で、且つ投資家の間で国際的に利用されている方法は内部財務利益率（Internal Rate of Return Method, 通称IRR法）による経済性評価を推薦する。又同時に国家経済に及ぼすインパクトも評価するため内部経済利益率（EIRR法）を行うべきである。

#### 7-1-2 全プロジェクトの総合評価

“Report”は各プラント毎に経済性を計算しているが、これを全体計画としてとらえる必要がある。

銅製錬所建設計画はこれに必要な上流、下流部分が有機的に結合されるべきでプラント、エネルギー、輸送、用水などの関連インフラストラクチャーが整備されて初めて製錬所として機能が生まれる。周辺の整備計画がずれると計画全体がうまく機能せず失敗することになる。

したがって、資金調達計画の策定や経済性の検討は一連の関係設備を総合的に見て行われなければならない。

即ち、部分的な投下資本及び収益額より総合的観点からのなIRR, EIRR等を算出して、このプロジェクトが企業の収益性、国としての経済効果が立証されなければならない。

#### 7-2 建設資金額の妥当性

“Report”に見込んでいる銅製錬所の建設費 450百万US\$ は、さらに20%以上高くなると推定される。その理由は、

- (1) 現地工事費などが省略されており、これを加算する。
- (2) 周辺のインフラ整備に関する準備が必要
- (3) 建中金利や運転資金が必要

銅カソード 100,000ton/年の銅製錬所の計画の一例では、投資金額を次の用に区分している。

##### (プラント費)

- a. 設備費, 建設費
- b. エンジニアリングフィー
- c. 付加税

##### (オーナー負担費)

- a. インフラ整備, ユーティリティ
- b. 精鉱原料, 運搬等処理システム
- c. ライセンス費, 技術研究費



(その他)

- a. 建中金利
- b. 運転資金

上記の区分とすると、1990年ベースとして600～700百万US\$と積算される。また、オーナー側としては、インフレ率、その他予測し難き事態を考慮しておく必要がある。

製錬所建設期間は、インフラ整備、ユーティリティの準備状況にもよるが、通常は設計、建設に3年間、4年目に試運転開始となる。会社設立、労働力確保、訓練などに運転開始前に1～2年間が必要となるので、製品を出すまでには合計で5年間は最低かかる。政府認可等が決定されてからであり、この許認可に必要な期間も加算される。

### 7-3 資金調達

建設資金は基本的に外国から導入することとしているが、国内資本が未整備の状態を考えた場合、10億ドルを超えるのでこの他の手だてはない。

調達の方法としては、

- (1) エルデネット鉱山のキャッシュフローからの充当
- (2) 政府間援助資金の利用（有償援助）
- (3) 海外民間資本の導入
- (4) 海外金融機関からの借入れ

(1) の場合、限られた貴重な外貨を、国内で如何に有効に活用するかという問題であり、国全体の財政面から検討されるべき問題である。

(3) の場合の外資の導入は現実的な資金調達法として考えられるが、外資導入に関しての法律面の整備、種々の優遇措置などの環境整備が必要であろう。とくに西側の資本はこれを求める。

現在モンゴルはそれらの環境整備に取り組んでいるが、実際に外資が活発に参入して来るには、モンゴル経済がもっと大きくなり、かつ安定して来ないと難しい。当面はかなりの時間がかかるものと予想される。

(4) 海外からの借入も可能な資金調達法のひとつであるが、現状本件全体を賄うような多額の借入は不可能であり、従って必要資金の一部を賄う程度の予備的な資金源と考えておく方が現実的である。

民間銀行からの借入れは国内経済が安定するまで当面は困難と予想される。世銀、アジア銀行などの公的な機関との接触も検討されるべきである。

銅製品の取引先である西側企業からの借入は、製品取引時の値引決裁による。

但しこれが可能であったとしても、借入額はそれぞれの取引量に応じた金額が限度となるし、過剰な取引は操業に必要な資金のショートを起しかねない。

以上、資金面を考えた場合、すべて海外の資金に依存すると、10億ドルもの莫大な資金となりこれを調達することは容易ではない。本件構想の実現は資金調達の面で極めて困難であると云わざるを得ない。

#### 7-4 新製錬会社の形態

製錬所会社の設立に際しては、これをエルデネット鉱山が自社の一部門として設立するか、エルデネット鉱山とは全く別会社として設立する方法がある。

本製錬所会社は原料ソースがエルデネット以外からも必要であり、広くモンゴル全体からの資本調整をすれば鉱山とは別会社とする方が現実的である。人材、技術者、経営の面から見ると製錬所の運営はエルデネット鉱山の経営と密接に関連していた方が良い。近くに建設するとすれば、いずれにしても“エルデネット・コンツェルン”の一員として強い関係を持ち、経営はエルデネット鉱山と歩調を合せて行くことが望ましい。



JICA