

オマーン国
鋳工業プロジェクト形成基礎調査
(環境汚染防止調査)
調査報告書

1999年7月

国際協力事業団
鋳工業開発調査部

鋳 調 資

J R

99-131

**オマーン国
鋳工業プロジェクト形成基礎調査
(環境汚染防止調査)
調査報告書**

平成 11 年 7 月

**国際協力事業団
鋳工業開発調査部**



- ソハール鉱山地区
- ラカー鉱山地区

調査位置図



M/M 署名
(於商工省)



署名後の握手
(於商工省)



報告・協議
(於日本大使館)



採掘跡の溜水
(ラセイル・ウエスト)



採掘跡の溜水
(アルジャ)



採掘跡の陥没
(ベイダ)



廃滓堆積場・ワジ・スーク上流・銅製錬所のパノラマ



トレンチ No1



トレンチ No2



モニタリング
井戸



製錬所ラボ



MCI ラボ



MRME ラボ



鋼製錬所全景
(手前は発電所)



製錬所建屋内部



電解工場内部



ずり堆積場
(ラカー金鉱山)



廃滓堆積場
(ラカー金鉱山)



金回収工場
(ラカー金鉱山)

用語表

1. 水理地質、採鉱、選鉱

- 涸れ沢、涸れ谷： 雨季（11月～3月）の一時期（集中降雨時）のみに地表流水が現れる地下水脈を持つ河川、ワジ（Wadi）の名を冠して表現される。
- 開析： 河川、丘陵等で地形的に、しばしば並行的に、分割されること。
- 扇頂： 扇状地地形の最頂部。
- ナッペ（Nappe）： ほゞ水平に滑動（移動）し、別の地質構造へ覆い被さる形で形成された転移性の異地性岩体。
- 母岩： 採掘対象の有価金属鉱物を胚胎（包含）させる鉱床の母体。
- 脈石： 採掘対象の有価金属鉱物以外の金属鉱物及び非金属鉱物。
- 原鉱： 採掘された鉱石で、選鉱工程に供給される鉱石。
- 選鉱： 採掘された鉱石から、物理・化学的な方法で有価金属鉱物を分離抽出する工程。一般に、鉱石を粉砕し、水を加えてスラリー状にして処理する。
- 尾鉱： 選鉱工程において、原料鉱石から有価金属鉱物を分離抽出された後に残った残滓。スラリー状態。廃滓とも言う。
- 品位： 目的鉱物元素の含有率。
- 採収率： 原鉱に含まれる目的元素の内、回収された元素の割合。
- 自生粉砕、半自生粉砕： AG（Autogenous）Grinding、SAG（Semi-Autogenous）Grinding。媒体（金属製品、非金属製品で主として球状または棒状）を使用せずに、原鉱（の粗粒部分）自体を粉砕媒体に見立てて粉砕する方法。鉱石 100%の場合を「自生粉砕」、補助的に鉄製ボール等を使用する場合を「半自生粉砕」と称する。
- ペブルミル： 媒体に硬質の石（花崗岩等）を使用して粉砕するドラム状の粉砕機。
- 摩鉱： 鉱石を粉砕する工程、水を加えスラリー状態で行う湿式と水を使用しない乾式とがある。
- 浮選： 浮遊選鉱（法）の略、適切な薬品（試薬）を適正量加え、スラリー状の原鉱から目的鉱物を気泡に付着分離して抽出する操作。
- 精鉱： 各種操作で分離・抽出され、目的鉱物を高濃度化した選鉱工程の産物。製錬工程の原料となる。
- 形態分析： 成分の含有率をトータルで表すのではなく、イオンの価数（ Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 As^{3+} 、 As^{5+} 等）や錯イオンの構成（ $\text{Fe}(\text{CN})_6^{2-}$ 、 $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$ 等）まで明らかにする分析。

2 . 製錬

- 買鉱製錬所： 鉱を購入して製錬を行う製錬所（カスタムスマルター）。
- 銅精鉱： 選鉱処理により品位の向上した銅鉱石で、製錬への供用原料。
- 造粒： 供用原料に水、バインダー（粘結剤）を加え、粒状（ペレット）にすること。
- 電気炉： 炉内に電極があり、これに通電することにより供用原料を加熱溶解する炉。銅製錬の場合は、マット、スラグ、排ガスを生成する
- 転炉： マットから粗銅を製造する傾転式の酸化炉で、空気または酸素を炉内に吹き込む。
- マット： 硫化鉱物を溶解して生じた金属硫化物の混合体。
- 鉱滓： 金属分の大部分が分離された後の、溶解滓（スラグ）。
- 粗銅： 転炉から産出する純度 99 % 程度の銅（プリスター銅）。
- アノード： 粗銅を精製（不純物除去）し電解に供用する精製粗銅で、電気銅製造の直接的原料。
- 電気銅： 銅電解の最終産出金属銅（カソード）。
- ISA 炉： 原料精鉱をランスにより炉内に吹き込み、溶解する炉。
- ISA 式電解法： ステンレスまたはチタン板上に電気銅を析出させた後、これを剥離する銅電解法。
通常の銅電解では、薄い銅板（種板）上に電気銅を一体として析出させる。
- 着地濃度： 地表面における大気汚染ガスの濃度。
- 1 時間値： 大気を連続して 1 時間吸引して得られる大気汚染ガスの濃度。
- 日平均値： 1 日の総有効測定時間の測定値の 1 時間あたりの算術平均値。
（ 1 時間値の日平均値 ）
- K 値： 硫酸化物の排出基準に係わる値で、地域ごとに異なった値が定められている。

