

No.

国際協力事業団

チリ共和国

鉱業省・鉱山公社

チ リ 国

リーチング工場環境配慮型操業改善計画調査

最終報告書

要約

2002年12月

同 和 工 営 株 式 会 社

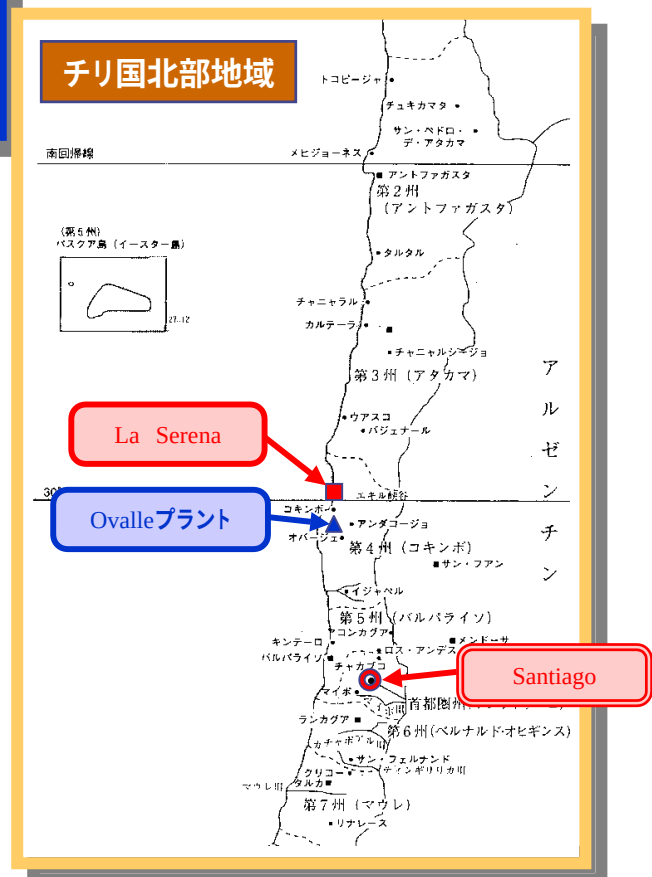
三 井 金 属 資 源 開 発 株 式 会 社

鉱調資

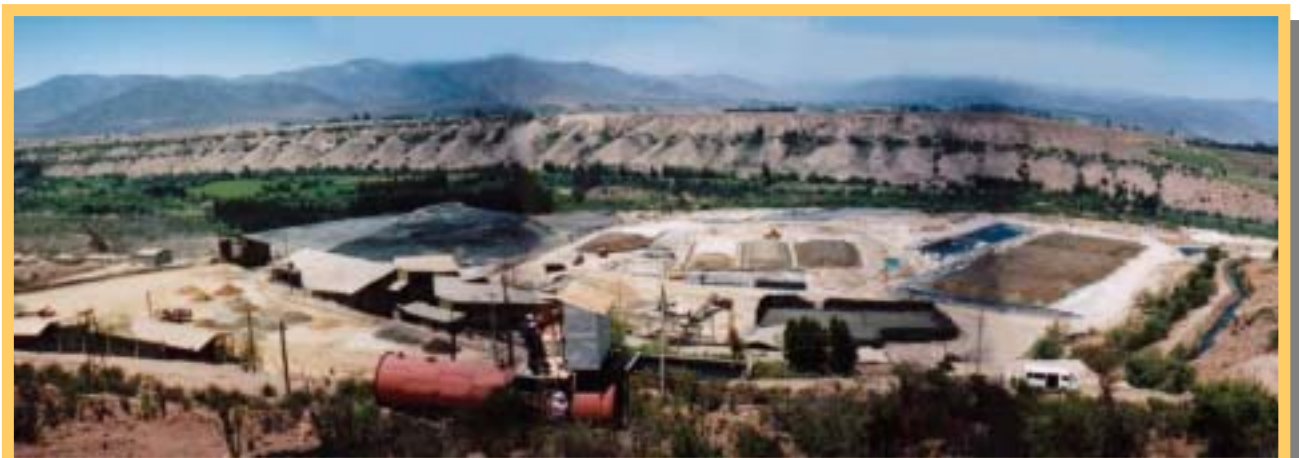
JR

02-173

チリ及びOvalleプラントの位置図



Ovalleプラント全景



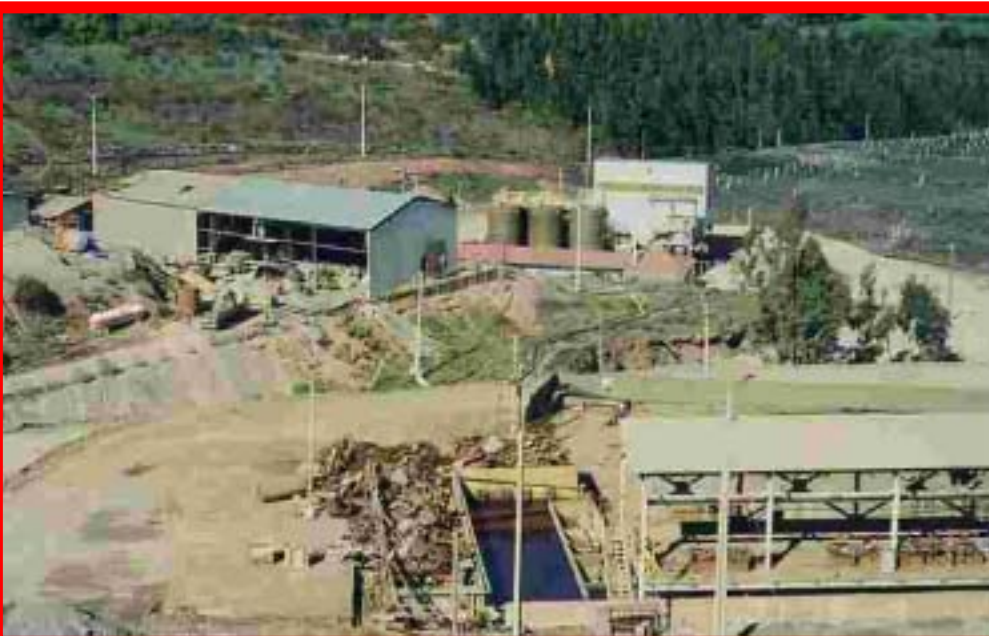
Ovalleプラント(酸化銅鉱処理)



原鉱



アグロメレーション



沈殿

Ovalleプラント周辺汚染状況



工場の上流



蒸発 Pond と堤体



工場の下流

モデルプラント完成写真



モデルプラント運転状況



酸化槽



中和槽



凝集槽



フィルタープレス



バクテリア回収槽



フィルタープレス脱水ケーキ

セミナー開催状況



第1回セミナー



第2回セミナー

目 次

1. 調査の目的と経緯-----	1-1
2. チリの鉱業事情-----	2-1
2.1 チリの鉱業概要-----	2-1
2.2 チリ国の環境関連機関と法整備-----	2-2
2.3 チリ鉱山公社（ENAMI）の概要-----	2-4
3. Ovalle プラント生産部門の操業診断・環境診断-----	3-1
3.1 Ovalle プラントの概要-----	3-1
3.2 操業診断-----	3-7
3.3 環境診断-----	3-17
4. 鉄酸化バクテリア法の技術移転-----	4-1
4.1 基礎試験-----	4-1
4.2 モデルプラントの概要と建設の推移-----	4-1
4.3 モデルプラントを使った実証試験-----	4-2
4.4 モデルプラントの現状と今後-----	4-4
4.5 技術移転のための指導項目-----	4-5
5. 廃液処理フルスケールプラントの計画-----	5-1
5.1 フルスケールプラント検討のための前提条件-----	5-1
5.2 フルスケールプラントの概念設計-----	5-4
5.3 設備費、運転費の算出-----	5-12
6. 廃液処理フルスケールプラント導入のための経済・財務分析（F/S）-----	6-1
6.1 プロジェクトの背景と経緯-----	6-1
6.2 プロジェクトの承認工程-----	6-1
6.3 市場及び生産工程-----	6-2
6.4 実施計画-----	6-3
6.5 財務分析-----	6-6
6.6 経済分析-----	6-7
6.7 沈殿銅生産者への経済効果-----	6-9
6.8 結論-----	6-9
7. Ovalle プラントにおける環境配慮型操業計画-----	7-1
7.1 最善の操業方法-----	7-1
7.2 現状に即した操業方法-----	7-2
7.3 環境配慮型操業計画-----	7-4

8. チリ国内におけるバイオ技術応用の可能性（M/P）	8-1
8.1 本 M/P におけるバイオ技術の概要	8-1
8.2 技術導入の前提条件	8-1
8.3 技術適用分野	8-1
8.4 チリ国における技術適用箇所の検討	8-5
8.5 技術適用分野のまとめ	8-6
9. 結論	9-1

ファイナルレポート略語、用語集

【略語・頭字語】

1. COCHILCO：（Comisión Chilena del Cobre）チリ銅委員会
2. CODELCO：（Corporación Nacional del Cobre de Chile）チリ銅公社
3. CONAMA：（Comisión Nacional del Medio Ambiente）国家環境委員会
4. COREMAS：（Comisiones Regionales del Medio Ambiente）地方環境委員会
5. DCF：（Discounted Cash Flow）割引キャッシュフロー
6. ENAMI：（Empresa Nacional de Minería）チリ鉱業公社
7. IRR：（Internal Rate of Return）内部収益率
8. LME：（London Metal Exchange Market）ロンドン金属取引所
9. LME-spot：ロンドン金属取引所での現物取引価格
10. MIDEPLAN：（Ministerio de Planificación y Cooperación）企画協力省
11. NPV：（Net Present Value）：正味現在価格
12. RCU：（Rate of Capacity Utilization）操業率/対設備能力稼働率
13. SAG：（Servicio Agrícola y Ganadero）農業・牧畜事業所
14. SEIA：（Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental）環境評価制度
15. SERNAGEOMIN：（Servicio Nacional de Geología y Minería）地質鉱業国家事業所
16. SX-EW：（Solvent Extraction-Electrowinning）溶媒抽出・電解

【用語集】

<処理技術関係>

1. 選鉱(Mineral processing)：鉱物間の粒度、比重、界面の濡れ性（疎水性/親水性）、磁性、界面の導電性等の物理的特性の差を利用し、対象鉱物だけを分離、採取するもの。順に、分級、比重選鉱、浮遊選鉱、磁力選鉱、静電選鉱等の技術がある。選鉱での精鉱を製錬し、金属の地金を得る。
2. 酸化鉱(Oxide ore)：本来は酸素と結合している鉱物に係る鉱石を言うが、本書ではその他、水酸化鉱物、硫酸塩鉱物、磷酸塩鉱物、炭酸塩鉱物、ハロゲン化鉱物、珪酸塩鉱物等の、硫化鉱物以外の鉱物に係る鉱石をいう。銅鉱物では、珪孔雀石($\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、孔雀石($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) 他が該当する。
3. 硫化鉱(Sulphide ore)：主に、硫黄(S)と結合している鉱物に係る鉱石を言う。銅鉱物では、黄銅鉱(CuFeS_2)、輝銅鉱(Cu_2S)、銅藍(CuS)等が該当する。
4. 置換沈殿（いわゆるセメンテーション）法(Precipitation(Cementation) process)：本書では、酸化銅鉱に対し、破碎(Crushing)→塊状化(Agglomeration)→浸出(Leaching)→置換沈殿により沈殿銅(Copper precipitate(Cement copper))を生産するもの。電気銅には、その後乾式製錬(熔錬→製銅)→電解精製が必要。

5. 溶媒抽出—電解採取(SX-EW)法(Solvent-Extraction—Electro-winning process)：本書では、酸化銅鉱、二次硫化銅鉱[後述]に対し、破碎(Crushing)→塊状化(Agglomeration)→浸出(Leaching)→溶媒抽出→電解採取、即ち湿式製錬のみにて、電気銅(Electrolytic copper(Cathode copper))を生産するもの。
6. 原単位(Unit consumption)：単位量、例えば原鉱 1t に対する、消費量。
7. 一次硫化銅鉱(Primary sulphide copper ore)：本源的な造岩作用又は鉱化作用の際に生成したものを一次鉱物といい、銅鉱物では黄銅鉱 等が該当する。
8. 二次硫化銅鉱(Secondary sulphide copper ore)：一次鉱物生成の後に、加わった作用、即ち二次硫化物富化作用等により生じた二次鉱物をいい、銅鉱物では輝銅鉱、銅藍 等が該当する。
9. 浮遊選鉱（浮選）法(Flotation process)：本書では、硫化銅鉱に対し、破碎(Crushing)→摩鉱(Grinding)→浮選により銅精鉱(Copper concentrate)を生産するもの。電気銅には、その後乾式製錬(熔錬→製銅)→電解精製が必要。

<経済関係>

10. 外部経済（効果）：他の経済主体の利益なること
11. 外部不経済：他の経済主体の不利益になること
12. 環境負債：過去の汚染による蓄積公害
13. キャッシュコスト（Cash Cost）：営業費用から減価償却費を差引いたコスト
14. 正味現在価値（NPV）：各年度の名目キャッシュフローを資本コストレートで割引合計したもの
15. 内部収益率（IRR）：初期投資額と将来のキャッシュフローの現在価値が同額になる時の割引率
16. 埋没コスト（sunk cost）：どの解決策を採用しても金額が変化しない原価
17. 割引キャッシュフロー（DCF）：プロジェクトから発生する各年のキャッシュインフローを現在価値に引き直すことによって、プロジェクトへの投資の可能性やタイミングを計算する

【単位】

1. CH\$：ペソ（チリ通貨）
2. CH\$/Ha：ペソ/ヘクタール
3. CH\$/mt：ペソ/トン
4. CH\$/US\$：ペソ/米ドル
5. dmt：乾量トン
6. dmt/month：乾量トン/月
7. dmt/year：乾量トン/年
8. fmt：含有金属トン
9. Ha：ヘクタール
10. kg/m³：キログラム/立方メートル

11. m^3 ：立方メートル
12. m^3/day ：立方メートル/日
13. mt ：トン
14. mt/month ：トン/月
15. mt/year ：トン/年
16. $\text{US } \text{\$} / \text{lb}$ ：米セント/重量ポンド
17. $\text{US\$}$ ：米ドル
18. $\text{US\$}/\text{dmt}$ ：米ドル/乾トン
19. $\text{US\$}/\text{kg}$ ：米ドル/キログラム
20. $\text{US\$}/\text{m}^3$ ：米ドル/立方メートル
21. $\text{US\$}/\text{mt}$ ：米ドル/トン
22. $\text{US\$}/\text{year}$ ：米ドル/年
23. $\text{US\$}-\text{lb}/\text{US } \text{\$} -\text{mt}$ ：米ドル-重量ポンド/米セント-トン

図表目次

< 図 >

2. チリの鉱業事情

図 2-1	チリ鉱山位置図	2-1
図 2-2	銅生産量の推移	2-2
図 2-3	CONAMA 及び関連機関組織図	2-3
図 2-4	鉱業省組織図	2-5
図 2-5	ENAMI 組織図	2-6

3. Ovalle プラント生産部門の操業診断・環境診断

図 3-1	Ovalle プラント施設位置図	3-5
図 3-2	ブロックダイアグラム(概略)とマテリアルバランス(2000 年実績) ：酸化銅鉱処理：ENAMI Ovalle プラント	3-11
図 3-3	ブロックダイアグラム(概略)とマテリアルバランス(2000 年実績) ：硫化銅鉱処理：ENAMI Ovalle プラント	3-15
図 3-4	Ovalle Plant 周辺地形図	3-21

4. 鉄酸化バクテリア法の技術移転

図 4-1	モデルプラントのプロセスフロー	4-2
-------	-----------------	-----

5. 廃液処理フルスケールプラントの計画

図 5-1	フルスケールプラントの概略フロー	5-2
図 5-2	フルスケールプラント（ケース 1）フローシート	5-6
図 5-3	フルスケールプラント（ケース 1）配置図	5-7
図 5-4	フルスケールプラント（ケース 2）フローシート	5-10
図 5-5	フルスケールプラント（ケース 2）配置図	5-11

6. 廃液処理フルスケールプラント導入のための経済・財務分析 (F/S)

図 6-1	ENAMI プロジェクト承認工程	6-2
図 6-2	Ovalle プラント酸化銅鉱処理工程（実施計画）	6-5
図 6-3	提言と便益の因果関係	6-11

7. Ovalle プラントにおける環境配慮型操業計画

図 7-1	環境に配慮された最善の操業フロー：酸化銅鉱処理	7-1
図 7-2	環境配慮型操業形態フローの検討	7-6

8. チリ国内におけるバイオ技術応用の可能性

図 8-1	鉱廃水処理へのバイオ技術の適用	8-2
図 8-2	銅製錬（煙灰処理）へのバイオ技術の適用	8-3

＜表＞

2. チリの鉱業事情

表 2-1	ENAMI プラントの処理能力	2-4
表 2-2	ENAMI 製錬所生産実績（2000 年）	2-4

3. Ovalle プラント生産部門の操業診断・環境診断

表 3-1	ENAMI Ovalle プラント生産状況	3-2
表 3-2	ENAMI Ovalle プラント生産銅量の位置付け：2000 年実績	3-2
表 3-3	ENAMI 各選鉱プラント生産一覧：2000 年実績	3-4
表 3-4	銅鉱別処理方法比較	3-10
表 3-5	酸化銅鉱処理操業率と銅建値まとめ	3-7
表 3-6	酸化銅鉱処理の目標：Ovalle プラント：ENAMI	3-12
表 3-7	硫化銅鉱処理操業率と銅建値まとめ	3-13
表 3-8	硫化銅鉱処理の目標：Ovalle プラント：ENAMI	3-16
表 3-9	チリの産業排水・液体廃棄物の排出基準／灌漑用水の水質基準 （金属鉱業関連の一部）	3-18
表 3-10	浸透水負荷量算出表	3-19

4. 鉄酸化バクテリア法の技術移転

表 4-1	廃液の性状	4-2
表 4-2	実証試験期間中の廃液の水質	4-3
表 4-3	モデルプラントの運転条件	4-3

5. 廃液処理フルスケールプラントの計画

表 5-1	ケース毎の廃液発生量	5-1
表 5-2	フルスケールプラントの設計廃液性状	5-1
表 5-3	モデルプラントの設計廃液性状	5-2
表 5-4	モデルプラント改造点	5-3
表 5-5	ケース 1 増設・改造機器リスト	5-4
表 5-6	ケース 2 新設設備の機器リスト	5-8

6. 廃液処理フルスケールプラント導入のための経済・財務分析（F/S）

表 6-1	財務分析結果表	6-6
表 6-2	銅地金工程価値分析	6-6
表 6-3	外部経済の総括	6-7
表 6-4	経済分析結果表	6-8

7. Ovalle プラントにおける環境配慮型操業計画

表 7-1	処理方法一覧：Ovalle プラント	7-5
表 7-2	酸化銅鉱処理に係る当面の現状に即した操業方法	7-3

8. チリ国内におけるバイオ技術応用の可能性

表 8-1 バイオ技術を利用した「鉱山(稼行あるいは休廃止)における坑廃水処理」(案).....8-7

表 8-2 チリの主な銅鉱山.....8-8

<その他>

第4章 写真.....4-6

1. 調査の目的と経緯

1. 調査の目的と経緯

本調査は、1999年6月4日国際協力事業団（JICA）とチリ共和国鉱山公社（ENAMI）との間で協議・署名された「チリ国リーチング工場環境配慮型操業改善計画」に係わるS/Wに基づき、同和工営(株)と三井金属資源開発(株)の共同体制のもとに1999年10月から2002年12月までの39ヶ月にわたって実施されたものである。

チリ共和国（以下チリと呼ぶ）は、年間約4,600,000トンの銅を生産する世界第一の銅産出国であるが、従来はさして問題とならなかった廃水（液）による環境汚染が、近年は環境意識の高まりと規制強化の中で大きな社会問題となりつつある。本調査の目的は、わが国ですでに実用化されている鉄酸化バクテリアを利用した廃水処理法をチリ国内に導入し、環境配慮型の操業を確立普及させることにある。この目的で、現在銅鉱石のリーチングを行っている ENAMI 所属の Ovalle プラントに処理容量 100m³/日程度の廃液処理モデルプラントを設置し、リーチング工程からの廃液浄化の実証試験と技術移転を行った。一連の試験内容とその結果は本報第4章に詳述するとおりである。

公害防止のための投資を行うには、その前提として既存の生産工程の安定と操業成績の向上は欠かせぬ要因である。現実の Ovalle プラントには ENAMI の社会的役割に係わる操業上の制約のほか、技術・環境面でのいくつかの問題が残されている。これらを明らかにするため、第2章にチリ銅鉱業の現況と ENAMI の役割を概説し、第3章では現地調査で Ovalle プラントの操業を技術・環境の両面から診断して収支改善のための考察を行い、その結果を提言として総括した。環境面においては、本調査自体が重要な提言であることはいうまでもない。

上述の廃液処理モデルプラントは、本来実証試験により技術を立証するためのものであり、能力的に実廃液全量を処理することは出来ない。そこで本調査の一環として、廃液全量処理のための工業規模のプラントを設計し、将来計画として提案した。その規模はリーチングプラントの最大処理能力、すなわち月間鉱石処理 14,000 トンに見合う容量とした。

本報では以下フルスケールプラントと呼び、その仕様ならびに建設コストについては第5章に記述する。

第6章では、フルスケールプラントの採算性を検討するため、Ovalle プラント全般にわたっての総合経済・財務分析を行った。本プロジェクトの主たる目標が公害防止対策であることから、廃液プラント増設が直接収支改善に結びつくものではない。従って本章では、Ovalle プラント外部におよぼす環境改善の効果をとらえ、これを出来る限り数量化して検討することを試みた。すなわち、地域社会を含めた経済性を追求することとした。

フルスケールプラントの建設には多額の投資を伴う。これを直ちに実現するには、現下の銅産業と ENAMI をとりまく状況はきびしいものがある。従って、本調査では将来構想として廃液処理フルスケールプラントを提言しつつも、当面は従来程度の操業率を継

続するとした場合の環境配慮型操業を検討した。これについては第 7 章に具体的に記述する。

バクテリアを活用する本廃液処理は技術的に立証された。本調査の目標のひとつにチリ国内他の事業所に応用する計画がある。これは第 8 章に記載するが、Ovalle で完成させたものをそのまま移転して適用出来る事業所はチリ国内には見当たらない。すなわちリーチングと沈殿銅による操業は近年減少の一途をたどり、ENAMI 傘下でも現実には適用は考えられない。そこで、鉱業全般にわたってバクテリア利用すなわちバイオ技術の適用の可能性ある分野をとりあげ、概括的な検討を行った。チリ側の知見とこれまでの経験により、計画を具体化することは十分可能である。

第 9 章では調査結果に考察を加え、最終的な提言として総括した。本提言の実現により Ovalle が小規模ながらも環境汚染のない、かつ収益性の高いプラントとしてチリ銅産業の規範となることを期待する。

2. チリの鉱業事情

2. チリの鉱業事情

2.1 チリの鉱業概要

チリは図 2-1 に示すように第Ⅱ州、第Ⅲ州を中心に数多くの鉱山を有し、世界有数の鉱業大国である。鉱産物の輸出額（83.4 億 US\$：2000 年）は全輸出額（177 億 US\$：2000 年）の 47%を占めている。特に銅については輸出額が 73.4 億 US\$（2000 年）と全輸出額の 41.5%に相当し、図 2-2 に示すように生産量は年々拡大し、2000 年の銅生産量は 460 万 t であり、全世界計 1323 万 t の 35%を占め、世界第 1 位の座を揺るぎないものとしている。

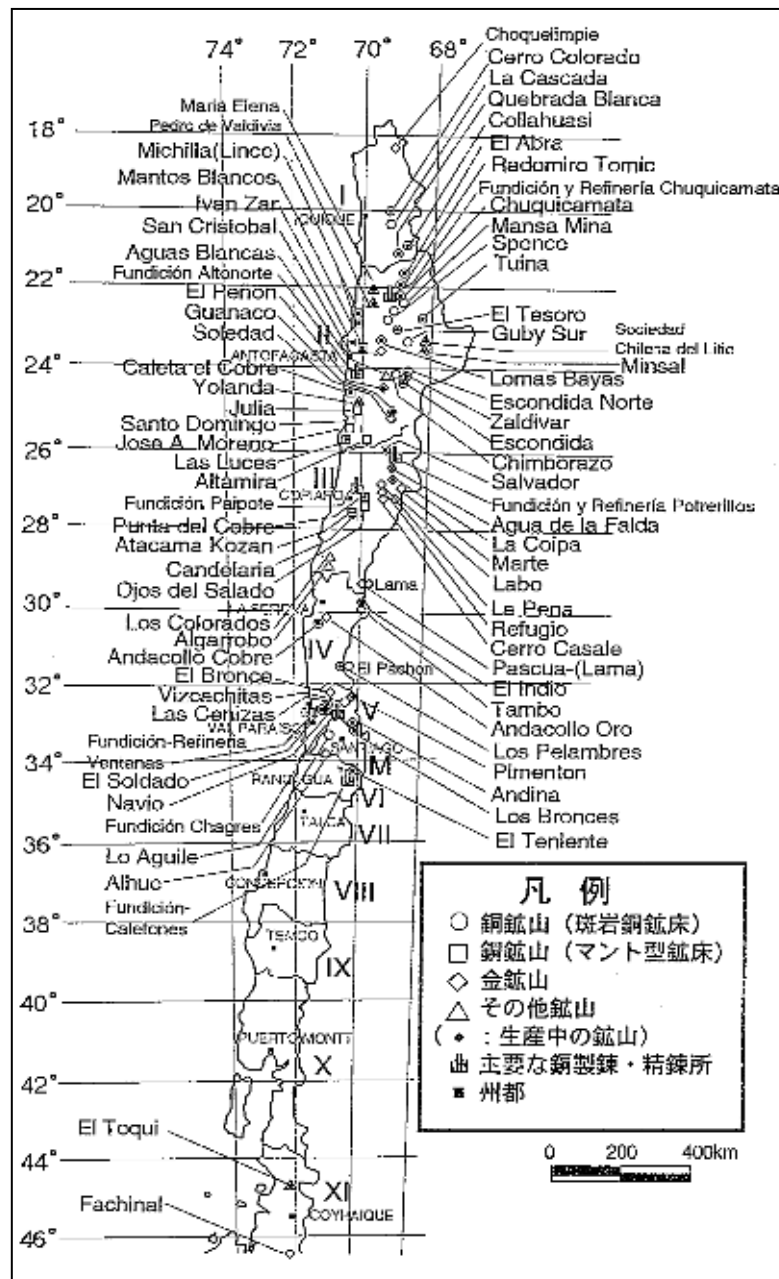


図 2-1 チリ鉱山位置図

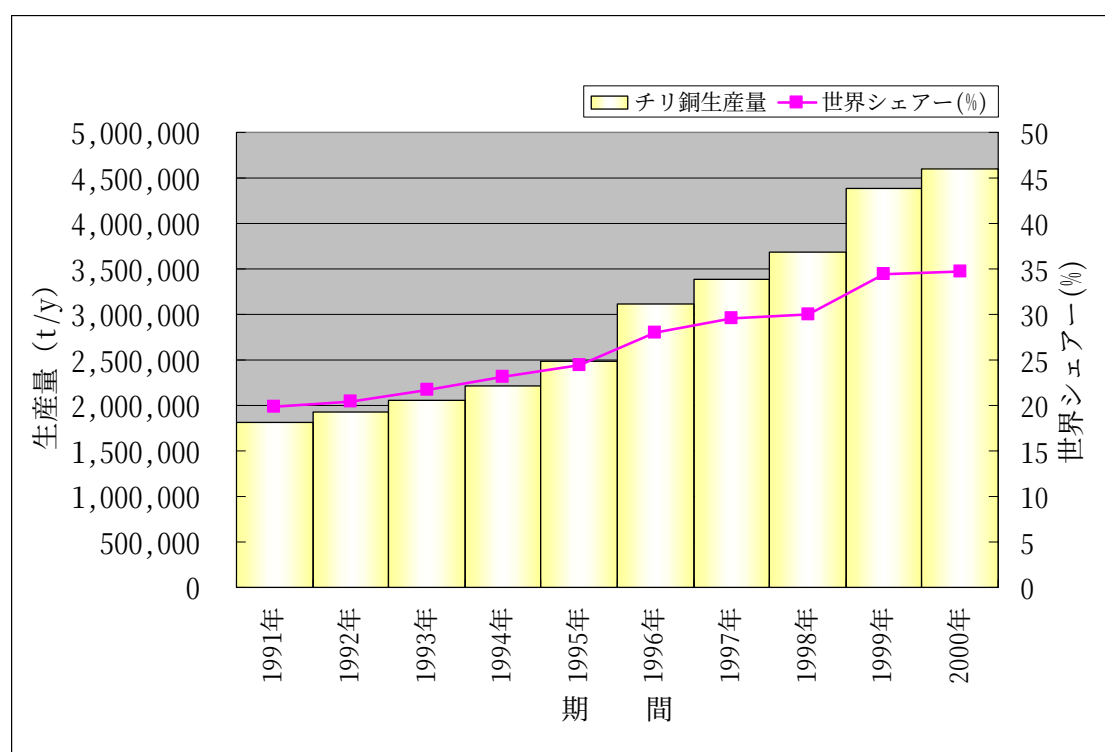


図 2-2 銅生産量の推移

2.2 チリ国の環境関連機関と法整備

チリ国における環境問題に関する法的整備は近年の国際的な環境規制の下、急速に進み、1991 年の製錬所の硫黄酸化物、浮遊粉塵の基準の制定、水質汚濁に関する規定、1994 年の環境基本法の制定と着実に実施されている。