以上

目次

関係地図（調査位置図）

写真集

用語表

第1章 プロジェクト形成基礎調査の概要

1-1 要請の背景および経緯	1
1-2 調査目的	2
1-3 団員構成	2
1-4 調査日程	3
1-5 主要面談者	4

第2章 協議の概要

2-1 対処方針	7
2-2 協議結果	8
2-3 協議議事録	11
2-4 団長所感	15

第3章 オマーン国の鉱業と環境政策

3-1 オマーン国の鉱業	19
3-2 オマーン国の環境保全に対する取組	20

第4章 現地踏査結果の概要

4-1 地域概況	23
4-1-1 位置および交通	23
4-1-2 地形、地質	23
4-1-3 水系および地下水	24
4-1-4 気象および植生等	24
4-1-5 社会状況およびインフラストラクチャー	26
図 4-1-1, 図 4-1-2, 図 4-1-3, 表 4-1-1, 表 4-1-2	
4-2 鉱山跡および製錬所の概況	33
4-2-1 廃さい堆積場	33
4-2-2 選鉱及び製錬	34
図 4-2-1, 図 4-2-2, 図 4-2-3, 図 4-2-4	
4-3 汚染状況	45
4-3-1 地下水	45
4-3-2 大気	57

図 4-3-1, 図 4-3-2, 図 4-3-3, 図 4-3-4, 図 4-3-5, 図 4-3-6, 図 4-3-7, 表 4-3-1, 表 4-3-2 図 4-3-8, 図 4-3-9, 図 4-3-10, 補遺 4-3-1, 補遺 4-3-2	
4-4 追加要請（ラカ一金鉱山）	78
4-4-1 概況	78
4-4-2 環境汚染の可能性	78
4-4-3 改善点	79

第5章 次回調査の課題、懸案事項

5-1 技術的課題、懸案事項	81
5-1-1 地下水	81
5-1-2 大気	81
5-2 政策的課題、懸案事項	82

添付資料

資料 1 要請書（TOR）及び追加要請	85
資料 2 Questionnaire	95
資料 3 面談記録	109
資料 4 収集資料リスト	115
資料 5 水質データ（TDS 測定値）	117

第1章 プロジェクト形成基礎調査の概要

第1章プロジェクト形成基礎調査の概要

1-1 要請の背景及び経緯

昔から鉱業は、オマーン経済に重要な役割を演じてきた。約5千年も前から国内数カ所で銅鉱石が採掘され、メソポタミアのシュメール国に輸出され、伝説に語られている古代都市ウルの宮殿を飾った多量の銅はブライミィ (Buraimi) とソハール (Sohar) の間にあったマガン (Magan) から送られたと伝えられている。

現国王サルタン・カブースの統治が始まった1970年に開国したオマーンは、石油開発と共に近代化を進めその発展は目覚ましいものが見られる。近代化と共に石油・ガス開発以外の鉱物探査も積極的に進められ、1978年には Oman Mining Co.L.L.C (OMCO) が設立され、銅を主とする鉱山開発および銅製錬に着手した。その結果、1982年ソハール鉱山および製錬所の操業を開始した。

ソハール鉱山は1982年に年間粗鉱生産量は約110万tで操業を開始し、1994年銅鉱石の枯渇により閉山した。鉱床はラセイル、ベイダ、アルジャおよびラセイル・ウエストの各鉱床から合計約1,500万tの銅鉱石を生産、この間製錬所で使用する精鉱の全量を供給した。その結果、約1,100万tの硫化物に富む廃さいが、堆積場に投棄処分された。選鉱場は、1983年から1994年まで操業が行われ、選鉱用水は当初全量海水で賄っていたが、その後清水に置換された。その結果、約500万tの海水が上記堆積場で投棄処分された。

また、銅製錬所は1992年以降自山精鉱量の低減を補うための受託中心の買鉱製錬を開始し、現在は全て輸入鉱に依存している。

現在、上記のソハール銅鉱山地区における廃さい堆積場での処理が原因と思われる、堆積場からの浸透水による地下水への塩害及び重金属汚染が生じ、さらに現在も稼働中である製錬所からの亜硫酸ガス等を含む排煙による塩害が発生している。

なお、OMCOはソハール鉱山以外にワジ・ラジミのクロマイト鉱山およびラカー金鉱山の操業を行っている。クロマイト鉱山は1971年にワジ・ラジミ上流部で発見され、1989年以降少量をスポット的に売鉱している。ラカー金鉱山はラカー銅鉱床域の探査結果から、ラカー鉱床の浅部に賦存する酸化鉱石中にAu品位の高い部分があることが判明し、この高品位部分を対象として1994年7月から操業を開始した。1999年には終掘の予定である。

このような背景をもとに、オマーン国政府は、1997年8月、ソハール鉱山地区に係る鉱害防止調査を要請してきた（TOR 接到は、平成10年10月28日付、電信経協開第543号）。

また、1999年1月31日～2月13日の間、OMCOの監督官庁である、商工省（Ministry of Commerce and Industry（MCI））鉱物局 Qassim 局長が訪日し、2月1日に国際協力事業団 鉱工業開発調査部を表敬、対談を行った。

対談の中で、同局長は本プロジェクトに係る¹追加調査を非公式に要請した。

1 - 2 調査目的

本プロジェクト形成基礎調査では、調査の必要性、妥当性を確認するとともに調査の範囲、調査の方法等について、先方関係機関との協議を通して要請内容の確認を行い、開発調査の実施可能性を判断するとともに具体的案件形成を目的として実施した。

1 - 3 団員構成

- 1) 千葉 正之 団長・総括：国際協力事業団 鉱工業開発調査部 資源開発調査課 課長代理
- 2) 川嶋 俊夫 技術協力行政：通商産業省 通商政策局 経済協力部 技術協力課 課長補佐
- 3) 目次 英哉 鉱害防止対策：金属鉱業事業団 環境業務部 調査課 課長代理
- 4) 早川 智雄 調査企画：国際協力事業団 鉱工業開発調査部 資源開発調査課
- 5) 大木 久光 水理・地質：三井金属資源開発株式会社
- 6) 小林 昭左 製 錬：三井金属資源開発株式会社

¹ 追加調査の内容は、銅精錬から発生するスラグの廃棄物利用計画の策定、ラカー金鉱山地区の鉱害防止対策である。

1 - 4 調査日程

2月26(金)	東京 バンコク マスカット	移動、東京 10:30 TG641 15:30 バンコク 18:00 GF153 21:35 マスカット
27(土)	マスカット	MCI 表敬・打合せ 日本大使館表敬・打合せ
28(日)	マスカット	MCI 分析所、分析能力調査 MRME 分析所、分析能力「調査
3月1(月)	マスカット ソハール	MCI、OMCO 打合せ MRME 表敬・打合せ 移動 車輜
2(火)	ソハール	現地踏査開始(ソハール銅鉱山全体概要踏査) 廃石・廃さい堆積場、廃水処理施設調査 製錬場調査
3(水)	ソハール	MWR(ソハール)打合せ 排ガス・廃水処理概要調査 OMCO 分析所、分析能力調査
4(木)	ソハール	選鉱場跡、水質・土壌 $\text{E}^{\text{ト}}\text{ソ}$ 状況調査 排ガス・廃水処理施設・降下灰煤塵 $\text{E}^{\text{ト}}\text{ソ}$ 状況調査
5(金)	ソハール ラカー マスカット	移動及びラカー金鉱山概要調査 車輜
6(土)	マスカット	日本大使館現地踏査結果説明、打合せ MCI 現地踏査結果説明、打合せ
7(日)	マスカット	MCI 打合せ(M/M 協議)

8 (月)	マスカット	MCI 打合せ (M/M 署名)
9 (火)	マスカット	日本大使館報告 移動、マスカット 23 : 59 TG508
10 (水)	バンコク 東京	10 : 10 バンコク 11 : 20 TG640 東京

川嶋団員は、3月4日にマスカット到着、3月5日より調査団と合流。

1 - 5 主要面談者

(1) 商工省鉱物局 (MCI)

Mohammad H. Qassim Al Yafei (Director General of Minerals)
 Salim Omar Abdullah Ibrahi (Director of Minerals Exploration)
 Yahya Adam Ar-Raisi (mining engineer)
 Mohammed Javed Mirza (mining engineer)
 Ryoichi Nobumoto (JICA 専門家)

(2) 地方自治環境省 (MRME)

Ahmed Al Sabahi (Head of Water & Waste Pollution Control)
 Paul Sharples (Chief Inspector of Water & Waste Pollution Control)

(3) オマーン鉱山公社 (OMCO)

Mike. Sexton (General Manager of OMCO)
 Najeeb Al Barwani (Environmental Metallurgist)
 Flor Carolla (Ag REM Manager)

(4) MCI Mineral Labo.

Barry Hepworth (Head of Analytical Service)

(5) MRME Environmental Labo.

Firdaus Al Harthy (分析所所長)

(6) Sohar Development Office

Khadeem Ali Al-Omrani (Director of Water Dept., SDO)

(7) MWR Sohar Branch

Fahed Ali Alsadi Liwa (Section Chief of Sohar Branch, MWR)

Ahmed Moosa Al Farji Majees(Technician of Sohar Branch, MWR)

(9) 在オマーン日本大使館

神長 善次 (特命全権大使)

松本 敬一 (一等書記官)

第2章 協議の概要

第2章協議の概要

2-1 対処方針

(1) 要請の背景の確認について

ソハール地域における鉱害問題は現在、オマーン国閣議に於いて話し合われている重要事項の一つであり、一部地域住民が国王に直接苦情を訴えたという話もある。特に、国王自身が環境問題に多大な関心を寄せているようであり、本鉱害対策策定・実施は、オマーン国にとって急務と思われる。

また、国連の協力の下、国内各法規等の整備が進んでいるとの情報もあり、オマーン国の環境政策と併せて確認する。

(2) 本鉱害に係る因果関係の確認について

要請の背景となっている、ソハール地域における環境汚染の被害状況を確認するとともに、OMCO の施設が直接の汚染源となっている被害につき現地踏査等を通じて確認する。

(3) 本格調査内容の確認について

実施可能な本格調査の計画立案のため、要請された調査の目的、調査内容及び調査の範囲等を協議する。特に汚染の広がり状況を確認し、調査の地域的な範囲を明確にするとともに、効果的な汚染源調査と対策策定のための技術的・経済的な本格調査方法を検討する。