1916 年	・ 産業廃棄物の中和及び浄化に関する法律
1970 年	・ 尾鉱堆積場の建設及び操業に関する規則
1991 年	・ 亜硫酸ガス、粉塵及び砒素を発生する工場活動に関する規則
1992 年	・ 産業廃棄物の中和及び浄化に関する規則
1994 年	・ 環境基本法
1995 年	・ 国家環境委員会及び州環境委員会諮問会議に関する規則 ・ 環境基準及び排出基準の公布に関する規則 ・ 汚染防止及び汚染除去計画作成のための手順及びステップを定める規則
1997 年	・ 環境影響評価に関する規則
1998 年	・ 下水道への産業廃水の放流に伴う汚染物質を規制するための排出基準 ・ 砒素の大気への排出基準
2000 年	・ 海水及び陸地の地表水に排水する液体廃棄物に含まれる汚染要素の規制に関する排水基準の制定

以上の他に現在「地下水への排出基準」、「海水への排出基準」、「地表水保護のための

環境基準」、「鉱山閉山措置法」が制定のための準備中である。

チリ国の環境管理上中心的な役割を果たしているのは、上記の環境基本法で定められている国家環境委員会（CONAMA）である。

チリ国内で新規のプロジェクトを開始しようとする場合には環境影響評価制度（SEIA）により、プロジェクトを実施しようとする州の COREMAS（地方環境委員会：CONAMA の下部組織）に環境影響調査書（あるいは宣言書：プロジェクトの規模による）を提出（2 州以上にまたがる場合は CONAMA に提出）し、その承認を受ける必要がある。

本プロジェクトにおいても Ovalle プラントから環境影響宣言書を COREMAS に提出、承認を受けている。

図 2-3 に CONAMA 及びその関連機関の組織図を示す。

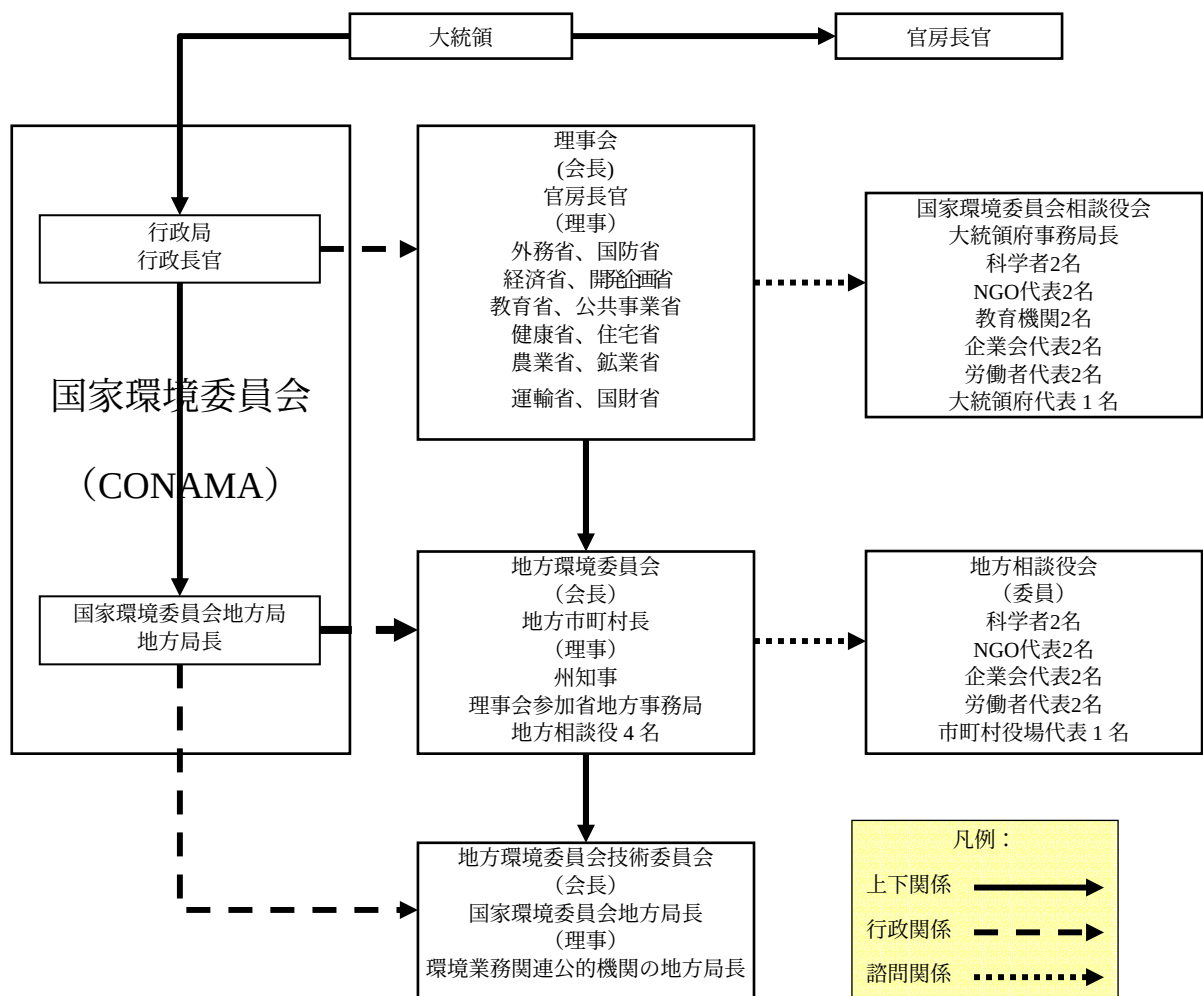


図 2-3 CONAMA 及び関連機関組織図

2.3 チリ鉱山公社（ENAMI）の概要

ENAMI（Empresa Nacional de Minería）は、1960年に当時の鉱業助成振興基金（Caja de Credito y Fomento Minero）と傘下の国営溶錬公社（Empresa Nacional de Fundiciones）の合体により創設されたチリの鉱山公社である。同じ国営の CODELCO（Corporacion Nacional de Cobre de Chile）が一大営利企業であるのに対し、ENAMI は自身で鉱山の開発操業を行わず、中小鉱山の助成振興を主たる役割とする点が特色である。具体的な施策は、以下の四項目に集約される。

(1) 鉱山開発に対する融資等の支援

ENAMI は中小鉱業権者に対し、長短期ローンの斡旋、リスクの保証、運転資金の貸し付け等の便宜を与え開発を支援する。

(2) 買鉱と選鉱処理による支援

ENAMI 所有の下記プラントにおいて中小鉱山からの採掘粗鉱を買い取り、浮遊選鉱あるいはリーチング処理により銅精鉱または沈殿銅に仕上げて製錬所に送付する。鉱石の買い取り時には現下の銅建値に応じ優遇を与えて中小鉱山を支援している。

表 2-1 ENAMI プラントの処理能力

名 称	所在(州)	処理能力（粗鉱トン／月）			産 物
		酸化銅鉱	硫化銅鉱	計	
Taltal	II	12,000	15,000	27,000	沈殿銅・銅精鉱
Matta	III	—	110,000	110,000	銅精鉱
Vallenar	III	12,000	20,000	32,000	沈殿銅・銅精鉱
El Salado	III	18,000	—	18,000	沈殿銅
Ovalle	IV	14,000	11,000	25,000	沈殿銅・銅精鉱
計		56,000	156,000	212,000	

(3) 銅精鉱及び沈殿銅の精錬処理の受託による支援

傘下の Ventanas 製錬所及び Paipote 熔錬所において、前述の選鉱プラントからの銅精鉱・沈殿銅のほかに中小鉱山あるいは他社の銅精鉱・沈殿銅も受け入れて、同時に処理している。ENAMI は中小鉱山に対してプラントの場合と同様に、建値に応じ優遇を与えている。

表 2-2 ENAMI 製錬所生産実績（2000 年）

	Ventanas	Paipote
電気銅	319,105 t	—
粗 銅	—	77,639 t
電解金	5,937 kg	—
電解銀	105,401 kg	—
硫 酸	328,542 t	245,707 t

(4) 技術開発その他

ENAMI は独自にまたは他社と提携して工程の改善、新技術の開発、公害防止等の企画研究を積極的に展開している。

以上 ENAMI の日常業務につき概観した。再び一方の国营会社 CODELCO と対比すると CODELCO が年間銅生産量約 150 万トンとチリ全体の 34%を占めるのに対し、ENAMI 所有の製錬所から産出は約 32 万トンで前者の五分之一に過ぎない。しかし、ENAMI の存在によって中小の産銅業者が他社と対等に操業できることで、雇用の確保等社会面における役割は極めて大きいものといえる。

図 2-4 に鉱業省を中心とした主要機関の組織図を、また図 2-5 には ENAMI の内部組織をそれぞれ表示する。

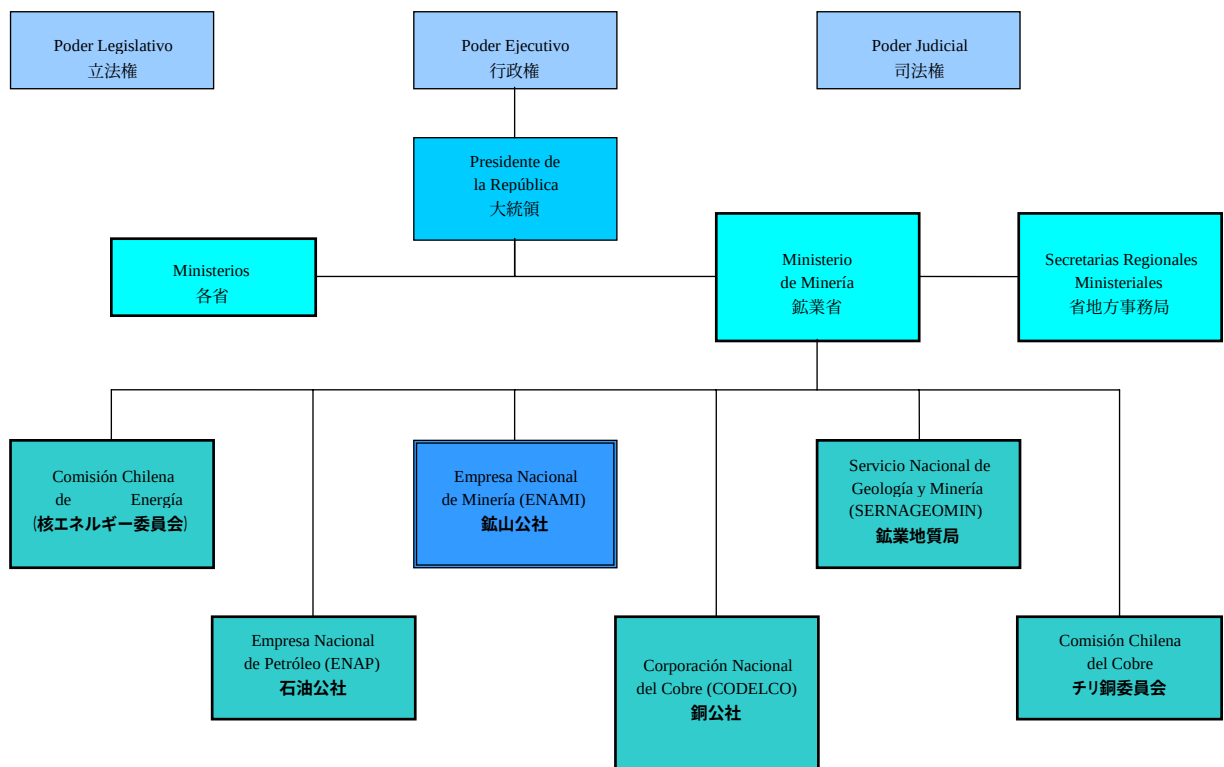


図 2-4 鉱業省組織図

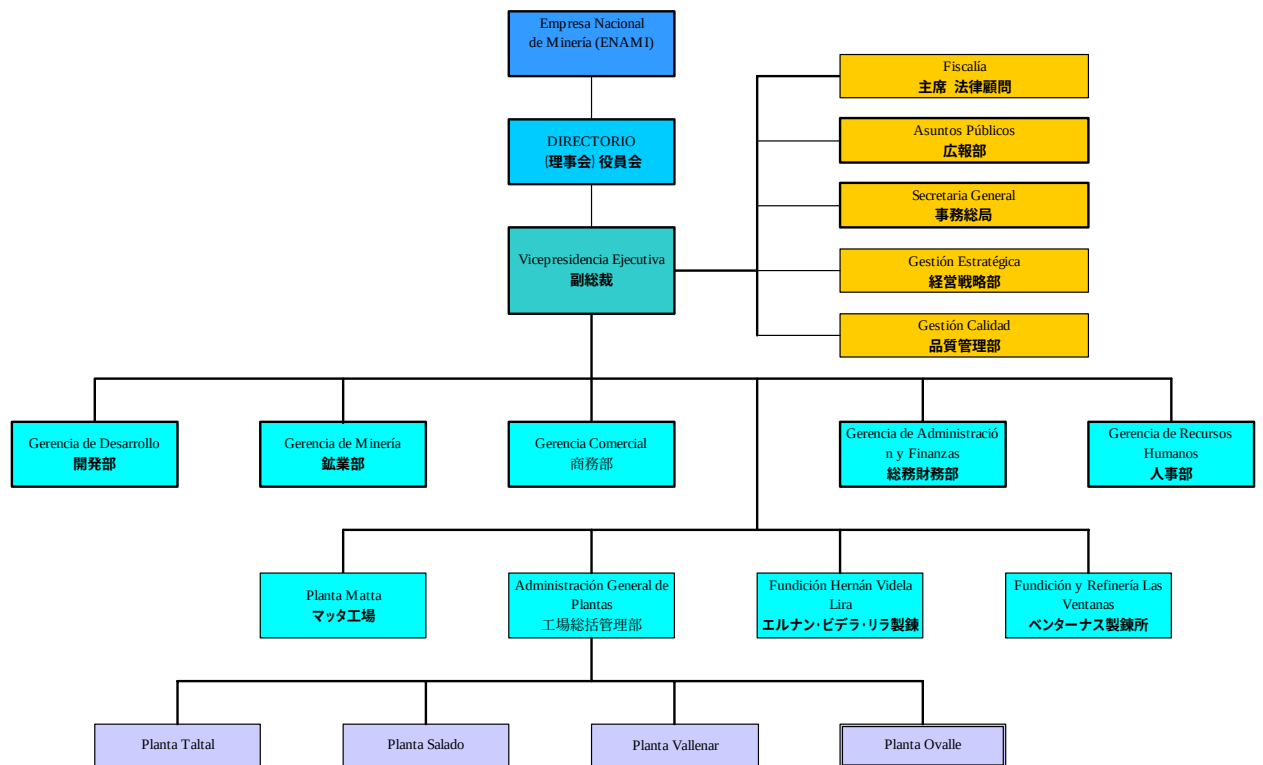


図 2-5 ENAMI 組織図

出典：Annual report ENAMI, 2000
Compendio de la Minera Chilena, 2000

3. Ovalle プラント生産部門の操業診断・環境診断

3. Ovalle プラント生産部門の操業診断・環境診断

3.1 Ovalle プラントの概要

3.1.1 立地

(1) 位置、交通

南緯 30°30'、西経 71°06'で、チリ共和国第IV州 La Serena 市（州都）(*1)のほぼ真南約 70km、Limari 地区 Ovalle 市に属し、同市の北約 8km に位置する。La Serena/Ovalle 間を結ぶ国道 43 号に面し、La Serena より車で約 1 時間 30 分の所にある。標高は、プラント準で 444m である。

*1：Santiago の北 475km に位置し、飛行機で約 50 分掛かる。

(2) 地形

当地域は、セロ ネグロ(Cerro Negro)と呼ばれ、海岸山脈を構成する山岳地帯に含まれる。プラントは、その内陸側の台地になろうとしている所で、川に面した山の開けた斜面にあり、一部を掘削して平地となし、プラント施設を建造している。

(3) 水文

プラントの下部には、Limari 川支流の Ingenio 川が、北東より南西へ水量 1~8m³/min 程度で流れている。Ingenio 川は、プラントの上流約 6km の河床で湧出し、Ingenio 湿地帯を形成し、プラントの下流約 12km で Limari 川に合流する。又、当該地区灌漑用 Recoleta ダムより導水した Talhuen 用水がプラントを縦貫して流れている。その他、プラントの少し上流 Ingenio 川東南左岸に、飲料可の湧水がある。

(4) 気候

乾期（10 月～3 月）は、La Serena 市より海側山岳地帯には朝霧が発生するものの、山岳地帯の内陸側は終日快晴で、降雨はほとんどない。これに対し雨季（4 月～9 月）は、雲が多く短時間に集中して降雨を見ることもある。集中雨の Max.は、1957 年 5 月の 110mm/24h であり、1997 年は大雨による洪水に見舞われた。年間降雨量は、1~340mm/year 程度と大きくばらついているが、1993 年以降は 1997 年を除き 10mm/year 程度以下と少ない。

3.1.2 沿革

- ・ 1959 年：Panulcillo 鉱山会社(Compañía Minera de Panulcillo S.A.)設立。
- ・ 1999 年：ENAMI 事業所(Empresa Nacional de Minería, Planta Ovalle)として発足。

[ENAMI 子会社の Compañía Minera de Panulcillo S.A.より設備を賃借し、操業]

3.1.3 生産

(1) 生産状況

酸化銅鉱と硫化銅鉱とを処理している。

銅建値が 80 ¢ /lb を切るようになる 1998 年以降、買鉱が厳しくなり、操業率が落ち、生産は低迷したが、2001 年以降、銅建値は依然低水準であるものの、ENAMI の買鉱に対するインセンティブ他の努力により、操業率は回復しつつあり、生産は改善され

てきている。生産状況を、表 3-1 に示す。

表 3-1 ENAMI Ovalle プラント生産状況

	酸化銅鉱	硫化銅鉱
1. 処理鉱物	珪孔雀石 (Chrysocolla $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), 孔雀石 (Malachite $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) 他	黄銅鉱 (Chalcopyrite CuFeS_2), 斑銅鉱 (Bornite Cu_5FeS_4), 銅藍 (Covellite/Covellite CuS), 輝銅鉱 (Chalcocite Cu_2S) 他
2. 処理方法	置換沈殿法 (Precipitation process [いわゆる Cementation process]) ： 破碎 → 塊状化 → 浸出 → 置換沈殿 (鉄置換銅沈殿) ⇒ 沈殿銅 (copper precipitate [いわゆる cement copper]) 生産：銅のみを採取	浮選法 (Flotation process) ： 破碎 → 摩鉱 → 浮選 ⇒ 銅精鉱 (copper concentrate) 生産 ： 銅、金、銀を採取 [モリブデンは原鉱に含まれないため不採取]
3. 処理能力	168,000t/year	84,000t/year [2002 夏迄] → 132,000t/year [2002 夏の増産以降]
4. 原鉱調達	中小零細鉱山育成という ENAMI 設立に係る法律に従い、自鉱山を持たず多数の周辺中小零細鉱山よりインセンティブを付け買鉱 ： 鉱石運搬距離 3～120km (最多 30km 程度、大半 20～50km)	
5. 処理量 (2000 年実績)	原鉱 42,365t/year (品位 Cu 2.3%)：操業率 25.2%	原鉱 47,418t/year (品位 Cu 1.7%, Au 0.3g/t, Ag 3.5 g/t)：操業率 56.4%
6. 生産量 (2000 年実績)	沈殿銅 894t/year (品位 Cu 82.9%) (採取率 Cu 77.3%) (金属量 Cu 741t/year)	銅精鉱 3,068t/year (品位 Cu 22.3%, Au 2.0g/t, Ag 88.3 g/t) (採取率 Cu 84.3%, Au 42.1%, Ag ---%) (金属量 Cu 684t/year, Au 6.3kg/year, Ag 270.9 kg/year)
7. 産物売却先	ENAMI Ventanas 銅製錬所	

(2) 生産量の位置付け

鉱山/選鉱場に係る生産銅量における Ovalle プラントの位置付けを、表 3-2 に示す。

Ovalle プラントは、2000 年に銅量 1,425t/year を生産し、チリ国全体生産量 4,614.1 × 10³t/year の 0.03% を占める。ただ、先にも述べた ENAMI の中小零細鉱山育成という設立目的より、必ずしも生産量に拘っていない。

表 3-2 ENAMI Ovalle プラント生産銅量(*2)の位置付け：2000 年実績

摘要	生産銅量(*2)			鉱山、選鉱プラント数
	Cu×10 ³ t/year	割合 %		
1. (ENAMI Ovalle プラント)	(1.4)(*4)	(0.03)	(0.01)	(1)
2. 国 1：全 ENAMI	11.4	0.3	0.1	計 4

摘要	生産銅量(*2)			鉱山、選鉱プラント数
	Cu×10 ³ t/year	割合 %		
3. 国 2：全 CODELCO	1,612.4	34.9	12.2	計 6
4. 民間(*3)	2,990.3	64.8	22.6	計 27
チリ国計：2.+3.+4.	4,614.1	100.0	34.9	計 36
世界合計	13,230.0		100.0	

*2：鉱山/選鉱プラントに係る生産量で、製錬所に係る生産量ではない

チリにおいて、ENAMI の内の 7.4×10^3 t/year 及びその他鉱山に係る若干量のみが酸化銅鉱に係る沈殿銅によるもので、それ以外は酸化銅鉱に係る電気銅 (electrolytic copper [いわゆる cathode copper]) 及び硫化銅鉱に係る銅精鉱によるものである

*3：この民間の内、世界最大銅鉱山の Escondida は、大凡硫化銅鉱 175×10^3 t/day (Cu 2.1%) と酸化銅鉱 70×10^3 t/day (Cu 0.68%) とを処理し、2000 年実績で銅量計 916.6×10^3 t/year (硫化銅鉱より銅精鉱 $2,021.5 \times 10^3$ t/year, Cu 38.4%、酸化銅鉱より電気銅 140.2×10^3 t/year, Cu 99.99%) を生産し、チリ国計の 19.9%、世界合計の 6.9% を占める。

*4：ENAMI 本部値は(1.8)、又、ENAMI 各選鉱プラントに係る生産一覧 (ENAMI 本部値) 2000 年実績を表 3-3 に示す

3.1.4 環境

プラント直下を流れる Ingenio 川のプラント上流部分は汚染が認められないが、下流部分には、黄緑色の硫酸第一鉄(FeSO_4)の析出物及び赤褐色の水酸化第二鉄($\text{Fe}(\text{OH})_3$)の中和殿物の堆積が広範囲に見られ、Ingenio 川は汚染されている。これは Ovalle プラントが酸化銅鉱処理に伴う浸出 (リーチング) 廃液を無処理のまま素堀の蒸発池(ponds)に貯めたため、排水基準値を超える第一鉄イオン(Fe^{2+})他が地下浸透し(*5)、地下水を通じ Ingenio 川を汚染し、下流側に公害が発生したものと考えられる。

*5：他に、地震での一部蒸発池堤体決壊による廃液流出事故あり

又、当河川水の一部は、灌漑に供されているが、灌漑用水に対して鉄等が基準をオーバーしているため、その発生源である当プラントは農業省管轄下の農牧局に計 4,500US\$ (1 回目 1,500US\$, 2 回目 3,000US\$) の罰金を支払っている。

このため必要な公害防止対策を採ることがチリ国家環境委員会(CONAMA)よりも強く要請されている。

尚、当プラントの硫化銅鉱処理に伴う浮選尾鉱 (廃滓) は、廃滓堆積場に堆積され、そこでの上澄水は工程にて全量繰返し (リサイクル) 使用されることより、当処理よりは公害が発生していない。

3.1.5 Ovalle プラント施設他位置

Ovalle プラント処理設備と同関連施設、及び河川他の位置を図 3-1 に示す。

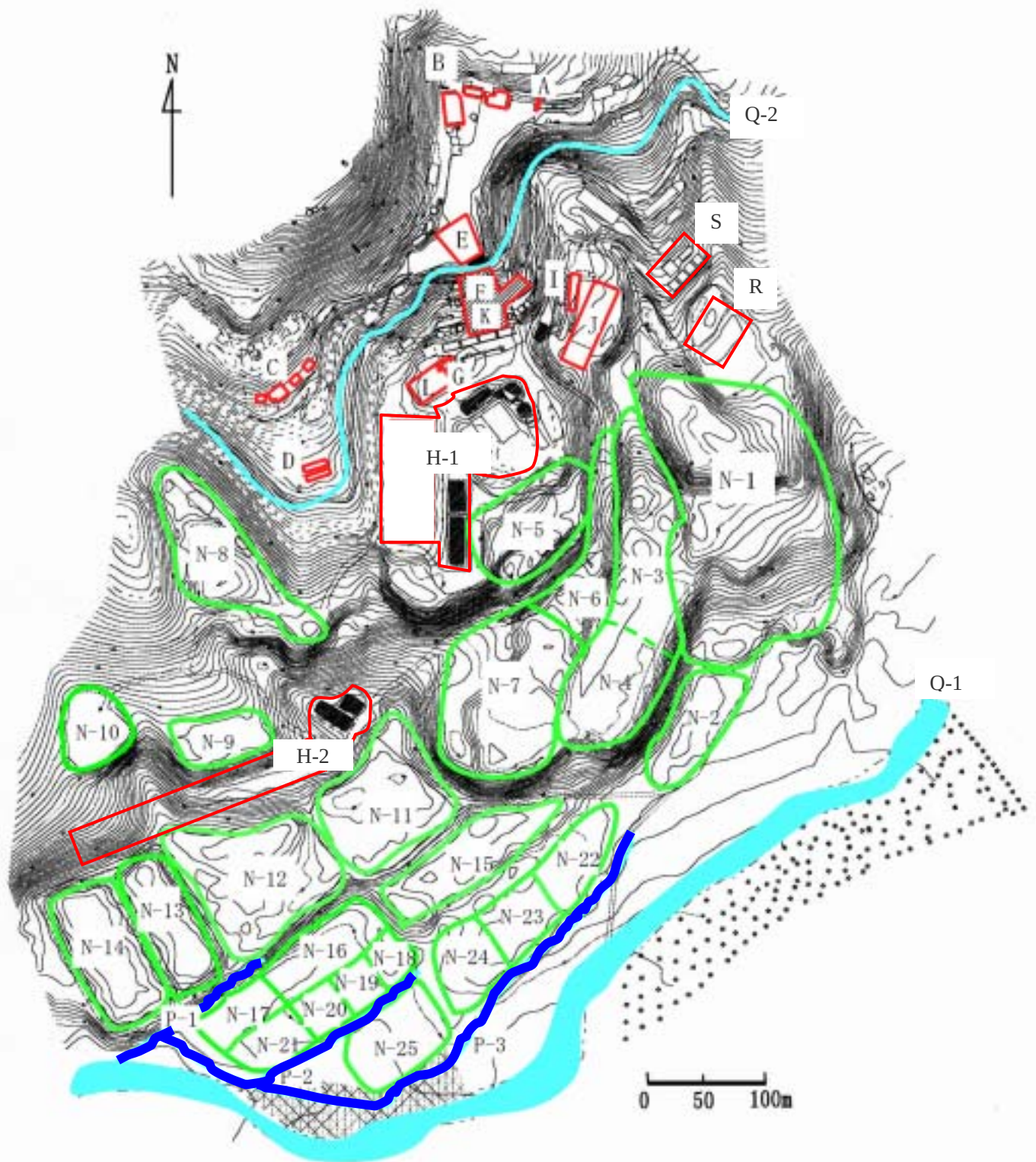
表3-3 ENAMI各選鉱プラント生産一覧：2000年実績 出典 MEMORIA ANUAL 2000, ENAMI

摘 要		Taltal	El Salado	Vallenar	Ovalle (*7)	小計	M. A. Matta
1. 設備能力：計算推定値							
1) 酸化銅鉱(原鉱)	乾t/year	144,000	148,000	144,000	168,000	604,000	
2) 硫化銅鉱(原鉱)	乾t/year	180,000		240,000	84,000	504,000	1,320,000
1)+2) 設備能力計	乾t/year	324,000	148,000	384,000	252,000	1,108,000	1,320,000
2. 受入							
1) 酸化銅鉱(原鉱)	乾t/year	55,754	116,710	32,424	61,530	266,418	鉱石不足に付き、休転
2) 硫化銅鉱(原鉱)	乾t/year	121,009		11,721	47,570	180,300	
3. 処理							
1) 酸化銅鉱(原鉱) (*1), (*2)	乾t/year	71,155	116,710	35,397	53,173	276,435	
〃 操業率 (対設備能力稼働率)	%	49	79	25	32	61 (*8)	
2) 硫化銅鉱(原鉱) (*1), (*3)	乾t/year	114,709		9,895	47,418	172,022	
〃 操業率 (対設備能力稼働率)	%	64		4	56	35	
1) + 2) 処理鉱量計	乾t/year	185,864	116,710	45,292	100,591	448,457	
3) 一次浸出廃石 (*4)	乾t/year	24,000	71,383	0	62,504	157,887	
4. 生産物							
1) 沈殿銅 <酸化銅鉱より> 鉱量	乾t/year	3,082	3,452	1,067	1,390	8,991	
銅品位	%	79.66	84.03	81.51	81.95	81.91	
銅量	乾t/year	2,455	2,901	870	1,139	7,365	
銅採収率	%	77.80	77.66	80.97	75.87	77.81	
2) 銅精鉱 <硫化銅鉱より> 鉱量	乾t/year	10,168		1,054	3,072	14,294	
銅品位	%	30.76		23.87	22.52	28.43	
銅量	乾t/year	3,128		252	684	4,064	
銅採収率	%	93.20		100.37	84.40	91.96	
5. コスト：操業関係							
1) 酸化銅鉱(原鉱)/硫化銅鉱(原鉱)調達	US\$/t	2.42	5.33	7.07	4.10	4.00	
2) 破碎	US\$/t	1.62	1.91	9.30	1.94	2.54	
3) 浮選 (*5)	US\$/t	8.92		6.16	10.73	9.38	
4) 浸出 (*6)	US\$/t	21.9	22.30	11.36	17.27	19.81	
5) 酸化銅鉱処理 1) + 2) + 4) 計	US\$/t	25.94	29.54	27.73	23.31	26.35	
	¢ /Cu-lb	34.1	53.9	51.2	49.4	44.9	
6) 硫化銅鉱処理 1) + 2) + 3) 計	US\$/t	12.96		22.53	16.77	15.92	
	¢ /Cu-lb	21.6		40.1	52.7	30.6	