(4) カウンターパート及びオマーン側の実施体制の確認について

本計画の直接のカウンターパートは OMCO 及びその監督官庁である MCI となるが、本計画の背景を考えると、他の環境関連各省庁の関与も考えられるため、水資源省 (MWR) や地方自治環境省 (MRME) を調査し、本プロジェクトとの関わりを確認するとともに、それぞれの機関の連携、役割等の調査の実施体制を確認する。

(5) (財) 海外コンサルティング企業協会 (ECFA) の「オマーン国営銅製錬所の拡張計画調査」について

ECFA が、²「ソハール銅製錬所の拡張計画調査（F/S 調査）」を計画中である。本プロジェクト（製錬所からの大気汚染問題）に大きく関係するものと思われるので、上記調査の本プロジェクトとの関連性を確認し、今後の動向を注意する必要がある。

（6）追加要請（非公式）について

1)ソハール

製錬スラグの再利用研究等の策定は、本プロジェクト目的の範疇を大きく超えているので、対象外とする。

しかし、銅鉱山の採鉱跡地の調査は、ソハール地域の地下水に対する鉱山施設起源の汚染状況を評価するという観点から、現地踏査を行う必要があると思われる。本プロ形調査では、地下水汚染を引き起こしている可能性がある廃棄物（例えば、銅採鉱跡のずり、製錬所の周りの製錬スラグ等）はすべて調査対象とする。

2 - 2 協議結果

2月28日から3月8日までの協議及び現地調査の結果を「Minutes of Meeting」としてまとめ、商工省（MCI）と JICA 調査団の代表者により署名が交わされた。

（1）協議事項

1）要請の背景と内容の確認

ソハール地域の地下水汚染問題に関しては、過去、オマーン側が調査を行いその提言を基に OMCO が対策工事を行った。しかしながら、汚染は予想以上に広がっており、結果的に十分な効果が得られなかったことが確認された。また、脱石油化を図るオマーン国にとって銅鉱山開発事業は、重要な産業であることが併せて確認された。

2）本格調査内容の確認

² ECFA に対し計画の概要等を確認したところ、F/S を行うための予備調査を行い、その実現性を確認するとともに資金調達

本格調査の内容としては、以下の調査が必要であると提言を行った。

ア．地下水汚染

- ・ 既存データのレビュー
- ・ 水理、地質調査
- ・ 地化学探査
- ・ 汚染源調査
- ・ ボーリング調査
- ・ 汚染の広がりと環境への影響予測
- ・ 汚染防止対策調査
- ・ モニタリングシステムの確立
- ・ コスト分析、社会経済効果に焦点をあてた経済分析

イ．大気汚染

- ・ 既存データのレビュー
- ・ 地化学探査
- ・ 廃さい堆積場、プラントサイトの汚染源調査
- ・ 汚染の広がりと環境への影響予測
- ・ 汚染防止対策調査
- ・ モニタリングシステムの確立
- ・ コスト分析、社会経済効果に焦点をあてた経済分析

3) 銅製錬所拡張計画の確認

オマーン側は、ソハール製錬所が生き残るためには、設備増強を行い脱硫設備を導入するしかないと考えており、将来的には、生産量 60,000t/y 体制にしたい、とのコメントを得た。

4) 追加要請の取扱（廃さい等の再利用計画、ラカー金鉱山鉱害防止対策調査）

調査団側は、追加要請については本プロジェクトの対象外としたいとしたところ、

先にも関わらず目処が立っていないため、今後の進展に関しては現在のところ未定、との回答を得た。

オマーン側は、ラカー金鉱山の鉱害は同鉱山が今年中に閉山予定であるため急を要する、との回答を得た。

(2) 合意事項

- ・本プロジェクトに係る協議を行うためのオマーン国内関係機関から成るコミッティーを設立する。(構成機関は MCI、MRME、MWR、OMCO)。
- ・各種環境モニタリングの管理に係るオマーン側の責任体制を確立する。
- ・選鉱廃さい、ズリの再利用計画は、本プロジェクトの対象外とする。
- ・銅製錬所の拡張計画(20,000 t/y 40,000 t/y)に伴う汚染調査は、本プロジェクトの対象とする。
- ・ラカー金鉱山鉱害防止対策調査の取り扱いは、日本側が本邦にて協議し決定する。

**MINUTES OF MEETING
FOR
THE PROJECT FORMULATION STUDY
ON
MINE POLLUTION CONTROL
IN
SOHAR MINE AREA
SULTANATE OF OMAN**

**AGREED UPON BETWEEN
MINISTRY OF COMMERCE AND INDUSTRY
AND
THE STUDY TEAM
OF THE JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY**

The Project Formulation Study Team (hereinafter referred to as "the Study Team") organized by the JICA visited the Sultanate of Oman from February 26 to March 8, 1999 for the purpose of discussing the proposal submitted by MCI regarding the Study on Mine Pollution Control in the Sohar Mine area (hereinafter referred to as "the Study") with MCI, of the Sultanate of Oman (hereinafter referred to as "the Oman side").


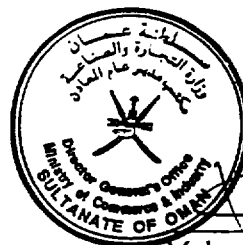
In connection with the above, a series of discussions were held, the Oman Side represented by Mr. Mohammed H. Qassim and Japanese side headed by Mr. Masayuki Chiba the leader of the Study Team.

The salient results of the discussion, mutually agreed are as attached.

Muscat, March 8, 1999



Mr. Masayuki Chiba
Team Leader,
The Study Team,
Japan International Cooperation Agency
(JICA)



Mr. Mohammed H. Qassim Al Yafei
Director General of Mines,
Ministry of Commerce and
Industry,
Oman

1. Position of the Study in the Development Policy

This study was a basic study for the possibility of the proposed project, which was submitted by the Oman Side in October 1998, concerning mine pollution control in the Sohar area. It is to be adopted as a development study of the JICA program. In this study, what JICA would be able to contribute was reviewed, the opinion of the Oman Side on the related laws, regulation systems and standards was confirmed, and the site condition was studied.

2. Necessity of the Study

In dealing with groundwater and air pollution problem generated from the Sohar Mine (Bayda, Aarja, Lasail and Lasail West mines, plant and tailing dam) located in the Sohar Municipal, research and actions have been carried out by the Oman side, however, these countermeasures do not have achieved enough remediating effect to the problems.

The Study Team and Oman side agreed that the groundwater and air pollution attributes to old mining activities and continual smelting activities in the Sohar Mine, and that the Study mentioned in Item 4 (below) is effective to identify contamination sources and to make appropriate recommendations for remedial countermeasures.

3. Implementing Agency

The MCI will act as the implementing agency, responsible for the Study, and will organize the committee consists of MCI, MWR, MRME and OMCO representatives (hereinafter referred to as "the Committee").

4. Scope of the Study

If the Study is adopted by the Japanese Government, the outline of the Study will be as follows;

[Purpose of the Study]

- (1) To identify contamination sources and their distribution
- (2) To clarify contamination mechanism
- (3) To forecast the dispersion of contamination, and its impact on the environment in the future
- (4) To propose further additional countermeasures to minimize the pollution sources
- (5) To establish a suitable monitoring system

↳Outline of the Study]

- Groundwater Pollution

- (1) Collection and review of existing information and data, including laws, regulations and standards, relevant to environment, mining and smelting activities, land use activities, socio-economic activities, etc.,
- (2) Geological, hydrogeological and hydrological investigations



- (3) Geochemical investigation, including soil, wadi sediment and plant
 - (4) Contamination source investigation at the tailing dump area, plant site and waste material dumped around the old mines
 - (5) Drilling investigation to identify hydrogeological structure and underground water contamination
 - (6) Geophysical investigation
 - (7) Evaluation of the dispersion of contamination and its environmental impact
 - (8) Study on remedial countermeasures, including alternatives
 - (9) Establishment monitoring system with conceptual database
 - (10) Economic and financial analyses focussed on cost estimation and socio-economic impact
- Air Pollution
- (1) Collection and review of existing information and data, including laws, regulations and standards, relevant to environment, mining and smelting activities, land use activities, socio-economic activities, etc.,
 - (2) Geochemical investigation, including soil, wadi sediment and plant
 - (3) Contamination source investigation at the tailing dump area and plant site
 - (4) Evaluation of the dispersion of contamination and its environmental impact
 - (5) Study on remedial countermeasures, including alternatives
 - (6) Establishment monitoring system with conceptual database
 - (7) Economic and financial analyses focussed on cost estimation and socio-economic impact

5. Discussion

To conduct the Study effectively, both sides requested some particular points concerning the Study, and gave comments to the requests from the other side.

5-1. Request from the Study Team

- 1) The Committee of the Study organized by MCI should be the place of official discussion about the result of the Study. The organizations on the Oman side (MCI, MRME, MWR and OMCO) will express official comments to the JICA's study results, presented to the Committee from the technical and engineering viewpoints. Once results are accepted after the discussion at the Committee, there should be no further opposition and efforts should be made to implement the remedial countermeasures proposed from the Study.
- 2) MRME and MWR, including their local branch offices in Sohar area, should agree to disclose the monitoring record and related information they have, in response to requests by Japan side.
- 3) The Oman side will decide the responsible body to manage the environmental monitoring system in Sohar area installed through the Study. This responsible body should be the local branch office of MRME or MWR in Sohar area.
- 4) The chemical analysis of the water, soil (including waste, tailing and dust) and air samples necessary for




the Study will be conducted at laboratory in Oman. The facility, equipment, budget and manpower required to conduct those analyses should be prepared by Oman side.

5-2. Commitment to 5-1 from Oman side

- 1) The Oman side understands this concept, however, the Oman side reserves the right to take appropriate decision with regards the recommendations proposed by the Study
- 2) And 3) MRME is the Government Authority responsible for the protection of the environment. All other Government Authorities are therefore, helping bodies. MRME will follow up this study from the beginning regarding observation and control programs.
- 4) The Oman side will make effort this matter to prepare enough budget to carry out

5-3. Requested from the Oman side

- 1) The Sohar Smelter/Refinery Rehabilitation Study

OMCO is now planning to expand the production capacity of Sohar Smelter/Refinery to 40,000t/y. Japan side should forecast the air pollution condition which results from completion of this expansion.

- 2) The Rakah Area

Since OMCO is actively engaged in gold mining in the Rakah area, it may be prudent for the Study to assess the current protection measures and propose any other appropriate environmental management for possible cyanide pollution caused by the tailings dam.