注) *1：受入/処理間に貯鉱があるため受入鉱量と異なる、*2：破碎→塊状化(ブグロムレイション)→浸出(リーチング)→置換沈殿(プレジタシヨ)：置換沈殿法

*3：破碎→摩鉱→浮選→脱水、*4：二次浸出されるところと思われるが、他欄との関係は不明、*5：[推定] 摩鉱+浮選+脱水、

*6：[推定]塊状化+浸出+置換沈殿、*7：ENAMI本部の当Ovalle欄数値は、Ovalleプラント現場のものの一部異なる、*8：計算では、46%



- A~L,R,S : 処理設備及び関連施設
 N : 廃滓堆積/蒸発場
 P : リーチング廃液流出路
 Q-1 : 河川
 Q-2 : 用水路

注) 凡例の詳細は次頁を参照願う

図 3-1 Ovalle プラント施設位置図

(図 3-1 付け) 凡例詳細

- A : Ovalle プラント正門
B : 資材倉庫
C : 総合事務所
D : 鉱害防止植栽用植物栽培場
E : 買鉱貯鉱場（ストックヤード）：酸化鉱及び硫化鉱処理
F : 破碎場：酸化鉱及び硫化鉱処理
G : 塊状化（アグロメレーション）場：酸化鉱処理
H : 浸出（リーチング）場：酸化鉱処理
 H-1 一次浸出（ヒープリーチング）場：含浸出液池
 H-2 二次浸出（ダンプリーチング）場：含浸出液池
I : 置換沈殿（鉄置換銅沈殿）（プレシピテーション）場：酸化鉱処理
J : 沈殿銅天日乾燥場：酸化鉱処理
K : 摩鉱、浮選場：硫化鉱処理
L : 銅精鉱天日乾燥場：硫化鉱処理
N : 廃滓堆積場/蒸発池（ポンド）：酸化鉱及び硫化鉱処理
 N-1 硫化銅鉱浮選尾鉱廃滓堆積場 1 : 旧使用
 N-2 硫化金鉱浮選尾鉱廃滓堆積場 1 : 旧使用
 N-3 硫化銅鉱浮選尾鉱廃滓堆積場 2 : 現使用
 N-4 硫化金鉱浮選尾鉱廃滓堆積場 2 : 旧使用
 N-5 酸化銅鉱浸透浸出（パーコレーションリーチング）廃石捨場：旧使用
 N-6 酸化銅鉱攪拌浸出（アジテーションリーチング）廃液蒸発池：旧使用
 N-7 酸化銅鉱一次浸出廃石捨場 1 : 旧使用
 N-8 酸化銅鉱一次浸出廃石捨場 2 : 旧使用
 N-9 酸化銅鉱一次浸出廃石捨場 3 : 現使用
 N-10 酸化銅鉱一次浸出廃石捨場 4 : 現使用
 N-11 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 1 } 2001.09 の浸出廃液処理モデルプラントの
 N-12 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 2 } 使用開始に伴い、新規投入中止
 N-13 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 3 : 工事予定(HDPE シート内張り)
 N-14 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 4 : 工事予定(HDPE シート内張り)
 N-15 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 5 : 旧使用(浸透流出廃液蒸発池)
 川側堤体に地震での決壊箇所あり
 N-16 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 6 : 旧使用(浸透流出廃液蒸発池)
 N-17 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 7 : 旧使用(浸透流出廃液蒸発池)
 N-18 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 8 : 旧使用(浸透流出廃液蒸発池)
 N-19 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 9 : 旧使用(浸透流出廃液蒸発池)
 N-20 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 10 : 旧使用(浸透流出廃液蒸発池)
 N-21 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 11 : 旧使用(浸透流出廃液蒸発池)
 N-22 硫化金鉱浮選尾鉱廃滓堆積場 3 : 旧使用
 N-23 硫化金鉱浮選尾鉱廃滓堆積場 4 : 旧使用
 N-24 硫化金鉱浮選尾鉱廃滓堆積場 5 : 旧使用
 N-25 酸化銅鉱一次浸出廃液蒸発池 12 : 旧使用(浸透流出廃液蒸発池)
P : 浸出廃液蒸発池浸透流出液排出路
 P-1 浸出廃液蒸発池浸透流出液排出路 1
 P-2 浸出廃液蒸発池浸透流出液排出路 2
 P-3 浸出廃液蒸発池浸透流出液排出路 3
Q : 河川、用水路
 Q-1 Ingenio 川
 Q-2 Talhuen 用水路
R : 浸出廃液処理モデルプラント
S : 浸出貴液処理硫酸銅製造テストパイロットプラント

3.2 操業診断

経営の安定と、新たな環境他施策資金確保のために、生産性の向上による収益改善を常に図る必要がある。従って、Ovalle プラントの酸化銅鉱処理と硫化銅鉱処理との両方の処理に対し、収入増とコスト減他に関し総合的に検討する。

3.2.1 銅鉱種別処理方法比較

Ovalle プラントでは、酸化銅鉱を置換沈殿法（いわゆるセメンテーション法）にて処理し沈殿銅を、又硫化銅鉱を浮選法にて処理し銅精鉱を生産している。

銅地金主要生産方法に関し、処理銅鉱種(*1)別に、対象銅鉱物、生産フロー、金、銀採取の可能性、直接コスト、適用規模について比較し、表 3-4 にまとめ参考に供する。

*1：酸化銅鉱（置換沈殿法 → 製錬(乾式製錬)法、又は、溶媒抽出－電解採取(SX-EW)法）
硫化銅鉱（選鉱－製錬法[浮選 → 乾式製錬]

3.2.2 酸化銅鉱処理

(1) 処理プロセス

酸化銅鉱は、破碎 → 塊状化（Agglomeration）→ 浸出（Leaching）→ 置換沈殿（鉄置換銅沈殿）（Precipitation）による置換沈殿法により処理し、沈殿銅(copper precipitate[いわゆる cement copper])を生産している。ブロックダイアグラム（概略）とマテリアルバランス（2000 年実績）とを図 3-2 に示す。

(2) 操業成績

銅建値が 80 ¢ /lb を切るようになる 1998 年以降、買鉱量の確保が困難となり、生産は低迷したが、2001 年以降は、銅建値が依然低水準であるにもかかわらず、ENAMI の努力により、操業率 50%程度まで復調している。

ている。酸化銅鉱処理操業率と銅建値の関係を表 3-5 に示す。

表 3-5 酸化銅鉱処理操業率と銅建値まとめ

期間	月数	銅建値(*2) ¢ /lb			酸化銅鉱処理操業率(*3) %				
		建値別	範囲	平均	<50	50～80	80～100	100 <	平均
94.01～ 97.11	延べ 47 ヶ月	高値期	82～ 140	111.9	10 ヶ月 [21 %]	18 ヶ月 [38 %]	18 ヶ月 [38 %]	1 ヶ月 [2 %]	70.6 [100%]
97.12～ 00.12	延べ 37 ヶ月	安値期	63～ 89	76.3	27 ヶ月 [73 %]	9 ヶ月 [24 %]	1 ヶ月 [3 %]	0 ヶ月 [0 %]	40.2 [100%]

注) *2：LME Grade A 現物（売）、*3：[]内は、操業率別月数割合

(3) 収入増に係る検討

酸化銅鉱処理に係る収入の概念を次式に示す。各要因について検討した。

$$\text{収入} = \sum [\{ \text{Cap.} \times A/100 \times B/100 \times (100-C)/100 \times D/100 \times E/100 \} (100-F)/100 \times G]$$

：各ロット毎の計

ここで、Cap.：酸化銅鉱処理設備能力 (t/month, t/year)

A：操業率 (%)

B：原鉱溶解銅品位 (%)

C：銅ロス率 (%)

D：銅浸出（リーチング）率 (%)

E：銅沈殿率（鉄置換率） (%)

F：不稼働率 (%)

G：ENAMI よりの収入

(4) コスト減に係る検討：省力、省エネ、省資源について検討した。

(5) 酸化銅鉱処理方法検討

現在採用の置換沈殿法(生産物：沈殿銅 copper precipitate[いわゆる cement copper])と、溶媒抽出-電解採取法(SX-EW：Solvent extraction – Electro-winning)(生産物：電気銅 electrolytic copper [いわゆる cathode copper])との比較において、3.2.1 の表 3-4 下段の処理方法別最終生産物の電気銅生産に係る直接コスト比較(*4)より、酸化銅鉱に対する置換沈殿法の当コストは、置換沈殿の後に乾式製錬（及び電解精製）が必要となることにより、溶媒抽出-電解採取法のそれに比し大幅に高く不利は免れない。

しかし、現在、中小規模での処理鉱量増が困難視されること、及び中小処理規模下における溶媒抽出、電解採取に対する大規模起業投資に係る減価償却の厳しさ等を勘案し、Ovalle プラントでは置換沈殿法が最適と判断される。

*4：処理方法別直接コスト比較（目安）

酸化銅鉱	置換沈殿法 → 製錬(乾式製錬)法：坑内堀鉱	70～90 ¢ /lb 程度
	溶媒抽出-電解採取法：露天掘鉱	30～50 ¢ /lb 程度
硫化銅鉱	選鉱 → 製錬(乾式製錬)法：露天掘鉱	40～60 ¢ /lb 程度
	：坑内堀鉱	50～70 ¢ /lb 程度

ただ、将来的に、酸化銅鉱の買鉱における安定供給と大規模多量処理とが確保される場合は、溶媒抽出-電解採取法も検討すべきと考える。

尚、浸出（リーチング）貴液の、その他処理方法として、硫酸銅がテスト生産されているが、十分な市場調査に基づき F/S をすることが必要と考える。

(6) 目標（まとめ）

酸化銅鉱処理に係る操業改善をまとめ、酸化銅鉱処理の目標を表 3-6 に示す。

・操業改善 1：収入（生産金額）増関係

① 操業率増：2000 年実績[Y] 25.2% → 年間目標[X₁] 90.0%, 実勢 Max.[X₂] 57.1%

(対策) ENAMI による買鉱への更なるインセンティブ、ENAMI による鉱山経営、買鉱カットオフ品位の下げ、一次浸出廃石の二次浸出定常組込み、期待外部条件で銅建値>80~90 ¢ /lb 等

② 総合銅採収率増

:2000 年実績[Y] 77.3% → 年間目標[X₁] 81.5%, 実勢 Max.[X₂] 81.5%

(対策) 銅ロス減 (更に粉塵発生防止、細粒湿式処理)

銅浸出率増(粒度他最適化、浸出廃液及び同処理液の浸出工程へ戻し、
バクテリアの利用)

鉄置換銅沈殿率増 (更なる管理)

③ 沈殿銅銅品位増

:2000 年実績[Y] 82.9% → 年間目標[X₁] 83.0%, 実勢 Max.[X₂] 83.0%

(対策) 更なる管理

・操業改善 2 : コスト減関係

: 2000 年実績[Y] 23.31US\$/原鉱 t → 年間目標[X₁] 22.14US\$/原鉱 t,
実勢 Max.[X₂] 22.14US\$/原鉱 t

(対策) 全項目について 5%削減

これら操業改善に関し、年間目標 (処理鉱量=設備能力(168,000t/year)×操業率 90% = 151,200t/year) と実勢 Max. (処理鉱量=設備能力(168,000t/year)×操業率 57% = 96,000t/year) の 2000 年 (直近の基準年) 実績 (処理鉱量=42,365t/year) との差を以て、生産粗利益の向上を試算検討した。

生産粗利益についてみると、2000 年実績で既に赤字であるが、現在の評価方法を以てすると、上述の大幅な操業改善をして操業率を 90%にまで上げてても大幅な赤字は避けられない。年間目標[X₁]で-735,949US\$/year の、又実勢 Max. [X₂]でも-467,979US\$/year の赤字が見込まれる。

そのまとめを以下に示す。()内は、操業の改善を行わなかった場合のものである。

操業改善により、生産粗利益において、年間目標[X₁]では+452,676US\$/year、実勢 Max.[X₂]では+286,704US\$/year の向上が見込まれる。

生産粗利益検討まとめ：酸化銅鉱処理 (金額単位：US\$/year)					
	年間目標[X ₁]	実勢 Max.[X ₂]	2000 年[Y]	差[X ₁ -Y]	差[X ₂ -Y]
処理鉱量 (t/year)	151,200	96,000	42,365		
収入(生産金額)[A]	2,611,519	1,657,461	654,485	+1,957,034	+1,002,976
	(2,335,846)	(1,483,077)		(+1,681,361)	(+828,592)
生産コスト[B]	3,347,568	2,125,440	987,528	+2,360,040	+1,137,912
	(3,524,471)	(2,237,760)		(+2,536,943)	(+1,250,232)
生産粗利益[A-B]	-735,949	-467,979	-333,043	-402,906	-134,936
	(-1,188,625)	(-754,683)		(-855,582)	(-421,640)
<操業改善金額>	<+452,676>	<+286,704>			

表 3-4 銅鉱別処理方法比較

1. 対象銅鉱：主要鉱物	酸化銅鉱		硫化銅鉱
	珪孔雀石 Chrysocolla $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、 孔雀石 Malachite $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ 他 注) バクテリア利用により二次硫化銅鉱(輝銅鉱、銅藍 等) に対しても適用可		黄銅鉱 Chalcopyrite CuFeS_2 、 輝銅鉱 Chalcocite Cu_2S 、 銅藍 Covellite/Covellite CuS 他
2. 生産方法	置換沈殿(セメンテーション)-製錬法	溶媒抽出-電解採取(SX-EW)法	選鉱-製錬法
3. 生産フロー			
4. 金、銀採収可能性	×	×	○
5. 直接コスト*1			
5-1 採鉱			
・露天掘り	¢ /lb		9~45, Ave. 24 程度
	\$ /原鉱 t	○	0.5~1.9, Ave. 1 程度
・坑内掘り	¢ /lb	○	11~97, Ave. 38 程度
	\$ /原鉱 t		2~30, Ave. 12 程度
5-2 選鉱			
・露天掘鉱	¢ /lb		5~67, Ave. 24 程度
	\$ /原鉱 t	○：破碎, 塊状化, 浸出	1.5~5.5, Ave. 3 程度
・坑内掘鉱	¢ /lb	○	6~27, Ave. 14 程度
	\$ /原鉱 t	○：破碎, 塊状化, 浸出, 沈殿	2~15, Ave. 5 程度
5-3 精鉱輸送	¢ /lb	○：沈殿銅輸送	0.5~8, Ave. 3 程度
5-4 製錬			
・乾式	¢ /lb	○	8~32, Ave. 19 程度
・湿式	¢ /lb	○	
5-5 副産物収入	¢ /lb		-1~-130, Ave. -22 程度
(Au, Ag, Mo)			
直接コスト合計 (目安)			
・露天掘鉱	¢ /lb	30~50 程度	40~60 程度
・坑内掘鉱	¢ /lb	70~90 程度	50~70 程度
6. 適用規模	小 (~中)	大*2	小~大

注) *1：総コストには、当コストに金利、償却等が加わる、*2：(中、)小の場合、溶媒抽出、電解採取の償却困難

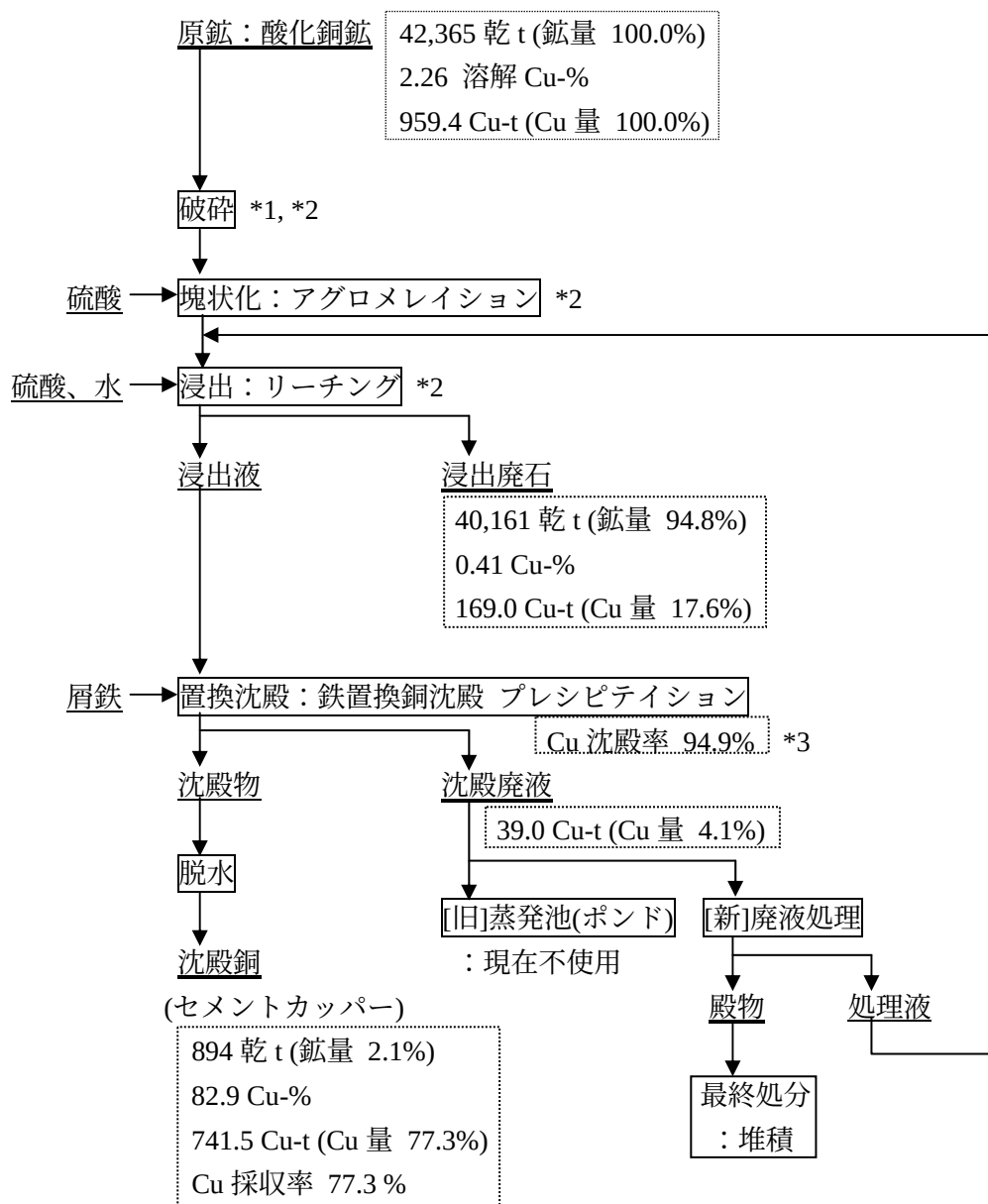


図 3-2 ブロックダイアグラム(概略)とマテリアルバランス(2000 年実績)：酸化銅鉱処理
：ENAMI Ovalle プラント

注) *1：原鉱受入/破碎にて秤量、サンプリング、品位分析
を行い、ロット毎に受入鉱の買鉱条件を確定

*2：破碎・塊状化・浸出工程ロス	424 乾 t (鉱量 1.0%)
	2.24 Cu-%
	9.5 Cu-t (Cu 量 1.0%)
*3：置換沈殿工程ロス	0.5 Cu-t (Cu 量 0.1%)

表 3-6 酸化銅鉱処理の目標：Ovalle プラント：ENAMI

摘 要		年間 目標：X ₁	実勢 Max.：X ₂	2000年 実績：Y	1994～2000年 実績	差：X ₁ －Y	差：X ₂ －Y	対策 又は 期待外部条件(◇)
1. 操業率：対設備能力稼働率		%	57.1	25.2	25.2～85.0: Ave.57.2	+64.8	+31.9	1)ENAMIによる買鉱への更なるインセンティブ
(1) 原鉱鉱量 (溶解銅品位)		t/year (Cu-%)	96,000 (同右)	42,365 (2.3)	42,365～142,831: Ave.96,096 (1.9～2.3: Ave.2.1)	+108835 (±0)	+53,635 (±0)	2)ENAMIによる鉱山経営 3)買鉱カットオフ品位の下げ
(2) 設備能力		t/year	168,000	168,000	168,000	±0	±0	4)一次浸出廃石の二次浸出定常組込み 5)銅建値 >80 ¢ /lb(◇)
2. 総合銅採収率 (計算式)		%	(同左)	77.3	56.8～77.3: Ave.72.1	+4.2	+4.2	
総合銅採収率=(100－銅ロス1)×銅浸出率/100 ×銅沈殿率/100－銅ロス2								
(1) 銅ロス1 分布率：破碎、塊状化、浸出		%	(同左)	1.0	0.9～1.1: Ave.1.0	-0.5	-0.5	1)更に粉塵発生防止、2)細粒湿式処理、回収
(2) 銅浸出率 (内、リーチング廃液及び 同処理水のリーチング繰返し回収分) [参考：リーチング廃液中の銅分布率]		%	(同左)	82.2 (0.0)	60.3～82.2: Ave.76.7 (0.0)	+4.1 (+3.1)	+4.1 (+3.1)	1)粒度他最適化 2)リーチング廃液及び同処理水のリーチング繰返し
(3) 銅沈殿率		%	(同左)	[4.1]	[2.9～4.1: Ave.3.8]	[-3.1]	[-3.1]	し：繰返し回収、バクテリア利用、Fe ³⁺ 利用
(4) 銅ロス2 分布率：沈殿		%	(同左)	94.9 0.05	94.9～95.0: Ave.94.9 0.05	+0.1 ±0	+0.1 ±0	1)更なる管理、安定 1)同上
3. 生産沈殿銅								
(1) 沈殿銅量、同銅品位	1) 量	t/year	計算 3,415	894	894～2,907: Ave.1,865	+2,521	+1,274	
	2) 品位	%	83.0 (同左)	82.9	75.3～82.9: Ave.78.3	+0.1	+0.1	1)更なる管理、安定
(2) 銅量	1) 量	t/year	計算 2,834	741	741～2,261: Ave.1,448	+2,093	+1,058	
4. 収入(生産金額)[A]：試算推定		US\$/year	2,611,519	654,485		+1,957,034	+1,002,976	
5. 生産コスト[B]		US\$/year	3,347,568	987,528		+2,360,040	+1,137,912	
(1) 単位生産コスト	US\$/原鉱t	22.14 (同左)	23.31	23.31		-1.17	-1.17	1)全項目 5%削減
	(¢ /生産Cu-lb)	(計算 53.6)	(計算 53.6)	(計算 60.5)		(-4.8)	(-4.8)	
6. 年間生産粗利益[A－B]		US\$/year	-735,949	-333,043		-402,906	-134,936	
<年間操業改善金額>		US\$/year	<+452,676>	<+286,704>				

3.2.3 硫化銅鉱処理

(1) 処理プロセス

硫化銅鉱は、破碎→摩鉱→浮選による浮選法により処理し、銅精鉱（copper concentrate）を生産している。

ブロックダイアグラム（概略）とマテリアルバランス（2000 年実績）とを図 3-3 に示す。

(2) 操業成績

銅建値が 80 ¢ /lb を切るようになる 1998 年以降、買鉱量の確保が困難となり、生産は低迷したが、2001 年以降、銅建値は依然低水準にあるものの、ENAMI の努力により、操業率を 80%以上までに復調させている。

硫化銅鉱処理操業率と銅建値の関係を表 3-7 に示す。

表 3-7 硫化銅鉱処理操業率と銅建値まとめ

範囲	月数	銅建値(*5) ¢ /lb			硫化銅鉱処理操業率(*6) %				
		建値別	範囲	平均	<50	50～80	80～100	100 <	平均
94.1～97.11	延べ 47 ヶ月	高値期	82～140	111.9	1 ヶ月 [2 %]	15 ヶ月 [32 %]	22 ヶ月 [47 %]	9 ヶ月 [19 %]	82.5 [100%]
97.12～01.5	延べ 42 ヶ月	安値期	63～89	76.5	17 ヶ月 [40 %]	20 ヶ月 [48 %]	4 ヶ月 [10 %]	1 ヶ月 [2 %]	53.8 [100%]

注）*5：LME Grade A 現物（売）、*6：[]内は、操業率別月数割合

(3) 収入増に係る検討

硫化銅鉱処理に係る収入の概念を次式に示す。各要因について検討した。

$$\text{収入} = \sum \{ \text{Cap.} \times A / 100 \times B / 100 \times (100 - C) / 100 \times D / 100 \} (100 - E) / 100 \times F$$

：各ロット毎の計

ここで、Cap.：硫化銅鉱処理設備能力 (t/month, t/year)

A：操業率 (%)

B：原鉱硫化銅鉱に係る銅他品位 (%)

C：銅他ロス率 (%)

D：銅他採取率 (%)

E：不稼働率 (%)

F：ENAMI よりの収入

尚、2002 年夏季に、30～40 千 t の原鉱のストックができたのに伴い、従来の 7,000t/month(84,000t/year)より、約 11,000t/month(132,000t/year)への増産起業を実施した。

(4) コスト減に係る検討：省力、省エネ、省資源について検討した。

(5) 目標（まとめ）：年間目標は、2002 年夏季までの設備能力を以て試算
硫化銅鉱処理に係る操業改善をまとめ、硫化銅鉱処理の目標を表 3-8 に示す。

・操業改善 1：収入（生産金額）増関係

① 操業率増：2000 年実績[Y] 56.4% → 年間目標[X] 90.0%

（対策）ENAMI による買鉱への更なるインセンティブ、ENAMI による鉱山経営、買鉱カットオフ品位の下げ、期待外部条件で銅建値>80～90 ¢ /lb 等

② 銅採取率増：2000 年実績[Y] 84.3% → 年間目標[X] 91.0%

（対策）最適摩鉱回路採用、浮選濃度増による浮選時間確保 他

③ 精鉱銅品位増：2000 年実績[Y] 22.3% → 年間目標[X] 30.0%

（対策）精選フロー改善、精選に再摩鉱導入、精選にコラム浮選機導入、及び黄鉄鉱の抑制、分離 他

・操業改善 2：コスト減関係

：2000 年実績[Y] 16.77US\$/原鉱 t → 年間目標[X] 15.93US\$/原鉱 t,

（対策）全項目について 5%削減

これら操業改善に関し、年間目標（処理鉱量＝設備能力(84,000t/year)×操業率 90%＝75,600t/year）[X]の 2000 年（直近の基準年）実績（処理鉱量＝47,418t/year）[Y]との差を以て、生産粗利益の向上を試算検討した。

生産粗利益についてみると、2000 年実績で既に赤字であるが、現在の評価方法を以てすると、上述の大幅な操業改善をして操業率を 90%にまで上げてても大幅な赤字は避けられない。年間目標[X]で-188,940～-253,305US\$/year の赤字が見込まれる。

そのまとめを以下に示す。()内は、生産の改善を行わなかった場合のものである。

操業改善により、生産粗利益において、年間目標[X]で+280,326～+277,922US\$/year の向上が見込まれる。

生産粗利益検討まとめ：硫化銅鉱処理 (金額単位：US\$/year)			
	年間目標[X]	2000 年[Y]	差[X-Y]
処理鉱量 (t/year)	75,600	47,418	+28,182
収入(生産金額)[A]	1,015,368～951,003 (798,546～736,585)	493,362	+522,006～+457,641
生産コスト[B]	1,204,308 (1,267,812)	795,200	+409,108
生産粗利益[A-B]	-188,940～-253,305 (-469,266～-531,227)	-301,838	+112,898～+48,533
<操業改善金額>	<+280,326～+277,922>		

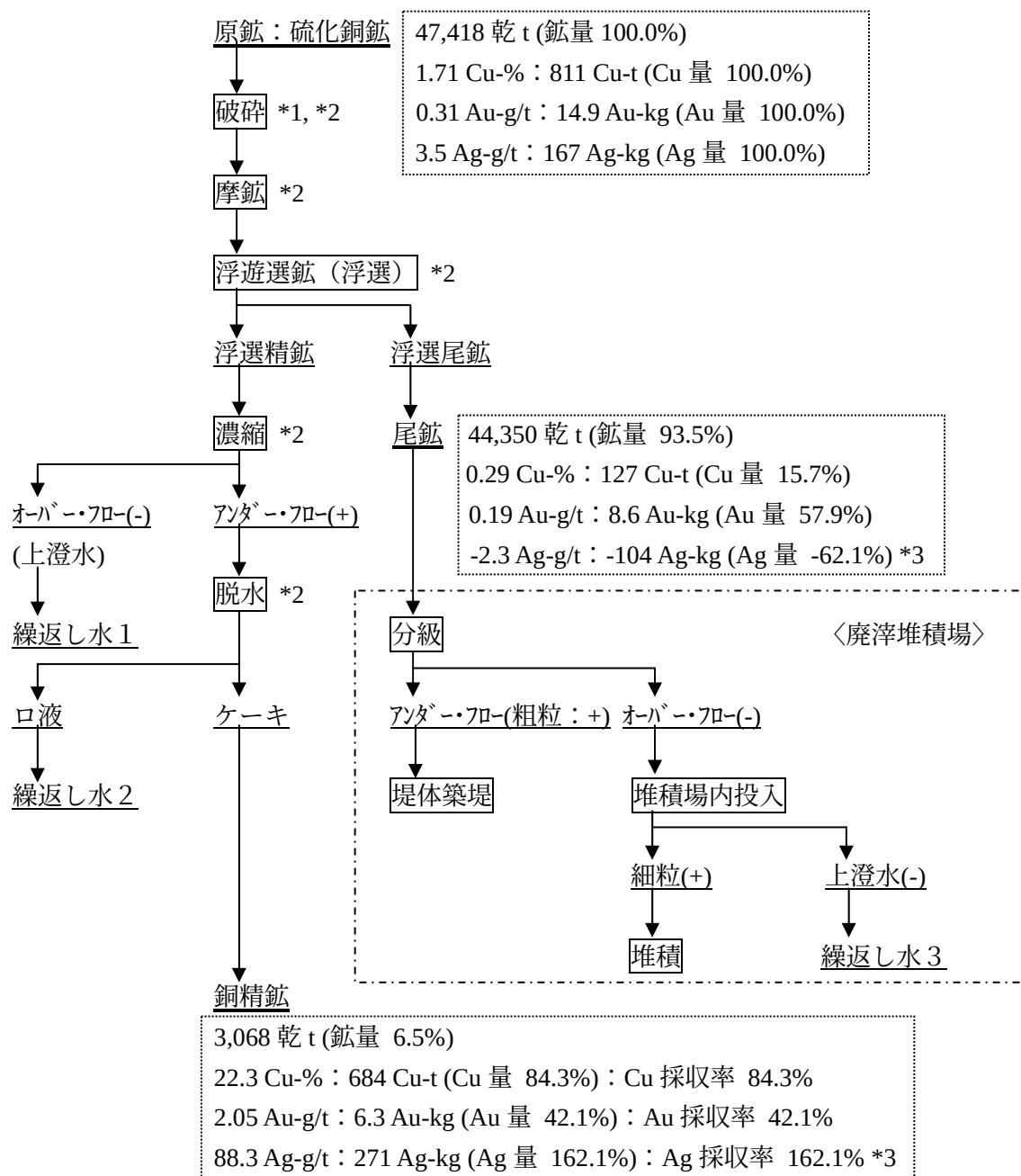


図 3-3 ブロックダイアグラム(概略)とマテリアルバランス(2000 年実績)：硫化銅鉱処理
 ： ENAMI Ovalle プラント

注) *1：原鉱受入/破碎にて秤量、サンプリング、品位分析
 を行い、ロット毎に受入鉱の買鉱条件を確定

*2：工程ロス なし

*3：不明

表 3-8 硫化銅鉱処理の目標：Ovalleプラント：ENAMI

摘 要		年間 目標：X	2000年 実績：Y	1994～2000年 実績	差：X－Y	対策 又は 期待外部条件(◇)
1. 操業率：対設備能力稼働率		%				
(1) 原鉱鉱量（銅品位）	t/year (Cu-%)	75,600 (同右)	56.4 47,418 (1.7)	42.3～95.5: Ave.69.2 35,572～80,196: Ave.58,128 (1.7～2.9: Ave.2.2)	+33.6 +28,182 (±0)	1)ENAMIによる買鉱への更なるインセンティブ 2)ENAMIによる鉱山経営 3)買鉱カットオフ品位の下げ 4)銅建値 >80～90 ¢/lb (◇)
	t/year	84,000	84,000	84,000	±0	
(2) 設備能力						
2. 採収率						
(1) 銅	%	91.0	84.3	84.3～93.5: Ave.89.9	+5.7	1)最適摩鉱回路採用 2)浮選濃度増による浮選時間確保
	%	---	42.1	42.1～179.8?: Ave.88.4	---	(同上：銅に付随)
	%	---	162.1	87.1～327.8?: Ave.135.4?	---	(同上：銅に付随)
3. 生産銅精鉱						
(1) 銅精鉱	1) 量	計算 3,898	3,068	2,749～5,698: Ave.4,419	+788	
	1) 品位	30.0	22.3	22.0～29.1: Ave.26.4	+7.7	1)精選フロー改善、及び精選に再摩鉱導入
(2) 銅精鉱銅品位、同銅量	2) 量	計算 1,170	684	605～1,658: Ave.1,165	+473	2)精選にコラム浮選導入
	1) 品位	---	2.0	2.0～14.4: Ave.8.5	---	(同上：銅に付随)
(3) 銅精鉱金品位、同金量	2) 量	---	6.3	6.3～81.9: Ave.37.5	---	
	1) 品位	---	88.3	88.3～198.3: Ave.140.2	---	(同上：銅に付随)
(4) 銅精鉱銀品位、同銀量	2) 量	---	270.9	247.3～983.8: Ave.619.5	---	
4. 収入(生産金額)[A]：試算推定(*1)						
		US\$/year	1,015,368～951,003	493,362	+522,006～+457,641	
5. 生産コスト[B]						
(1) 単位生産コスト	US\$/year	1,204,308	795,200		+409108	
	US\$/原鉱t	15.93	16.77		-0.84	1)全項目 5%削減
	(¢/生産Cu-lb)	(計算 47.2)	(計算 52.7)		(-5.5)	
6. 年間生産粗利益[A－B]						
		US\$/year	-188,940～-253,305	-301,838	+112,898～+48,533	
<年間操業改善金額>		US\$/year	+280,326～+277,922			

注) *1:処理鉱量割合 年間目標(想定) ① ENAMI内の定価格にて調達した場合 60～30%, ② Ovalleプラントの特殊契約にて調達した場合 40～70%、2000年実績[2000.2] ① 50%, ② 50%

3.3 環境診断

3.3.1 目的

本診断は、Ovalle プラント周辺の自然環境及び汚染状況について、現状把握の上、鉱害の発生原因を解明することを目的とする。

3.3.2 Ovalle プラント周辺の水文・水質

本地域の水文は、プラントの東側を Ingenio 川が南西方向に流れ、プラントからおよそ 40km 下流で Limari 川に合流している(図 3-4 参照)。プラント近く(Ingenio 川上流東岸)には湧水があり、この地域で唯一の飲料用である。

本地域は、標高 600～1,000mの山岳地帯であり、年間降雨量が 80～100mm 程度のため、植生は少なく、周辺の谷、枝沢は降雨期以外は乾燥している。

3.3.3 水質・水量モニタリング結果

プラント周辺のモニタリングポイントは、以下の 9ヶ所に設定している(図 3-4 参照)。

- M-1: The Ingenio river (the upper stream of the plant)
- M-2: Spring Water for Drinking.
- M-3: Industrial water (Talhuen water)
- M-4: Waste water from precipitation process. (プラント廃水)
- M-4A: Infiltrate drainage at downstream of evaporation pond (浸透水 A)
- M-4B: Infiltrate drainage at upstream of evaporation pond (浸透水 B)
- M-5: The Ingenio River (500 m down stream of the plant)
- M-6: The Ingenio River (2 Km down stream of the plant)
- M-7: The Ingenio River (5 Km down stream of the plant)

これら観測点では、環境影響評価のため、チリ側が毎月 1 回水質を分析し、基礎データを蓄積している。

プラントの上流側である M-1, M-2, M-3 は一年を通じて水質的に安定しており、T-Fe 濃度は、いずれも 0～0.3 程度(基準値以下)で特に問題ない。M-2 の Cl^- 濃度が比較的高いのは塩素殺菌の影響と考えられる。

汚染源と推測される M-4, M-4A, M-4B については、M-4 の水質は非常に不安定であり、鉄酸化バクテリアの活性に重要な T-Fe 濃度が、鉱石不足からくる酸化鉱処理工程の操業率の不安定さにより 9～39 g/L の幅で変動する。今後の鉄酸化バクテリアの活性度維持の上で十分留意しなければならない。

M-4A は M-4 と周辺あるいは場内の水が混ざったもの、M-4B は M-4 以外の場内水と推測される。

M-5, M-6, M-7 に関しては、Ingenio 川の水量の多い 4 月～9 月は希釈効果のため、含有物質の濃度は下がっているものの、M-5, M-6 においては、年間を通じて T-Fe、Cu、Al、

Mn、 SO_4^{2-} の含有量は高い。M-7では、T-Fe、Cu、Al、Mn、 SO_4^{2-} の含有量は自然の浄化作用により低下している。

3.3.4 汚染防止対策

(1) 排水基準／灌漑用水の水質基準

表 3-9 チリの産業排水・液体廃棄物の排出基準／灌漑用水の水質基準（金属鉱業関連の一部）

規制項目	単位	下水道に産業廃水を放流する場合の排水基準	液体廃棄物の排水基準					灌漑用水水質基準
			表 1： 河川水系	表 2： 希釈を考慮し得る河川水系	表 3： 湖沼水系	表 4： 沿岸保護地域内の海洋水系	表 5： 沿岸保護地域外の海洋水系	
PH		5.5—9.0	6.0—8.5	6.0—8.5	6.0—8.5	6.0—9.0	5.5—9.0	5.5—9.0
温度	°C	35	35	40	30	30	-	-
全懸濁固形物	mg/L	300	80	300	80	100	700	-
堆積性固形物	ml/L 1h	20	-	-	5	5	50	-
Al	mg/L	10	5	10	1	1	10	5
As	mg/L	0.5	0.5	1	0.1	0.2	0.5	0.1
B	mg/L	4	0.75	3	-	-	-	0.75
Cd	mg/L	0.5	0.01	0.3	0.02	0.02	0.5	0.01
CN ⁻	mg/L	1	0.2	1	0.5	0.5	1	0.2
Cl ⁻	mg/L	-	400	2,000	-	-	-	200
Cu	mg/L	3	-	-	-	1	3	0.2
T-Cu	mg/L	-	1	3	0.1	-	-	-
T-Cr	mg/L	10	-	-	2.5	2.5	10	0.2
Cr ⁶⁺	mg/L	0.5	0.05	0.2	0.2	0.2	0.5	-
Sn	mg/L	-	-	-	0.5	0.5	1	-
F	mg/L	-	1.5	5	1	1.5	6	1
Fe	mg/L	-	5	10	2	10	-	5
Mn	mg/L	4	0.3	3	0.5	2	4	0.2
Hg	mg/L	0.02	0.001	0.01	0.005	0.005	0.02	0.001
Mo	mg/L	-	1	2.5	0.07	0.1	0.5	0.01
Ni	mg/L	4	0.2	3	0.5	2	4	0.2
Pb	mg/L	1	0.05	0.5	0.2	0.2	1	5
Se	mg/L	-	0.01	0.1	0.01	0.01	0.03	0.02
SO_4^{2-}	mg/L	1,000	1,000	2,000	1,000	-	-	250
S^{2-}	mg/L	5	1	10	1	1	5	-
Zn	mg/L	5	3	20	5	5	5	2

2001 年 3 月にチリ国内の「排水基準」が官報に公表されたが(表 3-9 参照)、この Ovalle プラントからの排水が表 2：「希釈を考慮し得る河川水系」に規制されるか、または 2003 年制定予定の「地下水への排水基準」に規制されるかは、現時点では定かでない。

なお、「排水基準」については本編、Ovalle プラントのように既存の事業を行っている工場には 5 年間の適用猶予があり、2006 年からの適用ということになる。

また 今回チリ国内の灌漑用水の水質基準と Ovalle プラント下流の Ingenio 川水質を比較すると、M-5、及び M-6 においては、T-Fe、Cu、Al、Mn、Zn、Cd、 SO_4^{2-} の含有量が、M-7においても Mn、 SO_4^{2-} は基準値を上回っており、灌漑用水としては不適合と判断される。

(2)水質汚染対策

M-1 と M-5 の T-Fe の負荷量の差から Ingenio 川に浸出している廃液の量は表 3-10 のように推定できる。

表 3-10 浸透水負荷量算出表

	T-Fe[mg/s] (M-5)-(M-1)	M-4	
		T-Fe[mg/L]	Q [L/s]
Dec	39,088	29,550	1.32
Jan. 2000	28,164	17,240	1.63
Feb	44,379	-	-
Mar	52,784	39,290	1.34
Apr	35,989	37,040	0.97
May	84,746	25,340	3.34
Jun	87,145	24,830	3.51
Jul	34,820	14,570	2.39
Aug	30,741	18,670	1.65
Sep	91,931	15,100	6.09
Oct	56,415	11,140	5.06
Nov	30,871	16,000	1.93
Dec	20,256	19,590	1.03
Jan. 2001	21,970	18,660	1.18
Feb	22,245	28,620	0.78
Mar	24,889	25,600	0.97
Apr	28,220	25,000	1.13
May	81,895	14,390	5.69
Jun	3,130	15,000	0.21
Jul	33,741	23,470	1.44
Aug	10,041	9,800	1.02
Sep	7,772	15,400	0.50
Oct	16,559	17,110	0.97
Nov	33,970	12,150	2.80
Dec	60,910	10,700	5.69
Jan. 2002	56,455	15,000	3.76
Feb	127,686	18,000	7.09

プラントから Ingenio 川への廃水の浸出量は、酸化鉍処理の操業率 (RCU: Rate of capacity of utilization) や降雨量などの影響を受けていると思われるが、多いときで 3~7 L/sec、それ以外は 1 L/sec 前後と推定される。

また 汚染物質として、前記排水基準を超えているものは、M-4 では、Fe、Cu、Al、Mn、As、Zn、Cd、 SO_4^{2-} 、M-4A では、Fe、Cu、Al、Mn、Zn、Cd、 SO_4^{2-} 、M-4B M-4B では、Cu、Al、Mn、Zn、 SO_4^{2-} である。

さらに灌漑用水の水質基準は厳しく、M-5 及び M-6 では、Fe、Cu、Al、Mn、Zn、Cd、 SO_4^{2-} 、M-7 で Mn、 SO_4^{2-} が灌漑用水基準値を超えている。

これら汚染水の Ingenio 川への流入経路は明確ではないものの、M-4A 及び M-4B は蒸発ポンド堤体下部にあり、この浸透水が Ingenio 川に流入しているのは確実である。このうち M-4B は比較的汚染度の低いプラント場内水と考えられ、最大の汚染源は M-4A 即ち、蒸発ポンド内の M-4 である。

従って、Ovalle プラントとしては、この水質汚染の防止のため、法律が発効する 2006 年までに以下の項目について検討・実施すべきである。

① 蒸発ポンド内側のシート張り：

蒸発ポンドの内側に HDPE(High Density Poly-Ethylene)シートを張るなど、不透水層を設置して、プラント廃液の浸透流出を防止する。

② 蒸発ポンド堤体の整形：

蒸発ポンド堤体の決壊ヶ所、雨裂ヶ所などの整形を行うと同時に、堤体の安定解析を行い安全性を確認する。

③ 蒸発ポンド周辺の整備：

蒸発ポンド周辺のリーチング廃さいの整形・覆土・植栽

④ 水路の整備：

プラント周囲、蒸発ポンド周囲に水路を設置し、場内への降雨等の流入を遮断する。

⑤ 中和処理殿物の安全性の確認：

中和殿物の再溶解試験・水分を含んだ場合の流動性試験を行い、その安全性について確認する。

(3) 土壌汚染防止対策

Ovalle プラント周辺の土壌汚染としては、Ingenio 川下流域に堆積している各種金属を含んだ鉄の殿物、リーチング残査、選鉱尾鉱、その他粉塵堆積物がある。特に鉄分を多く含んだ殿物(水酸化物)は M-7 地点まで幅広く大量に堆積している。

今後、リーチング廃液の全量処理が行われ、上記水質汚染防止対策が実施されれば、これ以上の下流域への土壌汚染はなくなり、これら汚染土壌の上に Ingenio 川上流からの自然堆積物が徐々に堆積し全体を被覆してゆくであろう。

従って、莫大な経費と時間がかかる汚染堆積物全ての剥土除去よりも、このような自然の浄化作用を利用する方が現実的である。

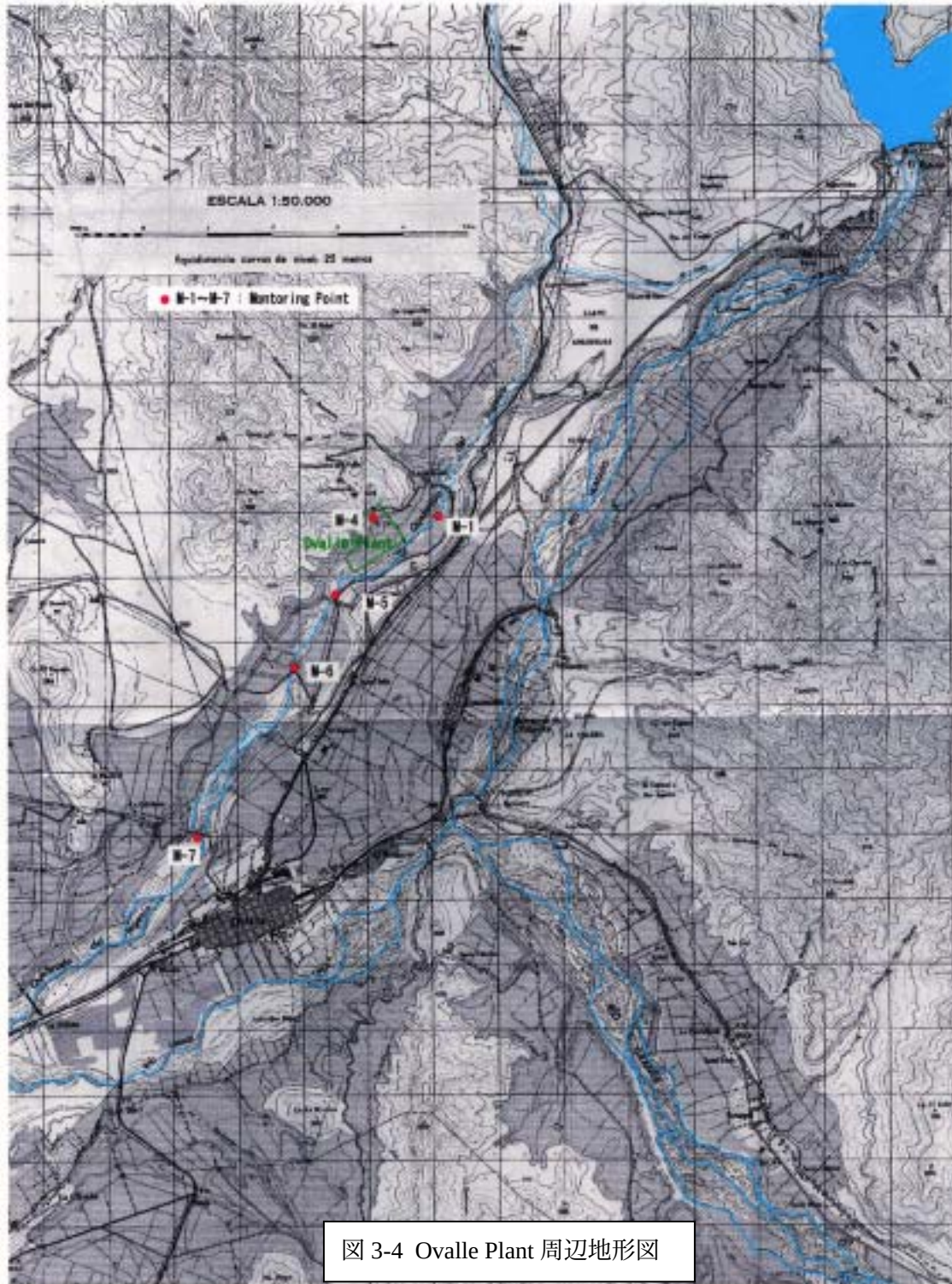
(4) 大気汚染防止対策

Ovalle プラント周辺の大気汚染の要因としては、粉碎工程におけるダスト、硫酸の噴霧におけるミスト、蒸発ポンド内の蒸発残査や中和殿物が考えられる。

プラント周囲にはワイン用葡萄畑が隣接しているため、こうした微粒子の飛散を極力防止する必要がある。その対策としては以下のものが考えられる。

① 破碎、塊状化各工程及び各所運搬作業における噴霧等による粉塵発生の防止

- ② 防風ネット設置等による、リーチング場からの酸ミスト飛散防止
- ③ リーチング廃石、選鉱尾鉱、蒸発ポンド蒸発残渣、中和殿物などに対しては、整形・覆土・植栽を行う



4. 鉄酸化バクテリア法の技術移転

4. 鉄酸化バクテリア法の技術移転

4.1 基礎試験

4.1.1 目的

次の目的で基礎試験を行った。

- ・ Ovalle プラントのリーチング置換沈殿工程で発生する廃液を処理するためのモデルプラントに関するデータ収集
- ・ 鉄酸化バクテリア法の技術移転

4.1.2 内容と結果

El Salado プラントのバイオケミカルラボラトリーと日本国内の実験室において、次の調査及び試験を行った。

- ・ 鉄酸化バクテリアの存在調査
- ・ バクテリアを利用した酸化試験
- ・ バクテリア阻害要因の確認試験
- ・ 現地薬剤を使った中和試験
- ・ 中和殿物の凝集及び沈降試験
- ・ 中和殿物の脱水試験

これらの調査及び試験から、次の結果を得た。

- ・ チリ国内で採取した鉄酸化バクテリアで、Ovalle プラントの実廃液を酸化処理できる。
- ・ モデルプラントの酸化、中和及び脱水工程の設計に係わる諸データを収得した。
- ・ モデルプラントのスタートアップ時に使う鉄酸化バクテリアは Andacollo 株とした。

4.2 モデルプラントの概要と建設の推移

4.2.1 モデルプラント建設の経緯

モデルプラントは 1999 年 7 月に日本側とチリ側との間で締結された S/W に基づき、日本側が設計、機器・機材の調達、チリまでの海上運搬及び設置工事に係わる SV の派遣を実施し、チリ側がチリ国内の運搬、基礎工事、建築工事及び設置工事を実施した。そして、2001 年 9 月初めに完成し、これを使った実証試験を開始した。

4.2.2 モデルプラントの概要

(1) プロセスフロー

プロセスフローの概略を図 4-1 に示す。

(2) 設計ベース

以下にモデルプラントの主な設計ベースを示す。

1) 置換沈殿廃液の性状

第 1 次現地調査時に収集した Ovalle プラントの廃液のデータを基にチリ側と協議を

行い、モデルプラントへ供給される廃液の性状を、表 4-1 のように想定した。

表 4-1 廃液の性状

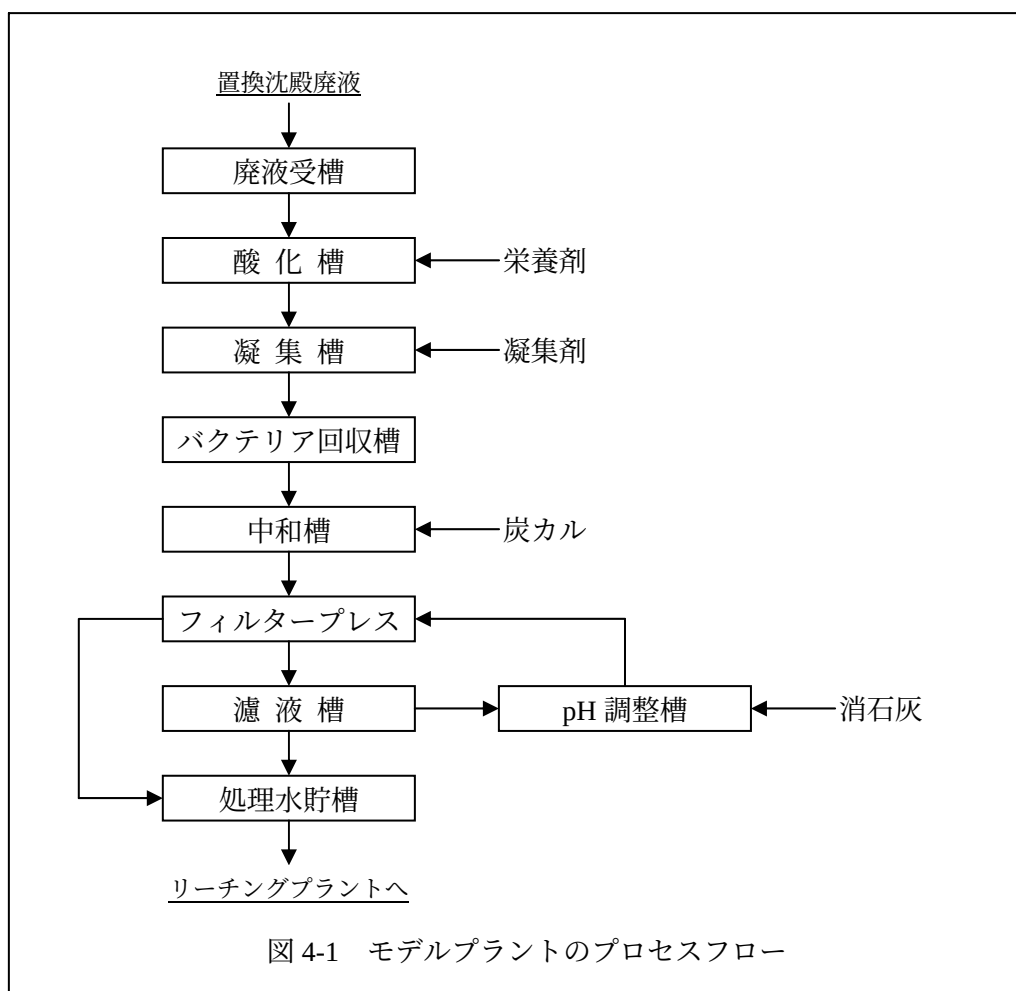
pH	Fe ²⁺ (g/L)	T-Fe (g/L)	Cu (g/L)	Mn (g/L)	Zn (g/L)	Al (g/L)
3.7	30	30	0.26	0.97	0.24	9.7

2) モデルプラントの処理能力

モデルプラントの処理能力は上記廃液 100m³/day 処理を目標とした。

3) 酸化速度

第一鉄イオンの酸化速度の目標値を 1.0g/L/h として計画した。



4.3 モデルプラントを使った実証試験

4.3.1 目的

次の目的で実証試験を行った。

- Ovalle プラントの設備能力とリンクさせて想定できる廃液を全て処理するためのフルスケールプラントの、F/S 調査などに資するデータの収集

- ・鉄酸化バクテリア法の技術移転

4.3.2 結果

(1) 廃液の水質

実証試験期間中の廃液の水質は下表の通りであった。モデルプラントの設計時に想定したものより、若干低濃度で推移した。

表 4-2 実証試験期間中の廃液の水質

日付	pH	Fe ²⁺ (g/L)	T-Fe (g/L)	Cu (mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	Al (mg/L)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Mg (mg/L)
平均	3.3	17.02	20.66	101	466	208	2770	1.56	0.75	17.1	3190
最大	2.6	32.93	40.60	253	837	484	4949	2.90	1.30	30.0	3807
最小	3.8	7.90	8.29	28	251	106	1588	0.78	N.D.	7.0	2590

(2) モデルプラントの運転条件

下表の条件で所期の目標を達成した。

表 4-3 モデルプラントの運転条件

項 目	条 件 ・ 結 果
処理水量（廃液量）	・ 100m ³ /day 以上処理可能 ・ 推定上限値は 176m ³ /day
バクテリア泥量	・ 処理水量（廃液量）の（1/4）量
栄養剤添加量	・ 廃液に対する添加濃度は 2.5mg/L
高分子凝集剤添加量	・ 廃液に対する添加濃度は 5mg/L
炭酸カルシウム （以降、炭カルと称す） 中和 pH	・ 中和 pH=3.5-4 ・ 炭カルの平均使用量は約 17g/L
消石灰中和 pH	・ 中和 pH=8-9 ・ 消石灰の平均使用量は約 12g/L

(3) モデルプラントの運転結果

- 1) モデルプラントで 100m³/day の廃液を処理した場合の薬剤コストは約 US\$115/day と試算された。
- 2) チリ側カウンターパートの試験結果から、モデルプラントの処理後液は Ovalle プラントのリーチング工程へ循環使用しても Cu の浸出に悪影響を及ぼさないこと、また、モデルプラントの酸化工程から酸化水を抜き出し、この適量を浸出液と混合すれば、Cu の浸出を促進することが示唆された。
- 3) モデルプラントで 100m³/day の廃液を処理した場合、約 12.5t-wet/day（8.5m³/day）の脱水ケーキが発生した。この脱水ケーキの含水率は約 47.5%であった。

(4) モデルプラントの今後の使用方法

モデルプラントを Ovalle プラント全体としてより有効に、より経済的に活用するため、次のように提案する。ただし若干のモデルプラントのハード的補強が必要である。

- 1) 処理水量（廃液量）を現在の水質に合わせた（推定）最大値（上表）に設定する。
- 2) モデルプラントで 176m³/day の廃液を処理する場合、炭カル中和殿物（脱水ケーキ）の推定発生量は約 10.7t-dry/day。脱水ケーキの含水率が約 47.5%であるなら、推定発

生量は約 20.4t-wet/day となる。従って約 9.7t/day の水が殿物に付着し、系外へブリードオフされることになる。この付着水の量はモデルプラントで処理される廃液の 5%以上に相当する。これだけの水が系外へ排出されるので、当初懸念したバクテリアの新陳代謝物や鉄以外の金属の系内蓄積が緩和される。ゆえに、pH 調整工程で行う全廃液の (1/10) 量の消石灰中和は必ずしも必要ない、と考える。pH 調整工程は、モデルプラント処理後液の水質分析において、Zn や Mn が系内濃縮で非常に高い値になったり、バクテリア酸化の活性が鈍っていると考えられる場合のみ運転すればよい。

- 3) リーチング試験で、適量の硫酸第二鉄が鉱石中の Cu の浸出を促進するという結果になったので、モデルプラントの炭カル中和において、必ずしも Fe を完全中和する必要は無い。完全中和しない方が、経済的にも有利である。ただし処理後液の外観に清澄性を求める場合や、リーチング工程への再循環ルートでパイプの閉塞などが懸念される場合は、中和 pH を 4.0 に設定し、Fe を完全中和すべきである。

4.4 モデルプラントの現状と今後

最終回の現地調査において下記を確認した。

(1) 現状

リーチング後液（貴液）は、以前は、硫酸銅生産工程と置換沈殿工程へ振り分けられ、更に、置換沈殿工程からの廃液は、モデルプラントと蒸発ポンド行きへ振り分けられていた。現在は硫酸銅の生産が中断、更に蒸発ポンドへの貯水も停止している。従って置換沈殿工程廃液はモデルプラントで処理されリーチング工程へ循環されるものと、モデルプラントでの処理を経ず循環されるものになっている。このため廃液の Fe や重金属は高濃度になっている。