5-4. Comment to 5-2 from the Study Team

- 1) Agreed
- 2) Possibility of including this work in the Study will be considered within the Japan side.

The Team and the Oman side prepared the Minutes of Meeting, as described, in duplicate, to be signed by duly authorized representatives, as evidence of their full understanding of the contents. Each side shall keep a copy.



2 - 4 団長所感

(1) 本計画の意義

ソハール地区の銅鉱山は 1982 年より操業を開始し、94 年に閉山されるまでの間約 1,500 万 t の鉱石を産出した。また、同地区には銅製錬所も設置され、これは現在もなお操業中である。同製錬所内には選鉱所も併設し 94 年まで操業していた。この選鉱所では選鉱用水として海水を利用していた時期があり、十分な後処理を行わず廃さい堆積場に廃棄したため、これが浸透し地下水を汚染した。これが今回の調査の発端となったものである。

現在のところ、塩害のみが具体的な被害として現れているが、将来的には廃さい堆積場からの浸透水に各種重金属が溶け込み、これにより重金属汚染が発生することも考えられる。また、製錬所には排煙集塵設備、脱硫設備及び脱硝設備といった環境設備が一切なく、未処理のまま大気放散されており、これも環境問題として表面化する可能性を有している。さらに、ソハール地区から南西に約 200 km はなれたラカー金鉱山においても同様な問題として、廃さい堆積場からのシアン化合物漏洩による地下水汚染が懸念されている。

現在オマーン国では、銅製錬所の拡張や鉱山開発に対する外資の導入を画策しており、これらの問題を放置することは同国の鉱業そのものの存亡に係わる問題に発展する可能性を秘めている。MCI の Qassim 局長もこの点に関し強い危惧を抱いている。また、ソハール地区は同国有数の工業地帯として発展が見込まれており、人口の増加が予想されているため、塩害の対象者数も益々増加することが懸念されている。加えて国王も環境問題には強い関心を示していることから、当該計画の持つ意義は大きいと思われる。

(2) 現在までのオマーン側の取り組み

ソハール地区の地下水汚染問題に関しては、オマーン国側も過去に MWR や MRME 等が調査を行い、提言を行っている。

鉱山の運営主体である OMCO もソハール地区においては、MWR と共に地下水のモニタリングを実施するとともに、廃さい堆積場の下流に 2 カ所トレンチを掘り、そこで地下水を汲み上げ廃さい堆積場に戻したり、同地点に深さ 6 m の止水壁を打設するといった対策を取っている。また、ラカー地区においても、地下水のモニタリングを行うと共に廃さい堆積場に厚さ 2 mm のシートを敷き詰めシアン化合物の浸透を防止する対策を

取っている。

(3) 技術協力の意義及び可能性

(2)の対策を実施したものの、ソハール地区の塩害については当初の我々の予想を遥かに越えて下流域に広まっている可能性が示唆されており、現状で約5,000人強が塩害を受けているといわれている。従って、上記の地下水の汲み上げや止水壁等の対策は十分効果を発揮しているとは言えない。このままでは、最悪の場合同国第二の都市であるソハール市に住む約8万人が被害を受ける可能性がある。同市の沿海部では地下水の汲み上げ過ぎによる海水の地下水浸透による塩害も観測されているが、これらを全て鉱山からの被害と受け取られる可能性もある。そのような事態が生じた場合、同国の鉱業全体に与える影響は大きなものになることは容易に想像することができる。

また、汚染域の拡大を考慮すると、モニタリング地点に関しても現行の範囲を拡大し汚染の実態把握が急務であると思われる。大気汚染に関しても、現行の調査域を拡大し実態把握に努める必要があると思われる。

ラカー鉱山の廃さい堆積場はシートの敷き方に問題があり、シートが破れる可能性を含んでいる。しかも、日本のようにシートの下に集水用のピットがないため、シートが破れればシアン化合物を含んだ水が地下水に浸透し汚染することになる。また、シアン化合物の分析についても検出限界が10ppmと高く、シアン漏洩の有無の確認には十分とは言えない状態にある。

加えて、MWR、MRMEとMCI、OMCOの意思疎通が充分図られておらず、MWR等の提言が充分活かされていない。

以上の点を考慮し、本件に関しオマーン国を支援することは、同国の鉱業支援のみならず、同国国民の生活を守ることからも十分意義を有するものであると考える。

JICAが実施できる技術協力事項等としては次のようなものが考えられる。

地下水系の把握の拡充。

各種モニタリング施設の拡充。

各種分析に対する助言。

塩害拡張防止に関する対策の提言。

環境保全部門に対する人材育成、訓練プログラムの策定支援。

関係各機関の協力体制構築に関する支援。

ただし、同国は円借款や無償資金援助の対象国となることは難しいと思われるため、事業化に当たっての資金調達方法を考慮しつつ、本調査の実施が望まれる。

第3章 オマーン国の鉱業と環境政策

第3章 オマーン国の鉱業と環境政策

3-1 オマーン国の鉱業

オマーン国北部のオマーン山脈地域は、メソポタミアの時代には銅の主要な生産地であったことが知られている。この時代の銅の採掘、製錬はイスラム時代初期の西暦 940 年頃まで続いたと考えられている。この時代に稼業された銅の鉱床は、現在のラセイル鉱床や、ラカー鉱床と推定され、現在でもこの時代のものと考えられる多量のスラッグや製錬跡を見ることができる。