モデルプラントの処理水量やリーチング工程への循環水量、モデルプラントでの処理に関し確認したデータは次の通りである。

- ・ 置換沈殿廃液量：220m³/day
- ・ モデルプラント処理量：50m³/day
- ・ リーチング工程への直接循環量：170m³/day
- ・ モデルプラント酸化槽入口 Fe²⁺濃度：57.3g/L
- ・ モデルプラント酸化槽出口 Fe²⁺濃度：0.9g/L

上記の通り、モデルプラント酸化槽入口の Fe²⁺濃度は硫酸第一鉄の飽和溶解度に近い値であったが、この濃度でもバクテリア酸化は行なわれていた。

(2) 今後

モデルプラントの操業費は、人件費込みで US\$13,000-15,000/month であり、この低減化が求められている。ENAMI は、モデルプラントの中和剤を炭カルから苛性ソーダに変更する試験を行なっている。試験の目的は、石膏を含まない水酸化第二鉄を作成、これを硫酸で溶解し、硫酸第二鉄溶液を有価物として回収、無機凝集剤として市販することの可能性と経済性を確認することである。

4.5 技術移転のための指導項目

鉄酸化バクテリアに関する技術移転のため、下記のことを指導した。

(1) 鉄酸化バクテリアの培養方法

- 1) 液体培養
- 2) 平板培養
- 3) 継代（保存）培養

(2) 鉄酸化バクテリアの計数方法

- 1) 直接計数
- 2) 培養計数

(3) 鉄酸化バクテリアを利用した連続酸化試験

- 1) 供試菌の大量培養
- 2) 担体の作成
- 3) 試験方法、条件設定、データ採取と解析

(4) 中和試験

- 1) 中和曲線の作成
- 2) 中和剤の必要量と酸物の発生量
- 3) 沈降試験
- 4) 脱水試験

(5) 廃液処理モデルプラントを使った実証試験

- 1) 条件設定
- 2) 分析方法
- 3) データの採取と解析



1) Leaching-cementation Process Effluent



2) Bacterial Oxidizing Process



3) Bacterial Oxidizing Tank



4) Oxidized Solution



5) Filter Press Cake



6) Bacterial Sludge and Neutralized Sediment



7) Feed and Treatment Solution



8) Reuse to Leaching Plant

5. 廃液処理フルスケールプラントの計画

5. 廃液処理フルスケールプラントの計画

5.1 フルスケールプラント検討のための前提条件

5.1.1 フルスケールプラントの規模

Ovalle プラントのリーチング工場から発生する廃液量は現状では鉱石処理量 6,000t/month に対し、250m³/day である。リーチング工場の設備能力は 14,000t/month であるので設備能力一杯まで運転すると廃液量は約 600m³/day となる。しかしながら近年の銅価格の低迷により、Ovalle プラントに集まる鉱石量は年々減少し、現状では上述のように 6,000t/month 程度しか集鉱できず、仮に買鉱に対しインセンティブを与えたとしても現状では集鉱量は最大 8,000t/month 程度までしか見込めそうにない。

このためフルスケールプラントの規模を検討するに当たっては集鉱量の最大値である 8,000t/month と本来の設備能力である 14,000t/month に対する場合との 2 ケースについて検討する。各々の場合の廃液発生量は表 5-1 の通りである。

表 5-1 ケース毎の廃液発生量

	鉱石処理量	廃液発生量
現 状	6,000 t/month	250 m ³ /day
ケース 1	8,000 t/month	330 m ³ /day
ケース 2	14,000 t/month	600 m ³ /day

5.1.2 処理対象廃液の性状

実証試験中に収集した廃液のデータよりフルスケールプラントに供給される廃液の性状は下表のようになる。

表 5-2 フルスケールプラントの設計廃液性状 （単位：g/L）

pH	Fe ²⁺	T-Fe	Cu	Mn	Zn	Al
3.3	17.02	20.66	0.108	0.507	0.208	2.77

5.1.3 酸化速度

実証試験結果より酸化速度は酸化槽 A でのデータを採用し、1.0g/L/h とする。

5.1.4 殿物発生量

4 章の実証試験結果より殿物発生量は容量では 100m³/day に対し、8.54m³/day、重量では 12.46wet-t/day となっている。

また、含水率は平均 47.5%である。

5.1.5 処理フロー

実証試験結果よりフルスケールプラントではpH調整工程は含めないこととする。そのためフルスケールプラントのフローシートは概略下記の図 5-1 のようになる。

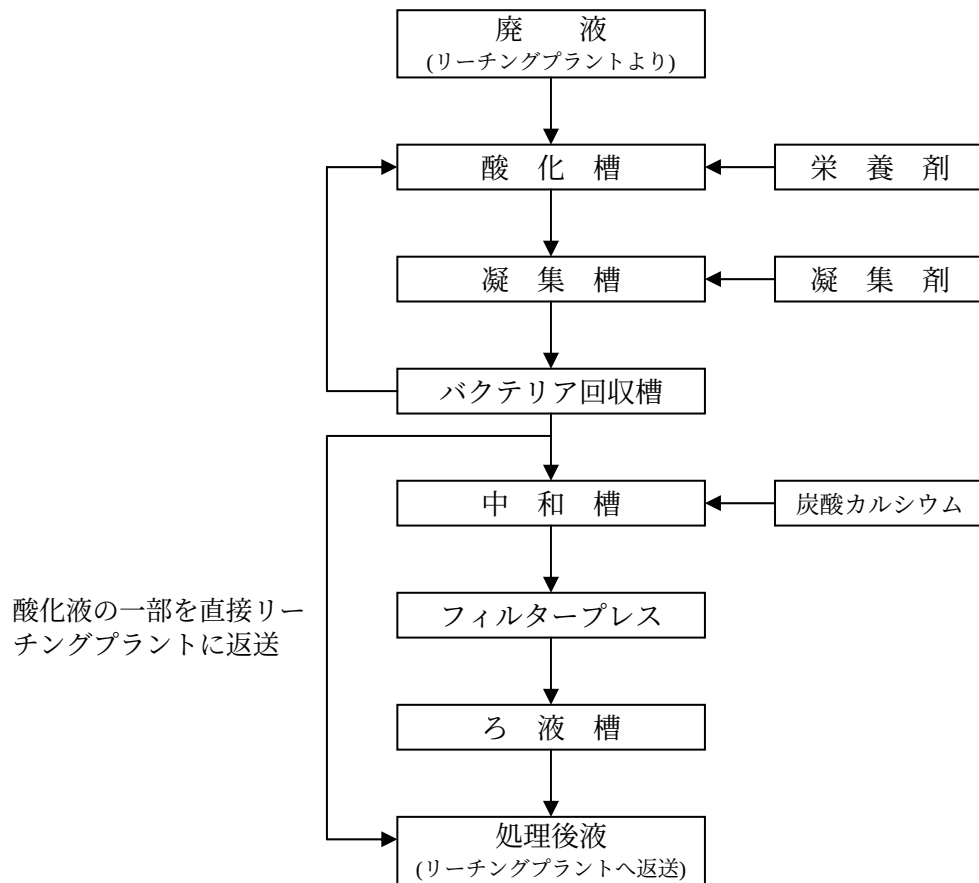


図 5-1 フルスケールプラントの概略フロー

5.1.6 モデルプラントの処理能力

モデルプラントは当初下記の表 5-3 に示す廃水性状を処理するとして設計されたものであるが、現状での廃水性状は当初の設計ベースより Fe^{2+} 濃度は 17.02g/L と半分近い濃度となっている。

表 5-3 モデルプラントの設計廃液性状 (単位：g/L)

pH	Fe^{2+}	T-Fe	Cu	Mn	Zn	Al
3.7	30	30	0.26	0.97	0.24	9.7

また、脱水ケーキの発生量もモデルプラントの設計時の計画では酸化の余剰汚泥、中和殿物及び pH 調整殿物の合計で約 31.5t-wet/day であったが、現状では 12.46t-wet/day

と半分以下の発生量となっている。従って、現状の廃液性状での能力を検討したところ、簡易な改造により、モデルプラントの処理能力は $176\text{m}^3/\text{day}$ まで上げることが確認できた。この場合の簡易な改造とは廃液供給のための廃液ポンプ及び、廃液をリーチングプラントに返送するための中和後液送りポンプを大容量のものに交換することである。

表 5-4 モデルプラント改造点

機番	機器名称	現状のモデルプラント			モデルプラント改造点
		機 器 仕 様	動力 (kw)	数量	機 器 仕 様
P1	廃液ポンプ	型 式：渦巻きポンプ 能 力：84L/min×20mH 材 質：接液部 SUS316,SCS14	1.5	1	変更有り 廃液量 $176\text{m}^3/\text{day}$ に対する能力とする。 従って、123L/min×20mH×2.2kw また、ポンプの変更に伴って配管及び流量計の変更も必要になる。
P10	中和後液送りポンプ	型 式：渦巻きポンプ 能 力：100L/min×20mH 材 質：接液部 SUS316,SCS14	2.2	1	変更有り ろ液量がフィルタープレスの1回あたりの運転で約 32m^3 となり、上記のろ液槽容量ではバッファとして足りないため圧入ポンプに相当する 1200L/min の能力が必要となる。 また、pH 調整工程が不要となったのでこのポンプから直接リーチングプラントに返送する。 従って、1200L/min×45mH×22kw ポンプの変更に伴って、配管の変更も必要となる。

5.1.7 新設設備の必要処理能力

上記の 5.1.6 項の検討からモデルプラントの能力は簡易な改造により $176\text{m}^3/\text{day}$ まで能力を引き上げることが出来る。従って、新設設備が必要とする処理能力は下記のようなになる。

ケース 1：鉍石処理量 8,000t/month (集鉍能力の最大量に対応する場合)	$154\text{m}^3/\text{day}$
ケース 2：鉍石処理量 14,000t/month (設備能力に対応する場合)	$424\text{m}^3/\text{day}$

次項で各ケースでの設備について概念設計を行う。

5.2 フルスケールプラントの概念設計

5.2.1 ケース 1（鉱石処理量 8,000t/month：集鉱能力の最大量に対応する場合）

5.1.7 項で求めた必要能力に示すようにケース 1 の場合は残りの必要処理能力 154m³/day（総処理能力 330m³/day）であり、少なくとも主要機器の 1 つであるフィルタープレスは現存のモデルプラントのもので既にその能力は満たしているため、ケース 1 については現在モデルプラントを改造する方向で検討を行った。

(1) 機器能力の検討

各機器能力を検討し、現状のモデルプラントに対してどのように機器を改造・変更・追加すれば良いかを検討した。検討結果を表 5-5 に示す。

（増設設備には機番の後ろに N を記入）

表 5-5 ケース 1 増設・改造機器リスト

機番	機器名称	機 器 仕 様	動力 (kw)	数量	備 考
	酸化工程				
P1	廃液ポンプ	型 式：渦巻きポンプ 能 力：230L/min×20mH 材 質：接液部 SUS316,SCS14	2.2	1	モデルプラントの機器を変更
T2-N	酸化槽	型 式：円筒型（内部仕切板） 容 量：75 m ³ 材 質：FRP 寸 法：4290φ×5900H		2	
T4-N	バクテリア回収槽	型 式：円筒型 寸 法：2600φ×2500H 材 質：FRP 付属品：レーキ	0.75	1	
B1-N	酸化ブローワー	型 式：ルーツブローワー（強制空冷式） 能 力：12.95 m ³ /min×7000mmAq 材 質：FC 他	30 0.2	1	
T5-N	バクテリア泥貯槽	型 式：円筒型（内部バッフル板付） 容 量：1.8 m ³ 材 質：FRP 寸 法：1300φ×1650H		1	
M2-N	バクテリア泥貯槽 攪拌機	型 式：パドル型 材 質：接液部 SUS316 用 途：スラリーの沈降防止 その他：空転、液面通過有り	1.5	1	
P3-N	バクテリア泥 圧入ポンプ	型 式：渦巻きポンプ 能 力：300L/min×40mH 材 質：接液部 FC+R/L	11	1	モデルプラント pH 調整工 程 圧入ポンプを転用
	中和工程				

機番	機器名称	機 器 仕 様	動力 (kw)	数量	備 考
T11-N	中和槽	型 式：円筒型 容 量：6.4 m ³ 材 質：FRP 寸 法：1350φ×5150H		1	
B2-N	中和ブロー	型 式：ルーツブロー 能 力：0.67 m ³ /min×6000mmAq 材 質：FC 他	3.7	1	
P10	中和後液 送りポンプ	型 式：渦巻きポンプ 能 力：1200L/min×45mH 材 質：接液部 SUS316,SCS14	22	1	

(2) 設備フロー

モデルプラントも含めたフローを添付図 5-2 に示す。

(3) 配置の計画

既存のモデルプラントも含めた概略配置計画を作成したので添付図 5-3 に示す。

凡 例	
	満溢きポンプ
	ボール弁
	流量制御弁
	水中ポンプ
	ブロワー
	攪拌機
	ゲート弁
	減圧弁
	バックフ라이弁
	微差圧力計
	エア-作動式自動弁（正作動：停電時閉）
	電動ホイス
	エア-作動式自動弁（逆作動：停電時閉）
	スクリーフィーダー
	袋フィルター
	エアブラスター
	Y形ストレーナー
	FIC 流量指示調節計
	pHIC pH指示調節計
	LC レベルスイッチ
	FLC フローチェッカー
	PS 圧力スイッチ
	サイレンサー
	ボールタップ
	モーター
	面積式流量計
	サイレンサー

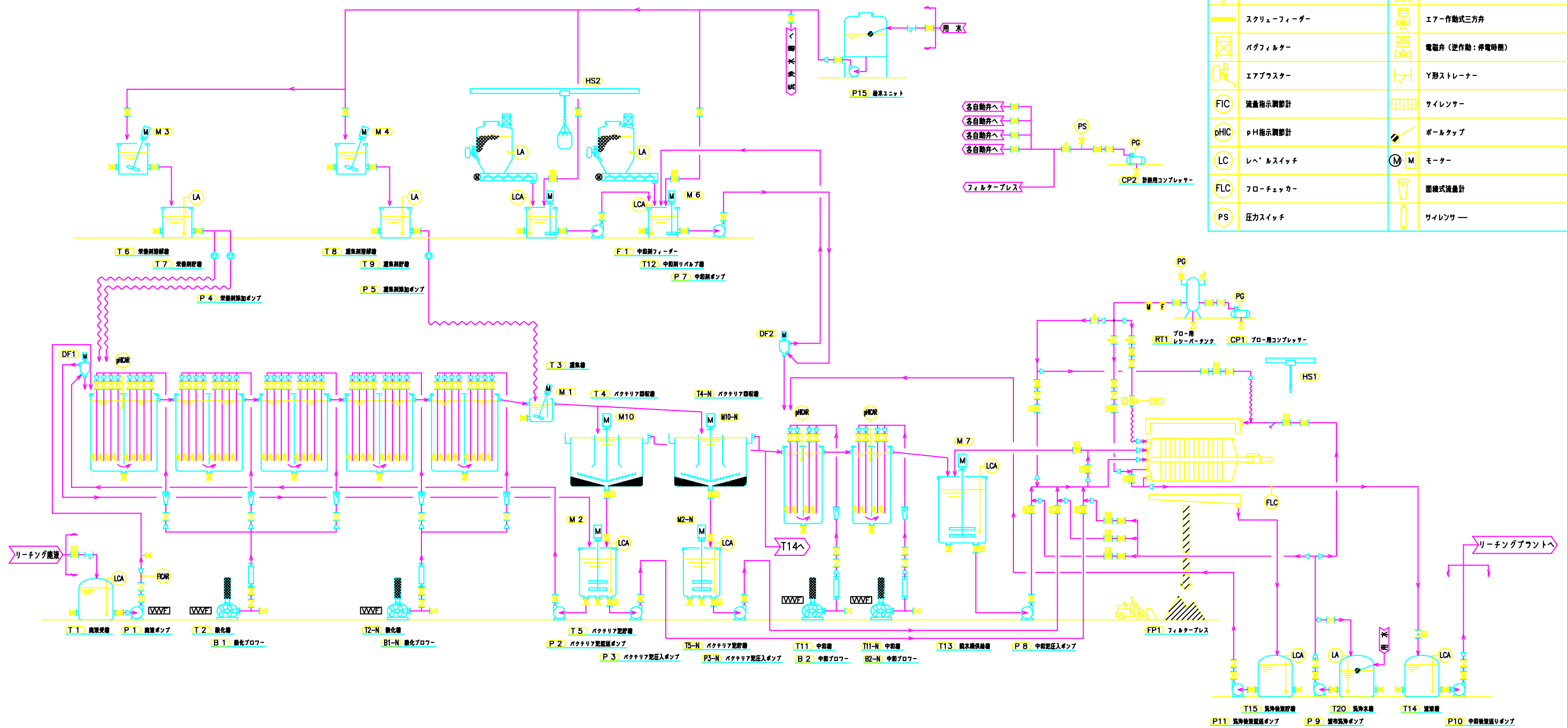
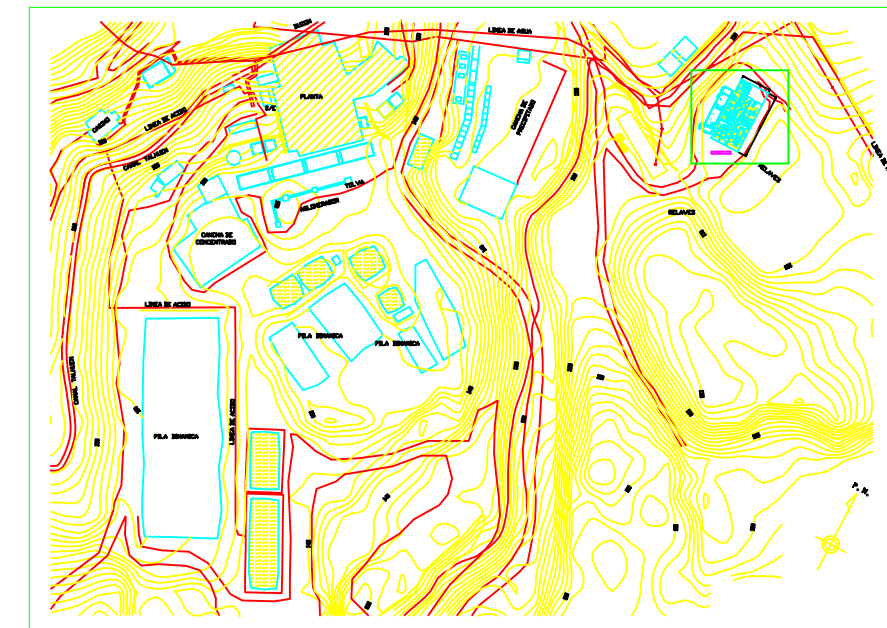
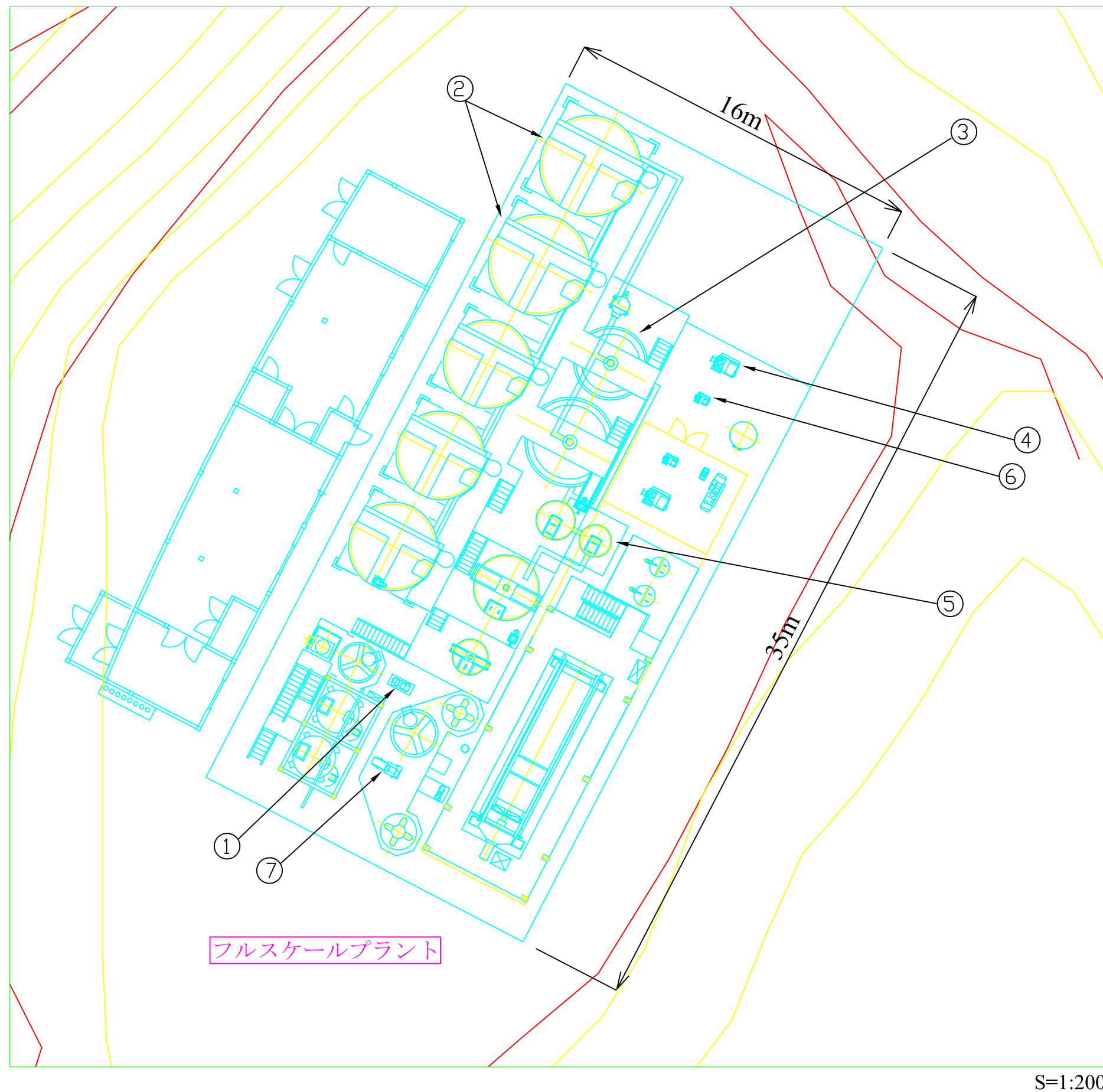


図 5-2 フルスケールプラント（ケース1）フローシート



1	P 1	廃液ポンプ (機種変更)
2	T 2-N	酸化槽 (新設)
3	T 4-N	バクテリア回収槽 (新設)
4	B 1-N	酸化ブローワー (新設)
5	T 11-N	中和槽 (新設)
6	B 2-N	中和ブローワー (新設)
7	P 10	中和後液送りポンプ (機種変更)

図 5-3 フルスケールプラント (ケース1) 配置図

5.2.2 ケース 2 (鉱石処理量 14,000t/month：リーチングプラント設備能力に対応する場合)

5.1.7 項で求めた必要能力に示すようにケース 2 の場合は残りの必要処理能力 424m³/day (総処理能力 600m³/day) であり、モデルプラントの改造ということになると少なくとも主要機器の 1 つであるフィルタープレスは 1 台追加が必要であるし、酸化槽もかなりの増設が必要となり、モデルプラントの改造で対応することは無理である。従って、残りの必要処理能力分の設備を現在のモデルプラント近傍に新設することとして検討する。

(1) 機器能力の検討

各機器能力を検討し、新設プラントの機器を検討した。主要機器のみについての検討結果を表 5-6 に示す。

表 5-6 ケース 2 新設設備の主要機器リスト

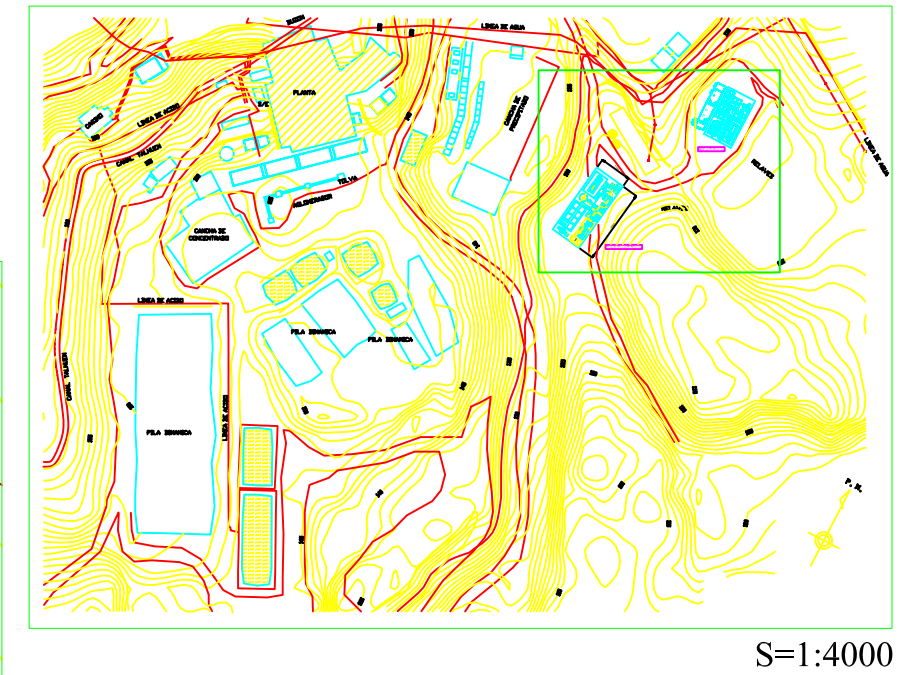
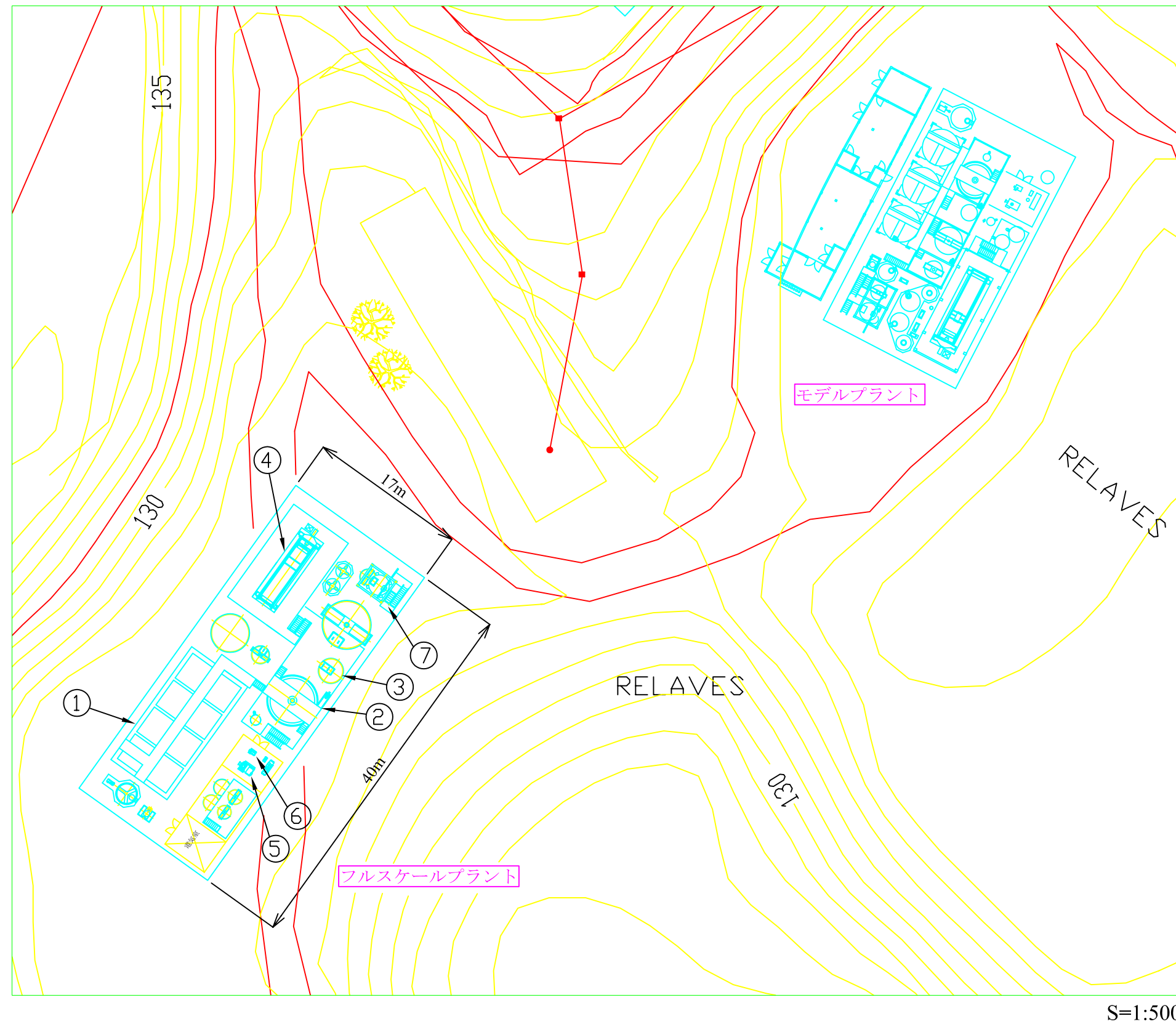
機番	機器名称	機 器 仕 様	動力 (kw)	数量	備 考
T2	酸化槽	型 式：角槽 (内部 4 分割) 容 量：413m ³ 材 質：RC+FRP/L		1	
T4	バクテリア回収槽	型 式：円筒縦型 寸 法：4800φ×2500H 材 質：FRP 付属品：レーキ	1.5	1	
B1	酸化ブロワー	型 式：ルーツブロワー(強制空冷式) 能 力：37.2m ³ /min×7000mmAq 材 質：FC 他	75 0.75	1	
T11	中和槽	型 式：円筒縦型(内部仕切板) 容 量：20.4m ³ 材 質：FRP		1	
F1	中和剤フィーダー	型 式：スクレーパー(上部 10m ³ ホッパー付) 能 力：3500kg/h 材 質：SS 付属品：エアブラスター、パゲフィルター	3.7 0.75	1	
B2	中和ブロワー	型 式：ルーツブロワー 能 力：2.2 m ³ /min×6000mmAq 材 質：FC 他	7.5	1	
FP1	フィルタープレス	型 式：全自動圧搾式 能 力：濾過面積 203m ² 材 質：濾板 PP,パゲット FC+R/L 他 ドリッピングパッド SUS316	5.5	1	

(2) 設備フロー

モデルプラントも含めたフローを添付図 5-4 に示す。

(3) 配置の計画

既存のモデルプラントも含めた概略配置計画を作成したので添付図 5-5 に示す。



1	T2	酸 化 槽
2	T4	バクテリア回収槽
3	T11	中 和 槽
4	FP1	フィルタープレス
5	B1	酸化ブロー
6	B2	中和ブロー
7		中和剤供給設備

図 5-5 フルスケールプラント（ケース2）配置図

5.3 設備費、運転費の算出

上記の検討結果を基に設備費、運転費を算出した。先の検討に示すようにケース 1 についてはモデルプラントの改造に要する費用を設備費として算出した。また、参考としてモデルプラントがその最大処理能力を発揮するために必要な改造費についても算出した。

5.3.1 設備費

以下に概算設備費を示す。

(単位：US\$)

	モデルプラント 最大処理能力 176m ³ /day	ケース 1 処理能力 330m ³ /day	ケース 2 処理能力 600m ³ /day
機械設備費	35,000	282,000	1,245,000
電気設備費	4,000	47,000	354,000
土木工事費	0	48,000	416,000
建築工事費	0	22,000	110,000
合 計	39,000	399,000	2,125,000

5.3.2 ランニングコスト

以下に概算のランニングコストを示す。

(単位：US\$/year)

	モデルプラント 最大処理能力 176m ³ /day	ケース 1 処理能力 330m ³ /day	ケース 2 処理能力 600m ³ /day
薬 剤 費	67,000	126,000	228,000
電 気 費	26,000	38,000	83,000
人 件 費	40,000	40,000	40,000
保守点検費	49,000	58,000	96,000
合 計	182,000	262,000	447,000

※ 薬剤費は下記の数値を使用した。薬剤使用量については 4 章を参照。

炭カル：US\$ 0.0589/kg

栄養剤：US\$ 4.61/kg

凝集剤：US\$ 4.428/kg

※ 電気代は US\$ 0.052/KwH として算出

※ 人件費はすべてのケースで現在のモデルプラントの人件費と同じとした。

※ 保守点検費は（機械設備費＋電気設備費）の 3%とし、モデルプラント関係の保守点検費はモデルプラントの設備費を US\$ 1,600,000 として算出

6. 廃液処理フルスケールプラント導入のための 経済・財務分析 (F/S)

6. 廃液処理フルスケールプラント導入のための経済・財務分析 (F/S)

6.1 プロジェクトの背景と経緯

ENAMI 経営の Ovalle プラントには、酸化銅鉱を原料とし沈殿銅を主産物とする工程が存在する。本工程は主に、酸化銅鉱の硫酸浸出過程およびこの過程から発生する硫酸銅高濃度貴液の鉄置換銅還元過程にて構成される。後者、鉄置換銅還元過程では硫酸鉄高濃度の廃液を発生する。同廃液は、工程下流の天日蒸発ポンドにて水分を蒸発させ固形分を沈殿処理する。但し、廃液の一部が蒸発ポンドの底面より地下浸透しプラント沿いの El Ingenio 川へ湧出するため、河川流域の水質の汚濁および土壌の汚染を伴っている。

上記汚染問題の解決は通常、蒸発ポンドの底面を防水加工して行うが、地震や洪水等の可能性の高い Ovalle 地域では不十分な対策となる。したがって、本調査技術移転の主項目とする、同廃液のバクテリア酸化・中和技術の応用性を図る目標より、モデルプラントを Ovalle プラントへ整備し、試験操業を実施した。その結果、物理化学的に安定した殿物および硫酸浸出過程へ循環可能な水を発生することに成功し、Ovalle プラント酸化銅鉱処理工程での環境配慮型操業改善が確信された。

他方、ENAMI 側独自の意向によって、同廃液の減量を図るために、硫酸銅高濃度貴液の一部を、鉄置換銅還元過程を回避させ新設溶媒抽出準工程によって処理し、硫酸銅五水塩を副産物として生産開始した。

尚、上記モデルプラントのスケールアップ工程を導入した Ovalle プラント酸化銅鉱処理工程のフィージビリティ・スタディを以下のケース別検討する。

- 酸化銅鉱処理工程の原鉱調達能力を 6,000t/month に指定した場合
- 酸化銅鉱処理工程の原鉱調達能力を 8,000t/month に指定した場合
- 酸化銅鉱処理工程の原鉱調達能力を 14,000t/month に指定した場合

原鉱調達能力が 6,000t/month を超過することに伴って、沈殿銅生産工程から発生する廃液の量が増量するため、廃液処理プラントのスケールアップが必要となり設備増設投資を伴う。

本調査の操業・環境診断の効果を反映し、以上を踏まえて、ENAMI 内定の「投資計画基準」¹⁾にしたがって、私的および社会的の両評価方法による経済・財務分析を実施することにした。

6.2 プロジェクトの承認工程

ENAMI の各プロジェクトは上記「投資計画基準」に基づいて検討作成され、ENAMI の理事会にて技術および経済的可能性が判断される。その後、次年度の予算化のために COCHILCO および MIDEPLAN へ照会、総括的に検討される。後者両機関よりの承諾が得られた場合、次年度の鉱業省予算として大蔵省を通して国会で論議承認される。一方、COCHILCO は技術の可能性を再検討すると共に、主に銅建値の推定値において経済性を検討する。他方、MIDEPLAN は、他の共存セクターとの関わりを評価し天然資源の持続

¹⁾ COCHILCO および MIDEPLAN の共同基準とする 2003 年度版「CODELCO-ENAMI 用の投資計画申請基準」

可能な開発の観点からプロジェクトの妥当性を検討する。このように承諾されたプロジェクトは鉱業省枠内の ENAMI 分として予算化される。（下図に上記プロセスフローを参照）

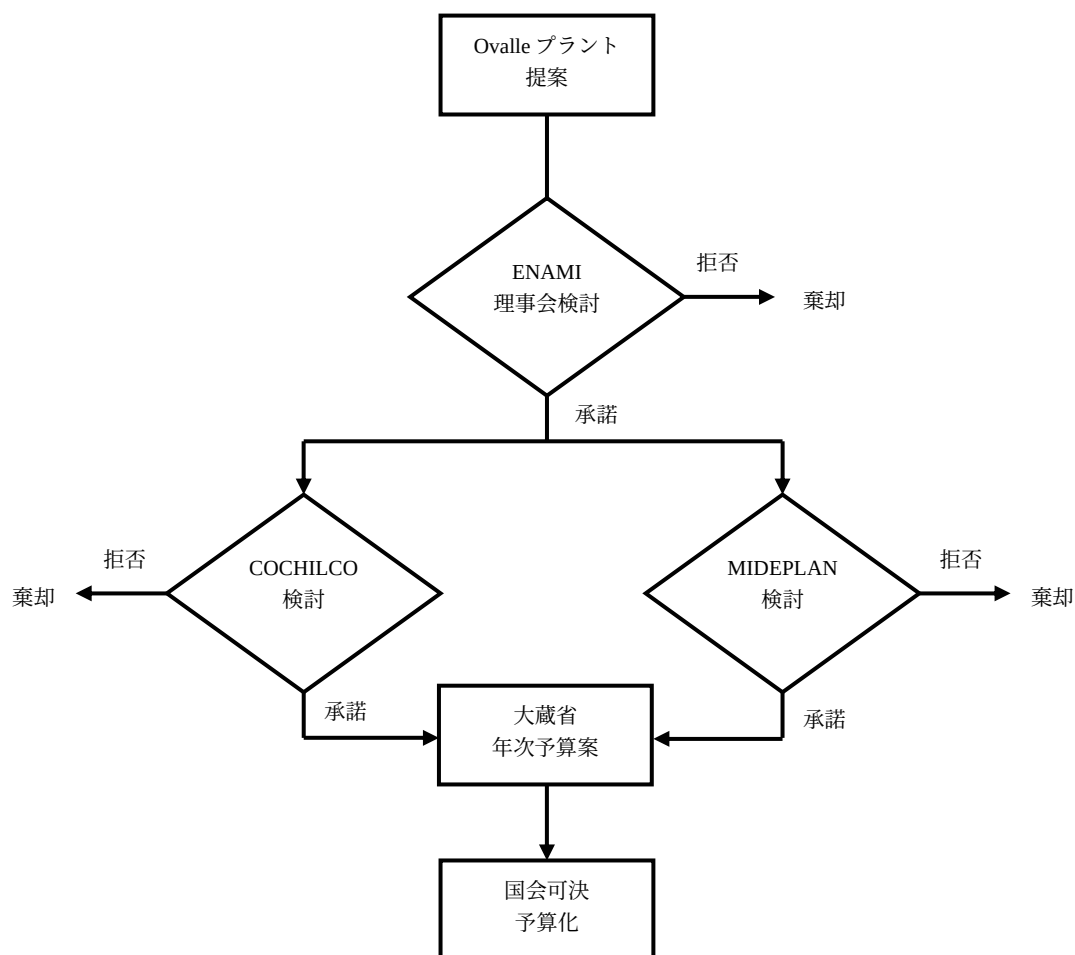


図 6-1 ENAMI プロジェクト承認工程

6.3 市場および生産工程

Ovalle プラントの酸化銅鉱処理工程の産物とする沈殿銅および硫酸銅五水塩の需要および市況を以下にまとめる。

(1) 沈殿銅

本産物の銅品位は 65%～85%であり、商品化プロセス直下では粗銅への価値付加に乾式製錬処理が必要とする。同じ工程にて混合処理される銅精鉱の銅品位 25%前後と比較すれば、高品位ではあるが、硫黄分が少ないため乾式製錬の第一過程とする焙焼炉での発熱反応には不適切であり、製錬所側では通常好まれない原料として扱われている。

但し、ENAMI 経営溶錬所ではテニエンテ・コンバーター（焙焼炉）での硫黄含量調節剤、あるいは、これに次ぐ過程、転炉での温度調整剤として少量添加処理しているため、銅回収以外に別の目的も果たしている。Ventanas 製錬所では 5,000t/year、Paipote 溶錬所では 6,000t/year の沈殿銅処理能力を有し、その合計 11,000t/year に第三者の需要を追加した量がチリ国内の最大需要であるといえる。また、輸出の可能性が殆どないため、内需が全需要であると指摘できる。

他方、沈殿銅の供給は ENAMI 経営の酸化銅鉱処理工程の他、ENAMI の中小零細生産者援助制度を適用する沈殿銅生産者および自立生産者とする。銅建値の低迷に伴って、沈殿銅の供給も相関的に下降している。したがって、沈殿銅供給の将来動向は銅建値の変動に比例するといえる。

2000 年の実績では、沈殿銅供給量の全体を ENAMI が 62%、第三者がその 38%を占めた。また、ENAMI 全体の同期操業度 45%から 11,800t/year の沈殿銅生産能力を持つと試算できる。但し、ENAMI 各プラントの原鉱処理能力は周辺の中小零細鉱山よりの原鉱調達能力に限定されるため、各々設備能力に対する操業度は銅建値に伴って低減している。

他方、沈殿銅供給の 24%を占める El Salado プラントでは、溶媒抽出・電解（SX-EW）銅回収法への工程改造計画を企てており、沈殿銅の生産を停止し、電気銅の生産を開始する予定である。2001 年 4 月より設備能力 55t/month の SX-EW 工程を導入し銅品位 99.996% の電気銅の小規模生産を行なっている。

したがって、ENAMI 溶錬所の沈殿銅処理能力および El Salado プラントの沈殿銅減産計画を考察した結果、Ovalle プラントの原鉱調達能力の向上による沈殿銅の増産計画は可能であるといえる。即ち、既存 Ovalle プラントの最大生産能力 3,200t/year の供給に対する需要は開拓可能である。

(2) 硫酸銅五水塩

本産物の化学式は $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ であり、その銅含有比重率は 26%とする。また、Ovalle プラントでは現在 40mt/month の生産能力を有し、その全量をディーラー経由、工場出荷価格 98 ¢ /lb 純銅にてルーマニア国へ輸出している。その生産原価は US\$280/t 硫酸銅であり、同国顧客は 100t/month を発注していると報告する。

硫酸銅五水塩の世界需要は 200,000mt/year と推定され、3/4 分が農業用途とし、その大半が殺菌剤として消費される。また、100 以上の生産者が存在すると予想される。その他、銅製錬での電解液、銅メッキでのコーティング剤、鉛・亜鉛・コバルト・金浮選での活性剤、銅版のエッチング剤、防錆塗料の原料やガラスの着色剤として使われている。

6.4 実施計画

15 年寿命の廃液処理スケールアップ・プラントを立案するため、プロジェクト期間を建設期間 1 年および操業期間 15 年の合計 16 年計画とする。埋蔵鉱量の試算によれば、11.1 年開発可能な埋蔵鉱量しか推定されていないが、本プロジェクトでは、可採鉱量が随時確定される条件を前提とする。

他方、工場の閉鎖措置は関連法案が制定されていないことと、本分析 3 ケース間の比較には影響しないと考察するため本分析の対象外とした。

Ovalle プラントは原鉱を処理し付加価値を与える”*Custom Beneficiation Plant*”と定義され、同プラントでの操業は ENAMI 内定の収支方法にて評価される。

尚、本経済・財務分析は Ovalle プラントの”*Custom Beneficiation Plant*”の特殊な事情を分析するため、参考まで原料の酸化銅鉱から商品の銅地金までの価値分析も行った。即ち、Ovalle プラント工程の上下を含んだ付加価値プロセスを評価し、同プラントのコスト割合を把握した。

本分析の対象となる Ovalle プラントの酸化銅鉱処理工程の実施計画工程を図 6-2 に参照する。

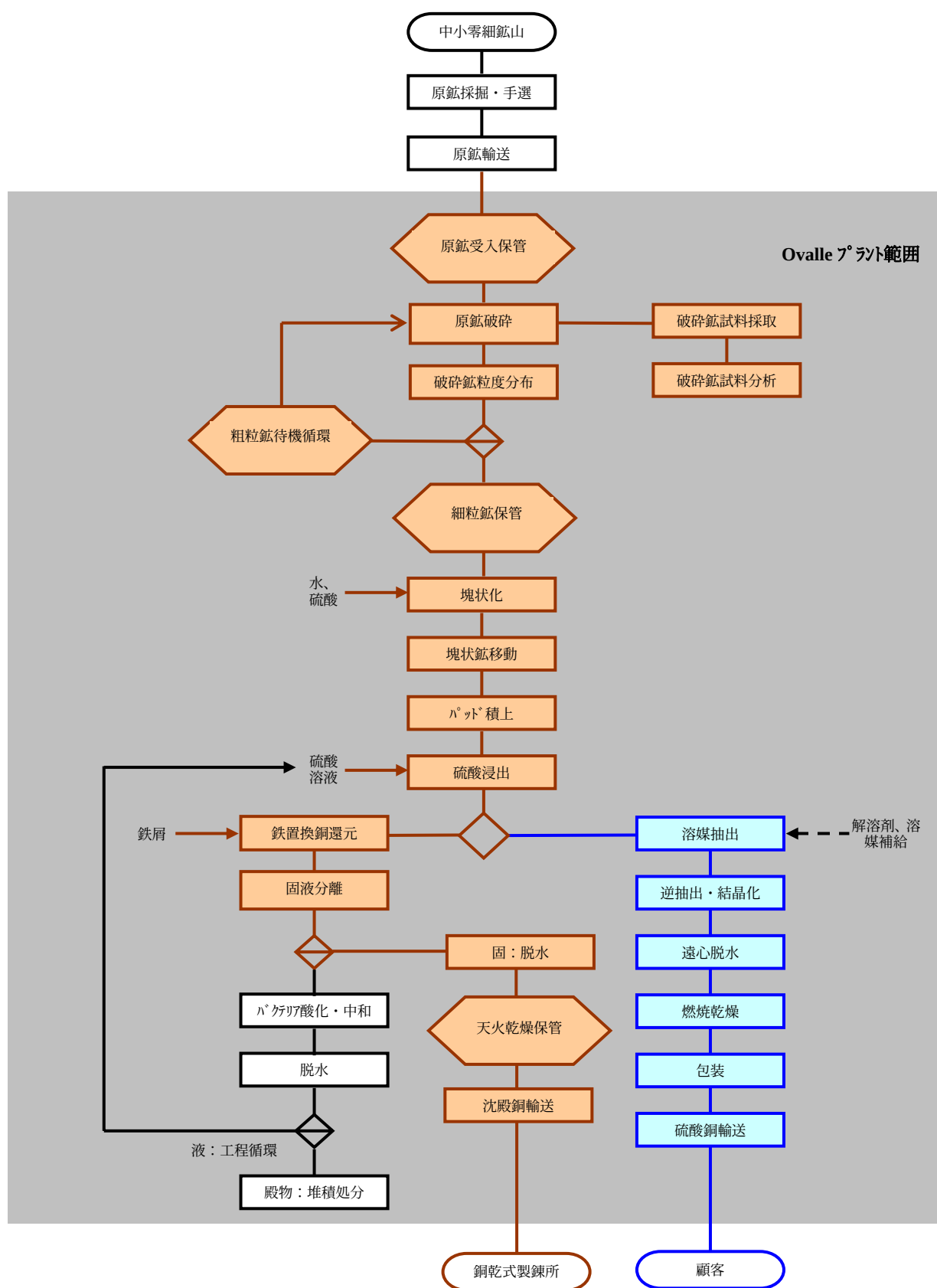


図 6-2 Ovalle プラント酸化銅鉱処理工程（実施計画）

6.5 財務分析

キャッシュフロー分析結果より、割引率 14%の DCF 分析を行い NPV および IRR を推算した。

本財務分析結果の一覧表を下表に示す。

表 6-1 財務分析結果表

プロジェクトケース	銅建値 (US ¢ /lb)	初期投資 (千 US\$)	生産単価* (US ¢ /lb)	NPV _{14%} (千 US\$)	IRR (%)
現状維持 6,000t	68.2180	139	63.03	-3,484	無理数
操業改善 6,000t	68.2180	139	59.43	-2,998	無理数
操業改善 6,000t	80.00	139	59.43	-2,913	無理数
操業改善 6,000t	92.00	139	59.43	-2,818	無理数
操業改善 6,000t	102.00	139	59.43	-2,740	無理数
操業改善 8,000t	68.2180	499	52.70	-3,114	無理数
操業改善 8,000t	80.00	499	52.70	-2,999	無理数
操業改善 8,000t	92.00	499	52.70	-2,868	無理数
操業改善 8,000t	102.00	499	52.70	-2,761	無理数
操業改善 14,000t	68.2180	2,225	43.93	-3,776	無理数
操業改善 14,000t	80.00	2,225	43.93	-3,567	無理数
操業改善 14,000t	92.00	2,225	43.93	-3,331	無理数
操業改善 14,000t	102.00	2,225	43.93	-3,137	無理数

* 一年次の Cash Cost (営業費用から減価償却費を差引いたコスト【単位は US ¢ /lb 沈殿銅含有銅】)

上記表示のとおり、全てのケースが財務上不可能であることが明らかである。現状の 6,000t/month から 14,000t/month への原鉱処理規模を増加することに伴って Cash Cost が約 26%減となり規模の経済は享受される様子だが、損益分岐点への達成には不十分である。廃液処理プラントの操業費用の規模が主な課題となる。また、現在の Ovalle プラントの収入評価方法では、銅建値変動による感度分析の結果、銅建値増の影響が小さいことから、当該便益は得られない状態であることが解る。銅建値が約 50%上昇しても NPV への影響はわずか 9%~17%である。無論、IRR 評価法は無意味となる。

他方、ENAMI 内定の酸化銅鉱・沈殿銅購買条件より、標準酸化銅鉱の購買価格が 17.31 US ¢ /lb、沈殿銅の処理に対する溶錬手数料と精製基本手数料がそれぞれ 3.18US ¢ /lb および 8.80 US ¢ /lb に指定される。これらと上記の Ovalle プラントの Cash Cost を並べて価値分析すれば下表の結果が得られる。

表 6-2 銅地金工程価値分析

	6,000t/month	8,000t/month	14,000t/month
原鉱基本価格 (US ¢ /lb)	17.31		
Ovalle プラント Cash Cost (US ¢ /lb)	59.43	52.70	43.93
溶錬手数料 (US ¢ /lb)	3.18		
精製手数料 (US ¢ /lb)	8.80		
合計 (US ¢ /lb)	88.72	81.99	73.22

上表の合計額はいわゆる電気銅の生産にかかる ENAMI 全体の *Cash Cost* に相当するものであり、本来の財務分析の評価方法とは異なるが、ENAMI 全体の視点から財務的可能な状況が Ovalle プラントでの操業度に比例すると解析できる。即ち、Ovalle プラントの酸化銅鉍処理工程の操業度 6,000t/month では 88.72US ¢ /lb 以上、14,000t/month では 73.22US ¢ /lb 以上の銅建値の市況が前提条件となる。

また、ここで強調したいのは、含有銅が比較的多い沈殿銅の溶錬手数料が上記のとおり 3.18US ¢ /lb であるのに対し、銅精鉍の場合は 1.00US ¢ /lb である。この 2.18 US ¢ /lb の格差は、沈殿銅生産の継続に大きく影響する。他方、上表の価値分析から Ovalle プラントに帰される *Cash Cost* の割合は 60%~67%と大半を占めることが解る。

6.6 経済分析

本経済分析は ENAMI 内定の「投資計画基準」の社会的分析評価法にて指定するシャドープライス要素、社会的割引率の適用と Ovalle プラントの環境配慮型操業に起因する外部経済および周辺鉍山を含む域内での外部経済の定量化を反映したものである。

シャドープライスとして、外貨獲得に伴う収入に対し 1.04 の上昇修正係数および準熟練労働者の人件費に対し、0.65 の下降修正係数を乗ずるよう指定する。したがって、ルーマニア国へ輸出される硫酸銅五水塩の販売収入と準熟練労働者の費用を対象とする人材労務費を、当該換算係数によって財務分析数値の修正試算を行った。

また、財務分析の結果、社会的割引率 10%を適用して *DCF* 分析試算した。

他方、Ovalle プラントの環境配慮型操業の実践に必要なとする環境負債改善工事および廃液処理プラントのスケールアップに伴う設備・改善投資によって改善されると予想する El Ingenio 河川流域の水質向上および土壌改良から生ずる外部経済を定量化推算する。

環境負債改善工事については、合計 US\$1,251,300 の投資額を試算した。但し、El Ingenio 河川流域の改善に直接関連するものは蒸発 Pond 内部防水加工工事、蒸発 Pond 蓄積硫酸鉄の回収埋立処分および汚染土壌の改良、自然破壊の修復であるため、本分析に関わる投資額は合算 US\$460,800 とする。

以下に合算の対象となる外部経済をまとめる。

- 現在の El Ingenio 河川流域での影響面積 200Ha の改善に起因する外部経済の正味現在価値
- Ovalle プラントの酸化銅鉍処理工程が存続することに伴い、同プラントへ酸化銅鉍を調達する周辺鉍山を対象とする域内への外部経済の年次収支
- 廃液処理プラントの導入に伴って、処理後液の硫酸浸出過程への循環利用に起因する水資源の節約による Limarí 河川流域への外部経済の年次収支

下表に上記外部経済の評価数値をその特性によってまとめる。

表 6-3 外部経済の総括

外部経済（効果）	0 年次 （千 US\$）	1 年次～15 年次 （千 US\$/year）
環境改善に起因する便益	800,000	0
周辺鉍山を対象にする便益*		
6,000t/month、92.00US ¢ /lb	0	122

外部経済（効果）	0 年次 （千 US\$）	1 年次～15 年次 （千 US\$/year）
6,000t/month、102.00US ¢ /lb	0	411
8,000t/month、92.00US ¢ /lb	0	162
8,000t/month、102.00US ¢ /lb	0	548
14,000t/month、92.00US ¢ /lb	0	284
14,000t/month、102.00US ¢ /lb	0	960
水資源の節約に起因する便益**		
6,000t/month	0	168
8,000t/month	0	230
14,000t/month	0	202

* 酸化銅鉱処理規模および銅建値によって便益値が異なる。 ** 酸化銅鉱処理規模によって便益値が異なる。

本経済分析結果の一覧表を下表に示す。

表 6-4 経済分析結果表

プロジェクトケース	銅建値 (US ¢ /lb)	初期投資 (千 US\$)	生産単価* (US ¢ /lb)	NPV _{10%} (US\$)	IRR (%)
外部経済 6,000t	68.2180	600	54.31	-776	53.68%
外部経済 6,000t	80.00	600	54.31	-672	47.44%
外部経済 6,000t	92.00	600	54.31	370	無理数
外部経済 6,000t	102.00	600	54.31	2,671	無理数
外部経済 8,000t	68.2180	960	48.13	-92	無理数
外部経済 8,000t	80.00	960	48.13	51	24.92%
外部経済 8,000t	92.00	960	48.13	1,445	153.14%
外部経済 8,000t	102.00	960	48.13	4,516	407.54%
外部経済 14,000t	68.2180	2,686	39.92	105	11.10%
外部経済 14,000t	80.00	2,686	39.92	364	13.68%
外部経済 14,000t	92.00	2,686	39.92	2,814	33.88%
外部経済 14,000t	102.00	2,686	39.92	8,197	72.64%

* 一年次の Cash Cost（営業費用から減価償却費を差引いたコスト【単位は US ¢ /lb 沈殿銅含有額】）

上表の 6,000t/month の操業度での NPV 評価法の結果、80.00US ¢ /lb 以下の銅建値では負の値をあげ、社会的にも不可能なプロジェクトであることが解る。他方、92.00US ¢ /lb 以上では正の NPV 値をあげ、IRR 評価方法では無理数の結果となった。これは、廃液処理プラントのスケールアップが不要であるため高額な初期投資が発生しないと共に、銅建値 92.00US ¢ /lb 以上では損益分岐点を超過する事情に由来する。即ち、銅建値の 80.00US ¢ /lb 以下の場合は環境改善工事を行って事業撤退の判断要因となり、銅建値 92.00US ¢ /lb 以上の場合は損益分岐点を超過することに伴って、社会的可能な事業へと転換する。

同表、8,000t/month の操業度での NPV 評価法の結果、80.00US ¢ /lb 以上の銅建値では正の値をあげ、異常に大きい IRR 値をあげている。この結果は、外部経済による初期の便益が比較的大きいことと損益分岐点を超過することに由来する。したがって、80.00US ¢ /lb 以上の銅建値では社会的可能な事業となる。

同表、14,000t/month の操業度での NPV 評価法では銅建値の分析範囲において正の値をあげ、IRR 評価方法でも社会的割引率より大きい数値をあげている。この結果は、損益分

岐点を超過することに由来する。規模の経済が享受でき、社会的可能性のあるプロジェクトへと遥かに転換する。無論、同建値が上昇すると共に条件が遥かに容易となる。

尚、回収年度分析では 2 年未満から 13 年未満の期間以内に投資の回収が可能である結果となった。

6.7 沈殿銅生産者への経済効果

ENAMI 内定の価格評価の妥当性を把握する目的において、沈殿銅生産者の酸化銅鉱から沈殿銅を生産する付加価値を試算し、同産物に対する支払い条件と比較した。

沈殿銅の付加価値は Ovalle プラントの *Cash Cost* より低いことが明確である。また、ENAMI 内定の価格評価が酸化銅鉱重視となっているため、沈殿銅生産者は銅建値上昇の長所を享受できない状態にある。

したがって、特殊な条件（競争性）が整っていない限り、現在の ENAMI 内定価格評価の適用が継続する状況では、酸化銅鉱を未処理の状態で原鉱として調達売却した方が有利であり、即ち、沈殿銅への付加価値工程は不利の現況であるといえる。

6.8 結論

本章の財務・経済分析の結果において以下に提言をまとめる。

6.8.1 酸化銅鉱処理工程の操業度向上

通常の *NPV・IRR* 評価方法では全てのケースが不可能である結果をあげたが、工程の操業度を改善することに伴って、*Cash Cost* が大幅に下げられることを把握した。他方、社会的な観点から Ovalle プラントの外部経済を反映した経済分析の結果では、14,000t/month 規模の操業度の場合は低い銅建値でも事業継続が可能な判断要因をあげた。

6.8.2 酸化銅鉱の安定供給確保

上記の操業度を改善するためには、酸化銅鉱の安定供給確保が不可欠となる。そのためには、酸化銅鉱調達鉱山との特殊提携や Ovalle プラント独自の採掘現場を開発する必要があると考える。但し、それは ENAMI の定款に定められる事業目的の変更を検討することとなる。

他方、価値分析の結果、原鉱調達価格が銅量ベースで 17.31US ¢ /lb であり、全体の 20%以上を占拠することを把握した。したがって、本固定費をコスト削減の可能な変動費に変換することも重要課題となる。この課題も Ovalle プラント独自の採掘現場を保有することによって解決可能である。

ENAMI の主な事業目的は中小零細鉱山業者の支援とするが、銅建値低迷の市況下、事業継続が困難となり原鉱調達量が逡減する状況から転換するために、本来の事業目的「中小零細鉱山業者の支援」から「地域開発における雇用創出」へと変換することを検討すべきである。特に、鉱山業以外に経済活動がやや不可能な地域では、雇用創出の方針を制定し事業拡大の実践を推薦する。