オマーン山脈地域において銅鉱床を主な対象とする近代的な探査は、1960 年代にカナダの Prospection Ltd.により始められ、現在知られているソハール地域のラセイル鉱床、ベイダ鉱床、アルジャ鉱床やラカー地域のラカー鉱床に対してこの時期にボーリング調査を含む探査が実施され、鉱床の賦存が確認された。

1970 年代にはオマーン国政府は、Prospection Ltd.の所有していた利権を買収し、ソハール地域の鉱山開発に着手した。この結果 1983 年、オマーン国政府の全額出資により設立された OMCO (オマーン国営鉱山公社) によりラセイルとベイダの両鉱山およびソハール銅製錬所の操業が開始された。

オマーン国政府は、このソハール製錬所に対し原料の安定供給を図るため、1984 年に国際入札によりソハール製錬所を中心とする 8,000k m²の範囲に対する銅鉱床探査を大手開発(株)に発注した。調査は 1987 年までの 4 年間、実施され、既知鉱床周辺において新たに鉱量を獲得するとともに、多くの鉱徴地を確認した。

一方、フランスの BRGM は、1983 年にオマーン国政府より北部オマーン山脈地域に対する地質図幅作成調査プロジェクトを受注し、1986 年までの間物理探査及びボーリング調査が実施された。この結果ハイル・アス・サヒル部落近くのゴッサン帯において塊状硫化物鉱床の賦存を確認した。

1988 年には、ハイル・アス・サヒル鉱床とラカー鉱床の開発の可能性を明らかにするため、オマーン国政府はその調査を日本政府に要請した。この要請に対して日本政府は、国際狭量区事業団及び金属鉱業事業団を通じて、この地域に対して資源開発調査・地域開発計画調査を実施し、その可能性を調査した。

一方、OMCO は、ラセイル、ベイダ両鉱床の鉱量が枯渇してきたことから、ソハー

ルへの原料供給のため、1988年にソハール地域のアルジャ鉱床の開発に着手したが、1993年にはこの鉱床も終掘しており、現在は海外からの買鉱により操業を続けている。そのため、新たな自国鉱山から原料を供給することが、オマーン国の鉱業政策の急務となっている。

このような背景により、オマーン国政府と OMCO は、引き続き国内鉱山開発のため精力的に探査活動を実施している。特に、ハイル・アス・サヒル鉱床に対しては、重点的に探査を実施しており、これまでにアルジャディード (Al Jadeed)、アルアスガー (Al Asghar)、アルビシャラ (Al Bishara) という3つの衛星鉱体を確認している。

また、1994年にはラカー鉱床の地表部のゴッサンを対象としてラカー金鉱山が操業を開始し、年間500kgの金を生産しているが、これも1999年末には終掘の予定である。

さらに、これまで実施した探査結果の見直しを行うため、オマーン国政府はオマーン山脈北東側の地域に対して1990年より1992年までヘリコプターによる空中磁気探査を実施し、鉱化作用に関連する磁気異常帯の抽出を行った。この結果に基づいた物理探査を主とする調査が1995年から開始され、国際協力事業団及び金属鉱業事業団による資源開発協力基礎調査もその一環として位置付けられている。

その他非鉄金属鉱床ではセメント工場用の石灰石の採掘のほか、ニズワ、スール周辺及びサララ周辺には、相当規模の大理石が賦存しており、その一部が日本にも輸出されている他、南部には石膏石が確認されていることから今後その開発が期待されている。

3-2 オマーン国の環境保全に対する取組

オマーン国は、環境保護に高い関心を向けており、様々な環境保護活動を行い、これまで UNEP の理事に3度選出されている。国内の環境政策は、1,700kmもの長い海岸線を有することから、海洋環境保全を中心に積極的に取り組んでいる。また、環境政策の大綱は国王自身が決定しており、特に環境担当国王顧問を置くなど、政府上層部の関心も非常に強い。1995年には、オマーン海域を通過するタンカーに対し、廃棄物を投棄した場合には最大100万ドルの罰金を課す等の規則を設定した。

環境を主管するのは地方自治環境省 (MRME) である。1984年設置の環境省と1985

年設置の自治省が、1991年に両省間の業務内容の密接化に伴い統一され、地方自治環境省となった。同省は国内全土への環境に配慮した地方自治の普及につとめ、地方自治体及び衛生局をその監督下においている。具体的な業務としては、インフラ、下水システムの整備など地方都市の開発に加え、環境衛生、公衆衛生、飲料水・食物の衛生及び安全管理、伝染病予防、廃棄物処理や有害食物の排除、飲食店やその従業員の衛生基準検査などの様々な業務を行っている。

本プロジェクトにおける環境関連機関は、上記の地方自治環境省（MRME）、水資源省（MWR）そして商工省（MCI）が関連しているが、MRMEが指導的立場にある。オマーン国内では、MRMEが発行する許可証がない限り、いかなる建設プロジェクトにも着手できないことになっている。同省は、許可証発行に先立ち、環境に与える影響や汚染抑制手段の検討を行い、新規の建設事業を管理する。

関連法規においては、大気、汚水、騒音等の様々な排出基準が設けられているが、環境基本法については制定されていない。現在、イタリア、カナダ等様々な国の環境基本法を勉強中であり、各国の良い点を採用した法律を作成したいと考えている。