6.8.3 廃液処理プラントのスケールアップ

本章分析の結果、操業規模の拡大が不可欠とする Ovalle プラントの酸化銅鉱処理工程では、増量する廃液の全量を処理するための廃液処理プラントの増設が必要とする。

また、本廃液プラントから発生する処理後液の硫酸浸出過程での循環利用を行うに伴い水資源の節約が可能となる。Ovalle プラントの資金収支への影響は小さいが、これによる Limarí 河川流域への外部経済は大きい。

6.8.4 環境負債の改善

過去の環境保全防止不足に起因する土壌汚染および水質汚濁の問題は、土壌改良工事等を実践して解決する必要がある。本工事は上記の廃液処理プラントのスケールアップ工事とは別途並行して行うことを推薦する。本改善にて期待される便益は El Ingenio 河川流域の住民が遥かに享受できると予想する。

6.8.5 硫酸銅五水塩の増産

硫酸銅五水塩の生産は廃液発生量の低減と共に、Ovalle プラントの商品多角化に資するものとして市況によって継続あるいは増産するべきである。

6.8.6 廃液処理プラントの賸物商品化調査

廃液処理プラントの残渣となる賸物の特性から、これの商品化が可能であるため、上記と同様、商品の多角化に伴って廃液処理プラントの運営に貢献できる財源の開拓にも資することとなる。

6.8.7 価格・操業評価方法の見直し

銅地金生産工程の価値分析にて把握した沈殿銅への酸化銅鉱の処理が負担するコスト割合の大きい状況から、本プロセスへの収入配分の見直しが必要であると考えられる。特に、沈殿銅価格の評価方法と酸化銅鉱から沈殿銅へと処理する ENAMI の各プラント（Ovalle プラントを含む）の操業評価方法のことをいう。

下図に上記提言をまとめこれらによる便益との因果関係を図示する。

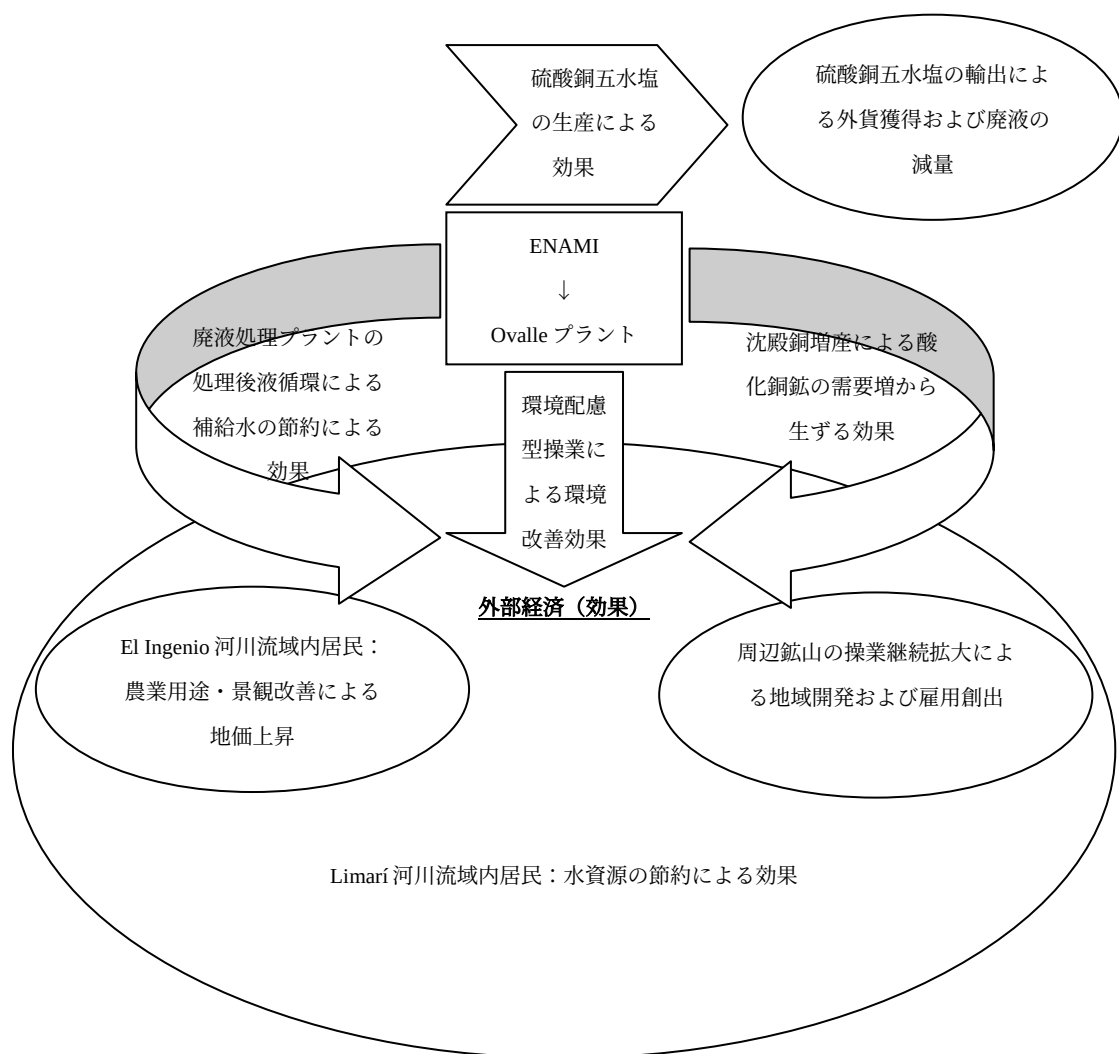


図 6-3 提言と便益の因果関係

7. Ovalle プラントにおける環境配慮型操業計画

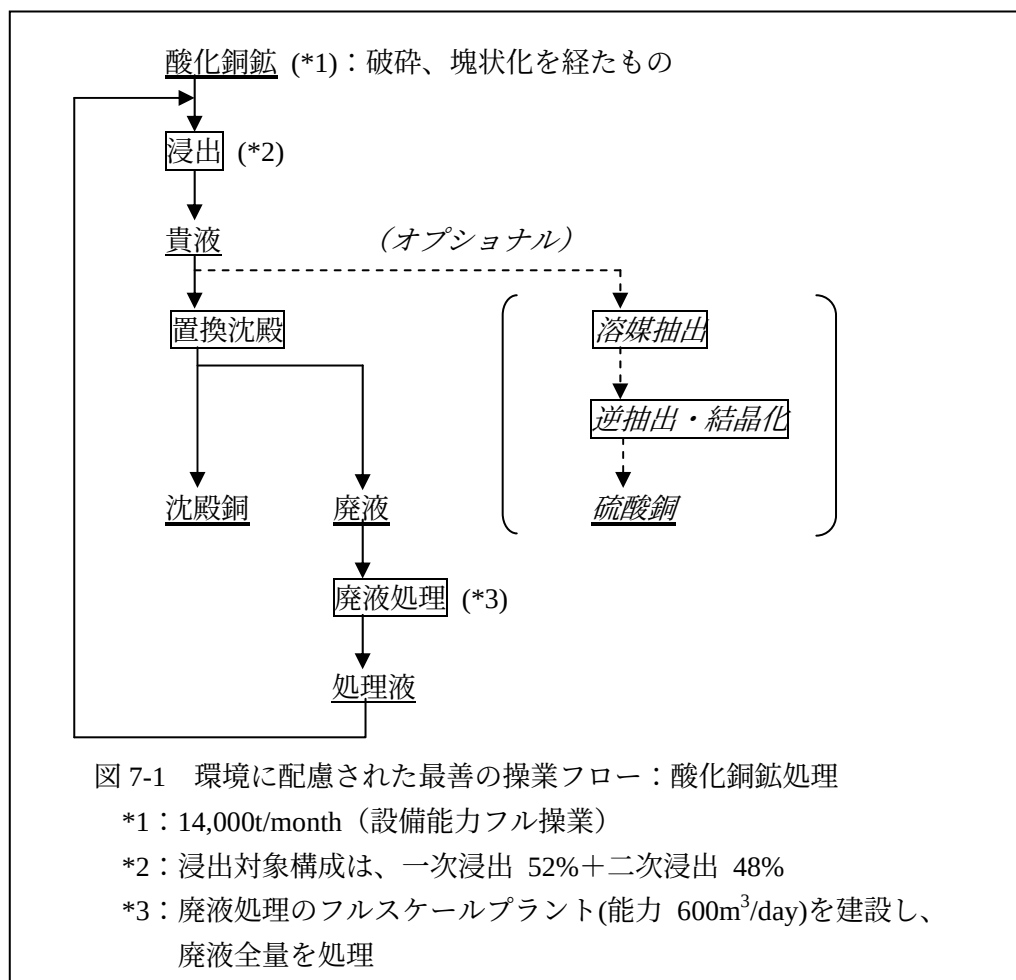
7. Ovalle プラントにおける環境配慮型操業計画

環境に配慮された操業として、まず前の第6章で明らかになった最善の操業形態を7.1に示し、次に、ENAMI 側より提案のあった現状に即した操業形態を7.2に示す。

7.1 最善の操業方法

第6章での酸化銅鉱に係る処理鉱量別最善操業に係る経済・財務分析より、現在の実勢ベース平均 6,000t/month 処理（銅建値感度分析 68.2180～92.00 ¢ /lb）、実勢ベース Max. 8,000t/month 処理（銅建値感度分析 68.2180～80.00 ¢ /lb）ではフィージブルとならなかったが、現在の実勢ベース平均 6,000t/month 処理（銅建値感度分析 92.00～102.00 ¢ /lb）、実勢ベース Max. 8,000t/month 処理（銅建値感度分析 80.00～102.00 ¢ /lb）及び設備能力 14,000t/month 処理（銅建値感度分析 68.2180～102.00 ¢ /lb）でフィージブルとなった。即ち、6,000t/month 処理の場合は一部改造（機器の容量増）、8,000t/month 処理の場合には一部増設、14,000t/month 処理の場合にはフルスケールプラントを建設して廃液全量を処理し、かつ硫酸銅を一部オプション生産するもので、設備能力 14,000t/month (168,000t/year) 処理の場合が経済的にも環境的にも最善の操業形態と判断された。

この操業フローを図7-1に示す。



尚、硫化銅鉱については、2002 年夏季の増産後の設備能力（7,000t/month (84,000t/year) →）11,000t/month(132,000t/year)処理が、最善の操業と判断される。

7.2 現状に即した操業方法

7.1 の酸化銅鉱処理における最善案は、現在、銅建値の直りが遅く、設備能力近くの買鉱量の確保と、又、廃液処理フルスケールプラントの建設及び操業に係るコストの手当とが、殆ど困難となって来ていることにより、ENAMI の新たな操業方針を取入れ、最小投資で、環境に配慮した現実的に操業の実施が可能な操業形態を検討する。

7.2.1 ENAMI の操業方針(2002.03)

ENAMI による、Ovalle プラントの新たな操業方針は以下の通りである。

(1) 酸化銅鉱処理

- ① 新たな公害を発生させない → プラントより系外へ出す廃/排水をなくす：残末処理廃液、処理液共に浸出工程へ戻す
 - ② 新規投資は、現在の膨大な累積債務を抱える ENAMI の経済状態より事実上不可 → 廃液処理フルスケールプラントの建設は、見送る
 - ③ 廃液処理モデルプラントは、処理コストが厳しいが、能力一杯操業する → 公称能力は 100m³/day だが、Max.能力の確認を要する
 - ④ 実勢ベースにおける酸化銅鉱処理鉱量 → Max.量は 8,000t/month（発生廃液量：330m³/day）で、通常平均量は 6,000t/month（発生廃液量：250m³/day）
 - ⑤ 廃液量の減少する処理方法を検討する → 上述の、浸出貴液よりの硫酸銅生産法と溶媒抽出－電解採取法とが該当するが、後者に付き自プラントでの適用の検討を当面見送りとする
 - ⑥ 廃液中の銅の回収を検討する → 残末処理廃液、処理液共に浸出工程へ戻す
 - ⑦ Ovalle プラント独自の収入を図る → 浸出貴液よりの硫酸銅生産法
- 尚、2002.10 に ENAMI は、追加方針として、廃液処理モデルプラントの Max.処理能力に合わせ酸化銅鉱を処理することと、廃液処理において副産物を回収して処理コスト(13～15 千 US\$/month)の削減を図ること、とを検討課題に組み込んだ。

(2) 硫化銅鉱処理：操業を継続する。尚、2002 年夏季に増産をした。

7.2.2 処理方法の検討

酸化銅鉱処理及び硫化銅鉱処理に係る可能性のある方法に対し検討した。
検討した処理方法を一覧にして表 7-1 に示す。

7.2.3 ケーススタディ

可能性のある操業形態を、ケーススタディした。

7.2.4 当面の現状に即した操業形態

ケーススタディに、ENAMI の新たな操業方針を併せ、当面の現状に即した環境配慮型操業の形態を以下に検討した。

(1) 酸化銅鉱処理

1) 前提

- ① 処理平均鉱量（実勢ベース）：6,000t/month[72,000t/year] [操業率 43%]
（処理 Max. 鉱量（実勢ベース）：8,000t/month[96,000t/year][操業率 57%]）
- ② 発生廃液量：250m³/day（実勢ベース平均鉱量処理）← 処理すべき廃液量
- ③ モデルプラント廃液処理量：現状 Max. 量 176 m³/day

2) 優先処理順位

実勢ベース平均鉱量処理 6,000t/month(廃液量 250m³/day)で考える。提案操業形態は、表 7-1 での {①浸出→②貴液の置換沈殿(沈殿銅生産)→③廃液のモデルプラント処理(処理液の浸出工程戻し)(+⑦廃液未処理(廃液の浸出工程戻し))}+(①浸出→⑩貴液の溶媒抽出→⑬逆抽出・結晶化(硫酸銅生産))となった。優先処理方式順に検討する。

① 浸出 → 置換沈殿：廃液処理分 A m³/day

実勢ベース廃液処理 Max. 能力は、廃液の鉄濃度の低下に伴い増加し 176m³/day 程度と見込まれることより、この Max. 量の A=176m³/day を考える。

処理液は浸出工程へ戻す。又、廃液処理脱水中和殿物は少量とはいえ砒素等有害重金属が含まれている恐れがあるので、遮水工を施した蒸発池（日本の管理型最終処分場に該当）他へ埋立、堆積し、最終処分することが望まれる。

② 浸出 → 溶媒抽出 ⇒ 硫酸銅生産（オプションル）

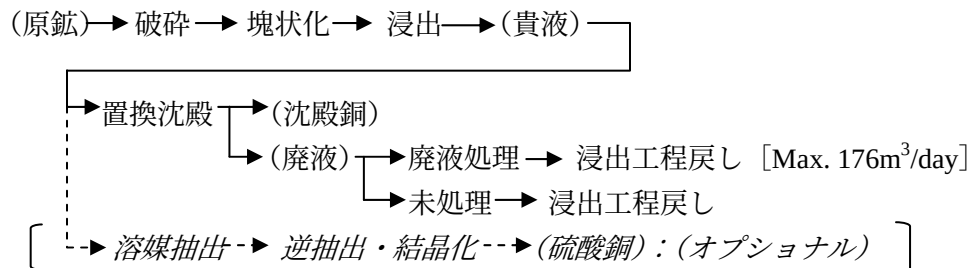
：硫酸銅生産に係る廃液の減分 B m³/day

硫酸銅は、現在テスト生産であるが、この生産規模が増加し本生産となるならば、次に述べる③の液量が減るだけでなく、銅の採取率の増加も併せ考えられる。ただ、硫酸銅に係る十分な長期的市場調査他 F/S が必要と考える。

③ 浸出 → 置換沈殿：廃液の浸出工程へ戻し分 C m³/day（=(250m³/day-(廃液処理分：A)-(硫酸銅生産に係る廃液の減分：B))）

酸化銅鉱処理に係る当面の現状に即した操業のフローを、表 7-2 にまとめる。

表 7-2 酸化銅鉱処理に係る当面の現状に即した操業方法



(2) 硫化銅鉱処理

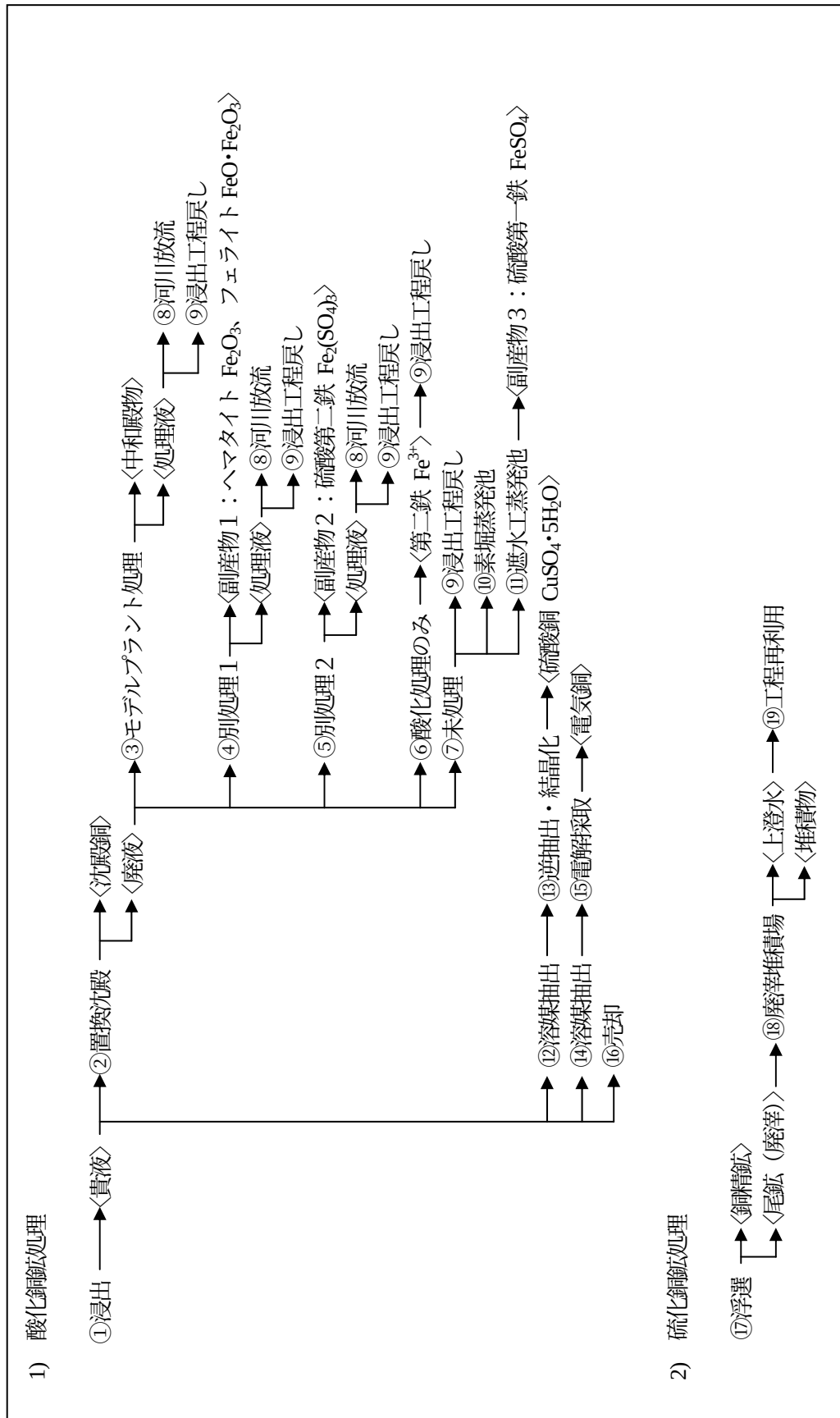
増産後の処理を継続する。

目標処理鉱量：9,900t/month[118,800t/year][操業率 90%]

7.3 環境配慮型操業計画

従前の環境配慮のない操業形態（公害発生）より今後の環境配慮のある操業形態（公害防止）への操業フローの転換を図 7-2 に示す。

表 7-1 処理方法一覧：Ovalle プラント



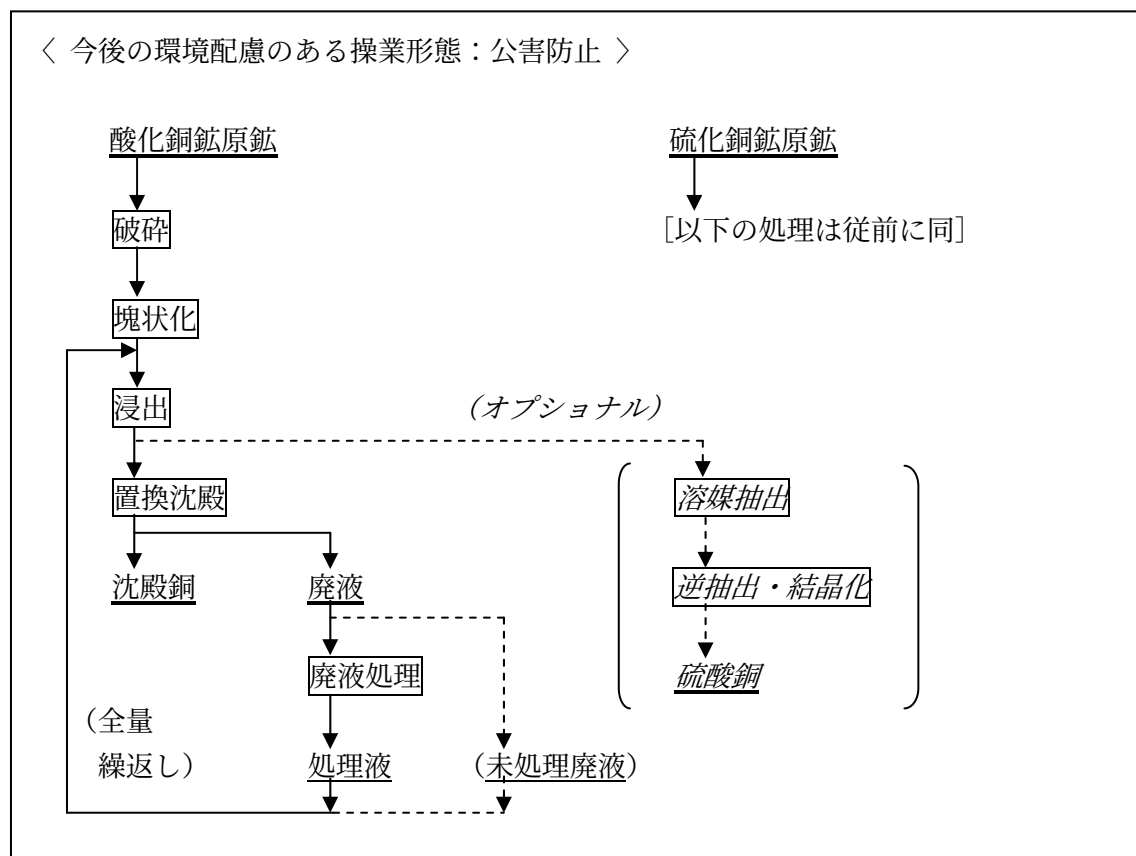
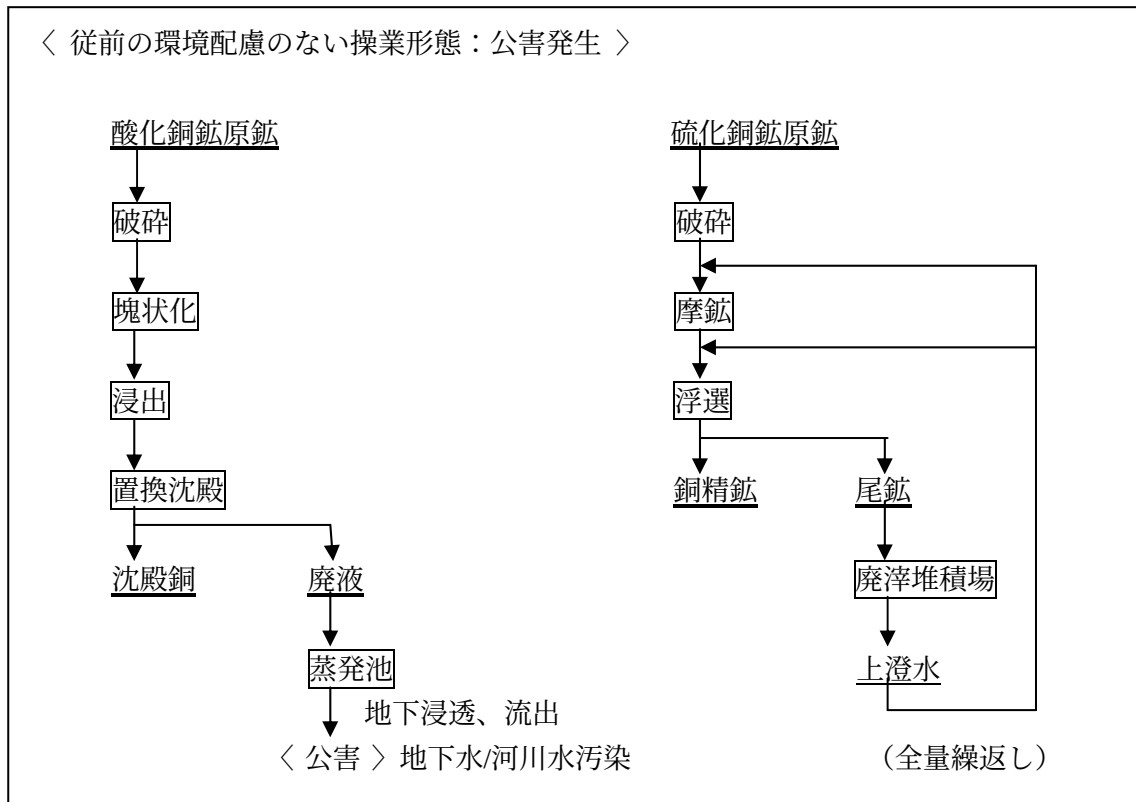


図 7-2 環境配慮型操業形態フローの検討

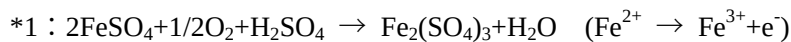
8. チリ国内におけるバイオ技術応用の可能性（M/P）

8. チリ国内におけるバイオ技術応用の可能性 (M/P)

本プロジェクトで構築されるバイオ技術を、チリ国内で幅広く応用展開する可能性を検討した。

8.1 本 M/P におけるバイオ技術の概要

本 M/P で適用されるバイオ技術は、鉄酸化バクテリア(Thiobacillus ferrooxidans 等)の持つ、主に硫酸酸性下において 2 価鉄 (第一鉄: Fe^{2+}) を 3 価鉄 (第二鉄: Fe^{3+}) に酸化(*1)する能力を利用するものである。本バクテリアは、酸化の際に得られるエネルギーを以て、空気中の CO_2 を固定し、生育する独立栄養細菌である。尚、本バイオ技術は、環境に優しく、化学酸化に比しコストが安いという非常に大きな優位性を持つ。



8.2 技術導入の前提条件

本技術の適用には、「本鉄酸化バクテリアが生育可能」であることが必要であり、その条件を以下に示す。

- ① 硫酸酸性：混酸でも可であるが、硫酸イオンの含有量が他の酸イオンより多いこと。又、ハロゲン類はバクテリアの阻害物質であるので、これらを含む酸は後述する濃度以下であること。
- ② pH 1.3～4.5 (最適 pH: 2.5)
- ③ 温度 10～37℃ (最適温度: 30～35℃)：数℃の低温における活動例もある
- ④ 好気性雰囲気
- ⑤ バクテリア基質の存在：第一鉄(Fe^{2+})、硫黄(S)、チオ硫酸($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$)等の無機物質
- ⑥ 阻害物質は限界濃度以下

非常に感受性が高く、比較的低い耐性を示す	中程度の耐性を示す	比較的高い耐性を示す
水銀(Hg), 銀(Ag), モリブデン(Mo), テルル(Te), セレン(Se), ウラニウム(U), シアンイオン(CN ⁻), フッ素イオン(F ⁻): 特定有機物	錫(Sn), 砒素(As), 硝酸イオン(NO_3^-), 塩素イオン(Cl^-)(*2): 低分子有機物	亜鉛(Zn), ニッケル(Ni), コバルト(Co), 銅(Cu), マンガン(Mn), アルミニウム(Al), カドミウム(Cd), クロム(Cr)

注) 阻害物質濃度を徐々に上げながら継代培養、即ち馴養すると或程度耐性を向上することができる。

*2: 通常は<1g/L だが、馴養により<10g/L 程度まで耐性を改善できる

8.3 技術適用分野

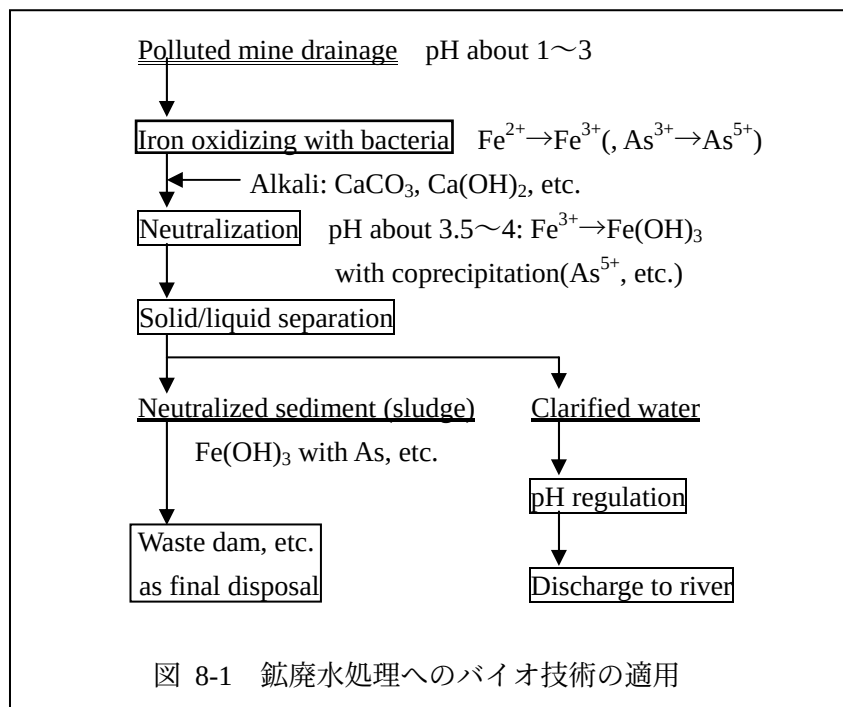
チリ国内の鉱業分野で、本技術適用の可能性が考えられるのは、以下に述べる 4 つのカテゴリー ((1)～(4)) である。

(1) 酸化銅鉱置換沈殿法（いわゆるセメンテーション法）に係る浸出廃液処理

第一鉄(Fe^{2+})他の有害物質がイオンの形で含まれる廃液を、素堀の蒸発池(ponds)に投入する場合、それら有害物質はその堤体/底部から地下浸透、流出し、地下水、河川水を汚染（汚濁）し、公害が発生する。Ovalle プラントと同様に、低 pH で多量の第一鉄(Fe^{2+})が溶存しているものに対して適用し、この鉄を第二鉄(Fe^{3+})に酸化、中和し、発生する中和殿物($\text{Fe}(\text{OH})_3$)にて除去し、環境改善を図る。日本での適用は、特にない。

(2) 鉱山（稼行あるいは休廃止）における坑廃水処理

有害物質を含む坑廃水により地下水、河川水が汚染され、鉱害（鉱山公害）が発生する。低 pH で有害重金属($\text{As}^{3+, 5+}$, Cd^{2+} 等)が多量の第一鉄(Fe^{2+})と共に溶存しているものに対して適用し、この鉄を第二鉄(Fe^{3+})に（又砒素を As^{3+} から As^{5+} ）に酸化、中和し、発生する中和殿物($\text{Fe}(\text{OH})_3$)に有害重金属を共沈にて除去し、環境改善を図る。日本では、旧柵原鉱山、旧松尾鉱山他で、適用されている。本処理フローを図 8-1 に示す。図中 **Iron oxidizing with bacteria** と示されている工程が当該技術の適用箇所である。尚、当調査の手順を表 8-1 に示す。

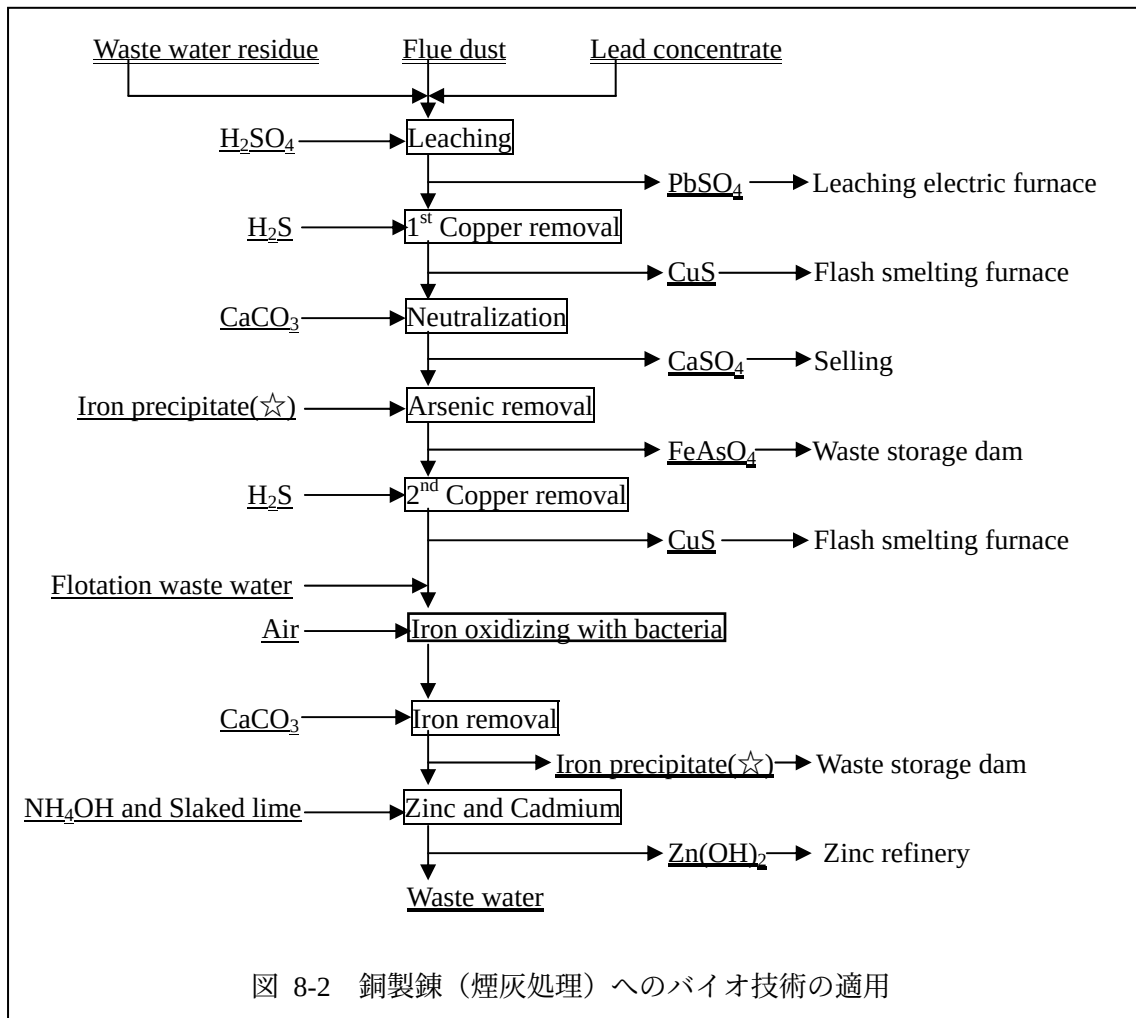


(3) 製錬所中間産物（製錬煙灰）処理

銅製錬所等で、有用重金属(Cu 等)/有害重金属(As , Cd 等)を高品位で含む煙灰の露天放置により、これら有害物質の溶解、流出により地下水、河川水が、又飛散により近隣の土壌が汚染され、公害が発生している。この煙灰に対して適用し、 Cu 等有用金属を回収すると共に、有害重金属を除去し、環境改善を図る。日本では、小坂銅製錬所等で適用されている。

銅製錬煙灰の処理フロー（例）を図 8-2 に示す。図中 **Iron oxidizing with bacteria** と

示されている工程が当該技術の適用箇所である。



(4) 二次硫化銅鉱のバクテリア浸出（リーチング）

銅鉱石に対する硫酸浸出において、長らくは酸化銅鉱のみが対象であったが、バクテリアの利用、即ちバクテリア浸出により、輝銅鉱(Chalcocite Cu_2S)、銅藍(Covellin /Covellite CuS)等の二次硫化銅鉱に対しても可能となり、対象が広がってきている。

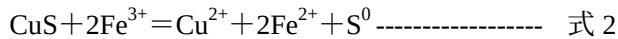
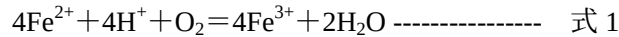
従来、二次硫化銅鉱に対しては、選鉱－製錬法にて、即ち浮選で銅精鉱を得、乾式製錬を経て電気銅を生産してきた。勿論、これが現在も主流である。

しかし近年は、選鉱－製錬法では経済性の得られない低品位鉱（廃石）に加え、選鉱－製錬法で経済性の得られる鉱石に対しても積極的にバクテリア浸出を行い、溶媒抽出－電解採取(SX-EW)法にて電気銅を生産することが、多くの鉱山にて実施（もしくは実用検討）されている。これは、選鉱－製錬法に対し、溶媒抽出－電解採取法の採用により、コストが大幅に低減できることによる。この二次硫化銅鉱に対するバクテリア浸出、溶媒抽出－電解採取法の適用は、将来更に拡大するものと考える。

本バクテリアに係る浸出には、以下の2機構が考えられている。

- ① 間接浸出機構：鉄酸化バクテリアの酸化作用により、 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ とし、この Fe^{3+} が硫化銅物を化学的に酸化浸出する。

〈銅藍の例〉



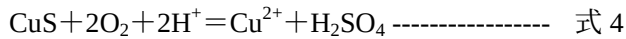
式 1 の反応は、酸性条件下で極めて緩慢にしか進行しないが、本バクテリアが存在するとその反応速度は約 50 万倍になる。

本 Fe^{3+} は、式 2 に示す通り、 CuS に対する酸化剤として作用し、銅は酸化され溶出して Cu^{2+} が生成し、一方、鉄は還元されて Fe^{2+} が生成する。この Fe^{2+} は、式 1 に戻り再び反応に供する。

本機構では、 Fe^{2+} が不可欠であるが、天然の含鉄硫化鉱物、特に黄鉄鉱(FeS_2)の酸化により Fe^{2+} が簡単に得られる。その反応を式 3 に示す。



- ② 直接浸出機構：本バクテリアが、硫化鉱物の表面に付着し、触媒的に作用し、式 4 に示す酸化反応を促進する。



ただ、対象鉱物、場所毎の最適条件は、未だ理論的に詰められていない所がある。

本バクテリア浸出は、銅等に係るヒープ浸出（リーチング）/ダンプ浸出（リーチング）の他、ウラン鉱に対するインプレイス浸出（リーチング）等にて行われている。

本バクテリア浸出において、現在は現地で生育するバクテリアに限定して利用している所が多いが、上記(1), (2)等での第一鉄(Fe^{2+})を多量に含む廃液/坑廃水の処理設備があり、そこで培養される本バクテリアを意識的、積極的に活用し、銅の浸出速度、浸出率共に向上を図る。日本では、旧小坂鉱山、旧土畑鉱山で適用された。

又、浸出に活用できるバクテリアとして、*Thiobacillus ferrooxidans* の他、*Thiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Acidiunus brieleiyi*, *Metalloshaera sedula*, *Sulfolobus acidocaldarius*, TH1, TH2, TH3, ALV, BC, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* subsp. *thermotolerans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* subsp. *asporogenes*, *Thiobacillus prosperus*, *Thiobacillus cuprinus*, *Thiobacillus acidophilus* 等が研究されている。

尚、黄銅鉱(*Chalcopyrite* CuFeS_2)等一次硫化銅鉱の硫酸浸出は、バクテリアの力を以てしても浸出速度が遅く、実用化は未だ厳しい。現在開発されている当該浸出は、アンモニア、ハロゲン類、硫酸加圧、強力な酸化剤 等による。

- (5) その他 1：銅鉱の溶媒抽出—電解採取法における浸出工程への戻し希硫酸の浄化

溶媒抽出—電解採取法は、非常に多くの鉱山にて大量の酸化銅鉱（、二次硫化銅鉱）に対する浸出に引き続き、適用されているが、長期的に浸出工程への戻し希硫酸に鉄が蓄積し、結果として溶媒抽出工程での溶媒の選択性を妨げることによる銅の採収率低下と、電解採取工程での電解効率低下とが懸念されている。溶媒抽出、電解採取工程に対して本技術を適用し、鉄を除去し、工程成績を向上することが期待されている。ただ、本項は、技術的検討が更に必要であることより、本章の適用分野より除く。日本での適用は、特でない。

その他 2：黄鉄鉱(*Pyrite* FeS_2)や硫砒鉄鉱(*Arsenopyrite* FeAsS)中の金、銀採収

これら硫化鉱中の金、銀は、そのまま青化(シアン CN)浸出しても採収は困難で、その採収率は低いが、バクテリア浸出による前処理を行うことで、高採収率が可能となる。Biox Process, BioPro Process, GeoCoat Process 等の方法が開発されている。ただ、本項は、チリでの適用ケースが特にないとされていることより、本章の適用分野より除く。日本での適用は、特にない。

8.4 チリ国における技術適用箇所の検討

まず、以下(1)の本プロジェクト実施分野に付き、Ovalle 以外の ENAMI 及びその他の中規模以上のプラントについてその適用を検討し、その他小規模のものに対しても検討を加え、次いでチリ国の他分野について(2)～(4)の適用の可能性を検討した。

(1) 酸化銅鉱処理置換沈殿法に係る浸出（リーチング）廃液処理

- ① ENAMI Ovalle プラント：モデルプラント処理残分
- ② ENAMI Vallenar プラント(調査例：pH 2.7: Fe^{2+} 9,700mg/L, T-Fe 16,800mg/L, Cu 467mg/L, Cd 0.43mg/L, Pb 1.1mg/L, As 1.9mg/L)
- ③ 銅製錬所煙灰の置換沈殿法銅回収処理プラント(調査例：Monte Carmelo：ENAMI より委託を受け、ENAMI Ventanas 銅製錬所の煙灰を置換沈殿法（浸出－置換沈殿 ⇒ 沈殿銅生産）にて処理（調査例：pH 2.4: Fe^{2+} 35,400mg/L, T-Fe 36,800mg/L, Cu 906mg/L, Cd 1,410mg/L, Pb 0.7mg/L, As 3,200mg/L）
- ④ 民間の小規模酸化銅鉱置換沈殿法銅回収処理プラント（調査例：C.G.プラント pH 0.4: Fe^{2+} 49,000mg/L, T-Fe 54,100mg/L, Cu 239mg/L, Cd 0.14mg/L, Pb 1.1mg/L, As 1.8mg/L, L. C.プラント pH 3.4: Fe^{2+} --- mg/L, T-Fe 3,140mg/L, Cu 173mg/L, Cd 0.09mg/L, Pb 0.6mg/L, As 0.16mg/L, S. G.プラント pH 3.8: Fe^{2+} --- mg/L, T-Fe 51,100mg/L, Cu 274mg/L, Cd 0.19mg/L, Pb 1.2mg/L, As 0.71mg/L）

尚、③、④の場合は、当該技術が移転される ENAMI が主導して、地域ごとに公害防止設備、即ち廃液処理設備を完備し、それら小規模の酸化銅鉱/銅製錬煙灰を集鉱し、処理することを提案する。

又、ENAMI M. A. Matta プラントは、硫化銅鉱のみの処理に付き、本技術は適用されない。ENAMI El Salado プラントは、酸化銅鉱の置換沈殿法処理をしているが、処理酸化銅鉱の内のアタカマ鉱(Atacamite $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)に由来する Cl 濃度が 39.8g/L(限度 10g/L)と高く本技術は適用されない。ENAMI Taltal プラントは、同様に酸化銅鉱の置換沈殿法処理をしているが、処理酸化銅鉱にアタカマ鉱が含まれる上に、用水として海水を利用しているために Cl 濃度が 34.2g/L(限度 10g/L)と高く、更に近い将来臨海より内陸への移転計画があり、これに伴い真水の使用の可能性もあるが、溶媒抽出－電解採取法が検討されているので、本技術は適用されない。

Codelco には置換沈殿法の適用箇所はない。

ENAMI 以外の民間に係る置換沈殿法使用鉱山/プラントは、1990 年代に入り減少し、Dona Ada, El Indio, Fortuna de Cobre, La Cascada/Sagasca, Lo Aguirre 等の溶媒抽出－電解採取法への切替え等により中規模以上のものはなくなり、2000 年には遂に小零細規模の小数のプラントだけになっている。

(2) 鉱山（稼行あるいは休廃止）における坑廃水処理

○ Atacama 砂漠以南（第Ⅲ州 Copiapo 以南程度）で、降雨、降雪を見る地域にあり、露天掘り、坑内堀を問わず、銅、亜鉛等硫化鉱、特に黄鉄鉱(Pyrite FeS₂)の胚胎(*3)する鉱体を有し、硫酸酸性低 pH の坑廃水を無処理で河川に放流している鉱山。(調査例：C. A. 鉱山 ① pH 1.1: Fe²⁺ 60mg/L, T-Fe 60mg/L, Cu 247mg/L, Cd 0.06mg/L, Pb 0.1mg/L, As 0.06mg/L, ② pH 3.9: Fe²⁺ 190mg/L, T-Fe 190mg/L, Cu 548mg/L, Cd 0.13mg/L, Pb 0.2mg/L, As 0.24mg/L)

*3：硫化鉱物の硫黄(S)は、酸化され、硫酸酸性水を生じるが、中でも特に、黄鉄鉱の硫黄は、8.3 (4)の式 3 で示した通り、酸素、水、バクテリアにより、簡単に低 pH の硫酸酸性水を生じる。又、8.3 (4)の式 2 で生じる S⁰は、本バクテリアの他、Thiobacillus thiooxidans により式 5 を以て、同じく簡単に硫酸酸性を生じる。



これら酸性水は有害重金属(As, Cd 他)を溶解し、地下水、河川水を汚染する。

(3) 製錬所中間産物（製錬煙灰）処理

① ENAMI：Ventanas 銅製錬所

③ CODELCO：Chuquicamata, Caletones (El Teniente), Potrerillos (El Salvador)
各銅製錬所

③ 民間：N. A.(ex-R.)銅製錬所、D. C.銅製錬所

ただ、煙灰中に当該技術の反応に必要な鉄量が十分でない、即ち不足する場合は、Fe³⁺の添加が必要となる。①の場合はこれに該当する。②、③については確認が必要。

尚、ENAMI Paipote 銅製錬所は、煙灰が製錬工程内でバランスし、工程外には出ないので、本技術は適用されない。

(4) 二次硫化銅鉱のバクテリア浸出（リーチング）

○ 輝銅鉱(Chalcocite Cu₂S)、銅藍(Covellin/Covellite CuS)等の二次硫化銅鉱が胚胎する鉱床を有し、これら銅鉱に対し、浮選で銅精鉱を得るのではなく、浸出し溶媒抽出－電解採取にて電気銅を生産しようとする鉱山。(調査例：E. 鉱山、Z. 鉱山、Q.B. 鉱山)：表 8-2 に、チリ国大手銅鉱山の銅生産状況を示す。

8.5 技術適用分野のまとめ

チリ国において、本技術適用が最優先で必要とされる分野は、8.4 (2)の「鉱山（稼行あるいは休廃止）における坑廃水処理」と考える。

ただ、本分野における汚染坑廃水による河川水他への汚染、即ち鉱害は、相当に広い箇所が発生していると思われるにも拘わらず、その実態は明らかになっていない。

従って、これら調査を行うと共に、本技術適用の詳細検討を行う必要がある。これらを項目にまとめ、表 8-1 に示した。下線部は、本技術適用に際し、留意すべき事項である。本技術は固有技術に係るものであり、その適用には注意を要する。

本バイオ技術は、中南米で見れば、その適用の可能性は非常に大きいと考える。

表 8-1 バイオ技術を利用した「鉱山（稼行あるいは休廃止）における坑廃水処理」（案）

(1) 環境調査

1) 現状調査

- ① 汚染発生源調査：鉱山よりの坑廃水の水量、水質、関係河川の水量、水質及び底質量、底質に係る予備調査により、各濃度、負荷量を暫定的に把握し、汚染発生源を明確にする。

又、同時に、pH、硫酸酸性、第一鉄(Fe^{2+})濃度、鉄酸化バクテリアの有無、同バクテリア阻害物質濃度についても把握し、鉄酸化バクテリアによるバイオ技術利用坑廃水処理の可能性を確認する。

- ② 汚染状況調査：汚染の状況をマッピングし、対基準汚染度を明確にする。ここで等汚染線等を描くことにより、鉱害の程度とその範囲とを確認する。更には、汚染のインパクトの大きさより、汚染発生源毎に対策の必要優先順位を把握する。

- ③ 汚染機構（メカニズム）調査：汚染発生源よりどのような経路、反応を経て各地点が汚染されたかを解明する。

- ④ 被害状況調査：人体、各産業に係る被害状況を把握する。

2) モニタリング

- ① モニタリング計画策定：上記現状調査の結果、今後の継続監視に必要な観測項目、観測点を定める。

- ② モニタリング調査：定期的に、水質に係る試料を採取、分析し、又水量等の測定を行い、データの蓄積を行う。この結果を以て、汚染発生源、汚染状況、汚染機構を修正してゆくと共に、経時変化を把握する。

- ③ 水質解析モデル策定：汚染機構に係る水質解析モデルを構築する。

- ④ 水質シミュレーション調査：上記水質解析モデルを以て、汚染発生源での鉱害防止対策内容、程度により、汚染各地点の汚染程度がどのように軽減されるかをシミュレーションにより把握する。

(2) 坑廃水対策検討

- 1) 鉱害対策技術調査：発生源対策、坑廃水処理他の鉱害対策に係る技術を総覧する。

- 2) 坑廃水対策技術調査：上記技術の内、チリ国で鉱害が発生している箇所に必要な汚染坑廃水対策技術を、絞り込む。

- 3) 対策プロセス策定：各汚染発生源毎に鉱害防止対策プロセスを検討する。

⇒ ここに、本報告書に述べるバイオ技術が適用される可能性が強い。

鉄酸化バクテリアによるバイオ技術利用プロセスの構築：固有技術必要

- 4) 対策プロセス試験：プロセスを確認すると共に、処理に係る最適条件を把握する。

- 5) 設備設計：まず、インパクトの大きい汚染発生源に係る概念設計を行い、鉱害防止に係る経済・財務分析を行う。引続き、詳細設計を行う。

(3) 坑廃水対策実施

- 1) モデルプラント建設：上記設計に基づき、小規模のモデルプラントを建設し、最適処理条件の見直しを行うと共に、適用技術のクライテリア達成を確認する。

- 2) フルスケールプラント建設

- 3) プラント運転：鉱害防止を実施する。

表 8-2 チリの主な銅鉱山

No.	Name of Mine	Ownership	Processing Ore* ⁵		Location : Region	Production in 2000 Cu ×10 ³ t/year
			Sulfide	Oxide		
1	Escondida	BHP 57.5+RTZ 30+JECO 10 * ¹ +IFC 2.5%	○	○	II	917
2	Chuquibambilla	CODELCO	○	○	II	630
3	Collahuasi	Falconbridge 44+AAC(Anglo American plc.) 44+Japan Conso. 12%* ²	○	○	I	436
4	El Teniente	CODELCO	○	○* ⁶	VI	356
5	Los Pelambres	Antofagasta Minerales plc. (Luksik) 50.55 +Anaconda Chile 9.45 +Japan Conso. 40%* ³	○		IV	310
6	Andina	CODELCO	○		V	258
7	Candelaria	Phelps Dodge 80+Sumitomo group 20%* ⁴	○		III	204
8	Radomiro Tomic	CODELCO		○	II	191
9	El Abra	Phelps Dodge 51+CODELCO 49%		○	II	191
10	Los Bronces	Exxon Mobil (Disputada de Las Condes)	○	○	M* ⁷	170
11	Zaldivar	Placer Dome	○	○	II	148
12	Cerro Colorado	Billiton (Rio Algom)		○	I	115
13	Mantos Blancos	AAC	○	○	II	102
14	Salvador	CODELCO	○	○	III	81
15	Quebrada Blanca	Aur 76.5+Pudahuel 13.5+ENAMI 10%	○	○	I	73
16	El Soldado	Exxon Mobil (Disputada de Las Condes)	○	○	V	68
17	Manto Verde	AAC		○	III	54
18	Michilla (Lince)	Antofagasta (Luksik)	○	○	II	53
19	Lomas Bayas	Bolden: Noranda+Falconbridge		○	II	51
20	Andacollo	Aur 63+Pacífico 27+ENAMI 10%		○	IV	21
21	El Indio	Barrick	○		IV	14
22	Ivan Zar	Milpo (Peru)		○	II	13
23	Minera Valle Central	Valle Central	○		VI	12
24	Punta del Cobre	Punta del Cobre	○		III	10
25	Las Luces	Las Luces	○		II	10
26	La Cascada	Pudahuel		○	I	5
27	Lo Aguirre	Pudahuel	○		M* ⁷	5

Note *¹: Mitsubishi-shoji 6+Mitubishi-material 2+Nikko-kinzoku 2%*²: Mitsui-bussan 6.9+Nikko-kinzoku 3.6+Mitsui-kinzoku 1.5%*³: Nikko-kinzoku 15+Mitsubishi-material 10+Marubeni 8.75+Mitubishi-shoji 5+Mitsui-bussan 1.25%*⁴: Sumitomo-kinzokukouzan 15+Sumitomo-shoji 5%*⁵: Sulfide copper ore (process: flotation, product: copper concentrate),
Oxide copper ore (process: SX-EW, product: electrolytic copper[cathode copper])*⁶: This SX-EW is brought about by treatment of acid drainage water from mine.*⁷: Metropolitan

9. 結 論

9. 結論

1999 年 10 月以降 39 ケ月間、Ovalle プラントの操業・環境の改善を追求して来た本調査も、ほぼ計画どおり終了することが出来た。ただこの期間は経済社会両面にわたり世界的に不安定な情勢に取り巻かれ、経済危機・デフレ・雇用不安などきびしい状況が支配的であった。

産銅界においても国際価格である銅建値が長期間低迷し、90 年代前半のような活気は見られなかった。世界第一位を占めるチリにおいても、いわゆる大鉱山は不況にもゆるがず順調な操業を持続したものの、中小の鉱山はコストの負担が重く生産はおしなべて低調であった。中小鉱山を支援しつつも、一方では原料鉱石をすべて中小に依存する ENAMI の各プラントにとっては、操業率のきわめて低い状況を長期にわたって強いられ、なお先の予測は不透明な状況にある。

ENAMI のチリ産銅界に占める役割からの異論はあろうが、現状のような受け身の操業を脱し自主的な生産計画を計上出来る体制が望ましい。自身での鉱山経営など将来的な構想を強く提言したい。プラント収支の面にも生産性向上が反映されることが経営の本来の姿であろう。

収益向上のためにはスケールメリットを活かす増産の寄与が最大であるが、現状の処理レベルでも細部改善の積み重ねにより収入増の余地はある。そのためには基礎的な実験とデータの蓄積が必須である。

廃液処理モデルプラントについては、実験室試験から設計・据え付け・運転・実証試験の各段階においてチリ側との連携が円滑に進み、所期以上の結果をあげたと見られる。基礎試験の結果どおり廃液の浄化は立証され、処理能力の上でも計画以上の実績を収めた。技術移転を含め技術面での成果には明らかなものがある。

モデルプラントを工業規模に増強する、いわゆるフルスケールプラントについてはリーチングプラントの最大月間処理能力 14,000 トンに見合う廃液量 600m³/日を対象に設計を行った。この時モデルプラントも併用することになるが新設部分の設備費は 2,125 千 US ドル程度と見込まれる。この新規投資を加え、リーチング工場の廃液処理を含むフルスケール操業を想定し、各ケース別にキャッシュフロー分析を試みた。結果はすべてのケースでフィージブルとはならず、公害対策投資の難しさが浮き彫りにされた。

公害対策事業を評価するには、生産部門の収支にのみ固執せず地域社会におよぼす影響を考慮する必要がある。本プロジェクトについては、プラント周辺の地域（農地、牧草地、鉱山など）への経済効果を出来る限り数量化して解析することを試みた。具体的には 1. 汚染により評価額が著しく低下した土地を復旧により差損の解消。 2. Ovalle プラントがフル操業を続けることによる周辺鉱山ほかへの経済効果。 3. 地域全体での用水使用量の減少による負担の減少。 これらの効果をおりこんで解析を行った結果、月間粗鉱量 14,000 トンのフルスケール処理の場合には、銅市場建値がポンドあたり US68 ¢

を上回ればフィージブルとなり得ることが明らかとなった。

この結果を受け、結論として月間 14,000 トンのフル操業ならびにフルスケール廃液処理プラントの建設による廃液全量処理の実施を提言する。この体制により外部への汚染は皆無となり、廃液処理後浄化された液はリーチング工程で再利用され、銅収率の向上も期待されるなど技術・環境の両面で理想に近い操業が見込まれることになる。

ただし、これらの投資を早急に行うには現下の状況がきびしいことも事実である。将来的に銅価格の動向により銅産業が活況を取り戻す時期を予測して、その判断は ENAMI 経営陣に委ねるのが妥当であろう。当面の操業は月間 6,000 トンとしても環境が好転した場合にはフルスケール 14,000 トンの操業と、それに見合う廃液処理プラントの建設を重ねて推奨する。

当面低水準の操業がなお続くものとすれば、現モデルプラントをフル活用しつつそれに対処した環境配慮型操業を検討する必要がある。この点についても Ovalle 側と協議して当面の対策を検討し、本報に記載した。

Ovalle プラントで実施した公害対策をチリ国内他の事業所に展開することは、情報収集・現地調査により検討したが、近年沈殿銅方式が減少しつつあることから適当な対象個所を見出すことが出来なかった。そこで沈殿銅に限定せず、広く鉱業界全般に本バイオ技術を適用する可能性を検討し、本報に概説した。これをただちに実施するには具体性に欠けるが、ENAMI の手によりさらに調査開発されることを期待したい。

チリ国内において近年公害に対する意識が高まってきたといわれるものの、発生源に対する責任意識は今一步の感がある。Ovalle プラントにおいても新たな汚染を防止することは無論のこと、これまでの河川等の汚染には積極的な姿勢をもって復旧工事を実施することを提言する。調査団としても、調査内容を外部に公開する機会をもつとともに、公害対策の重要性を強調するためのセミナーを、2002 年 3 月（ラ・セレナ市）、同 10 月（サンチャゴ市）の二回開催して意識の高揚につとめた。

調査の終了にあたって、これまでの調査期間中チリ側との協力体制はきわめて良好であったと考える。ENAMI を始め関係各機関による情報提供その他の便宜について改めて感謝の意を表したい。近い将来 Ovalle プラントが技術面、経済面ならびに環境面で酸化銅鉱処理の規範となることを祈念する。