また鉱業法については、1974年に制定されているが、現在新法を制定すべく準備中とのことであり、ドラフトと記入されたMCIの原案を入手した。なお、制定時期については、未だ確定していない。

第4章 現地踏査結果の概要

第4章現地踏査結果の概要

4-1 地域概況

4-1-1 位置および交通

(1) 位置

調査地域である OMOO の鉱山跡、廃滓堆積場および製錬所は、ソハール県ソハール鉱山地区内にあり位置等を図4-1-1 および図4-1-2 に示した。本地域は首都マスカットの北西約 230 km、ソハール県の県都ソハール市の西約 40 km、海岸（オマーン湾）から内陸へ約 30 km の丘陵地に位置している。

(2) 交通

マスカットからソハール、調査地域まで鉄道および航空機の便はないが、車によるアクセスはかなり便利である。

マスカットからはソハールを經由してアラブ首長国連邦（U.A.E.）のデュバイ（Dubai）へ向かう海岸沿いの大動脈路線が通じ、ソハールの北西約 15 km で本地域へ向かう幹線道路との分岐点ファラジ・アル・カバイル（Falaj Al Qabail）に達する。この分岐点から幹線道路（アラブ首長国連邦のアブ・ダビ（Abu Dhabi）へ通じている）沿いに南西方向へ約 25 km の距離に製錬所正門がある。

製錬所から各鉱山跡、廃滓堆積場へは未舗装の道路が通じていてトラックの運行が可能である。

4-1-2 地形 地質

(1) 地形

調査地域はオマーン国の北東部にあり、海岸線とほぼ平行に走る標高 1,000m を超える山脈の東部に位置する。河川の水流は降雨時の一時に認められ、常時は流れ滞りである。

鉱山跡地やプラントサイトは標高 250m 付近に所在し、東北東方向に流れる幾筋かの河川で開析されている。鉱山地帯を通る主要河川ワジスーク（Wadi Suq）の山間部からの出口では、標高 170m 付近を扇頂とする扇状地帯が北東方向に広がり、オマーン湾に面する海岸線近くまで約 30km をなだらかに形成している。鉱山付近から北東方向にかけて第四紀の各時期に形成された段丘台地も観察される。

(2) 地質

調査地域の地質は、先第三紀の地層・岩石が東から西へ低角度で大きく水平移動した押し被せ構造の産物（転移性）、サマイル・ナッペ (Samail Nappe) が基盤をなし、その東側の地形低所は第三紀後半から第四紀にかけての新しい堆積岩類に覆われる。サマイル・ナッペは超塩基性岩、塩基性岩からデイサイト質までの各種火成岩および三畳紀から白亜紀の時代の地層を異世性岩体として取り込む地質岩体で構成される。

ナッペの構成岩の中に橄欖性玄武岩床やクロマイト鉱床が賦存する。

断層系は南北～北北東 南南西系および北西 南東系が顕著である。

調査地域はオフィオライト (Ophiolite) を主体とした古第三紀及び第四紀堆積層で構成される。

鉱床は、オフィオライト中の転移性および現世性堆積岩帯中にキプロス型銅硫化物鉱床として賦存する。
(入手資料：地質図参照)

4-1-3 水系および地下水

扇状地および丘陵堆積層の中を、廃棄場を上流を持つワジスーク、ラセイル (Lasail) ・ラセイルウエスト (Lasail West) 鉱山跡を上流を持つワジジジ (Wadi Jiji) 及びベイダ (Bayda) ・アルジャ (Aarja) 鉱山跡地を上流を持つワジバニウマルガルビ (Wadi Bani Umar al Gharbi) が南西から北東方向に流下している。(図 4-1-2 参照)

これらのワジは、雨期 (11 月～3 月) の一部を除いて年間ほとんどが涸れ谷化している。各ワジ自体が涸沢のため、地表水と地下水の区分が明瞭ではなく、地下水の移動方向はワジの流れの方向と一致していると考えられる。

工業用水、飲料水ともにワジ沿いに設けられた井戸から供給されている。

4-1-4 気象および植生等

OMCO は、製錬所構内の西端 (事務所裏) に測候所 (海拔 261m) を持っていて以下の気象データは、ここで得られたものである。

(1) 季節

オマーン国は国土の 80% が砂漠、15% が山岳地帯である。

全体的に高温多湿の気候であるが、オマーン湾岸およびアラビア海沿岸地帯はモンスーン気候である。

1 年は 2 季に分けられ、4 月から 9 月までが夏、10 月から 3 月までが冬である。

(2) 気温および湿度

1日の最高、最低および平均の月平均値(1996年)を表4-1-1に示した。

日最高気温の月平均は、夏に40以上になることが多く、冬でも25を下らない。日最低気温の月平均との差は、通年で10以上あり夏には20近くになることがある。相対湿度は、概ね低く1日の中での差異がかなりあり、特に夏はその差が大きい。

(3) 降雨量

1982年からの月別降雨量の推移を表4-1-2に示した。

降雨量は、非常に少なく且つバラツキがあり、年雨量が200mmに満たない年が多い。降雨は、比較的短時日に集中する傾向があり、洪水を引き起こすこともある。夏季、特に5月から9月までは降雨量がゼロとなる年が多い。

(4) 風向および風速

1996年1月から12月までの日別データがある。これらを基に夏季、冬季別に風向および風速の分布を示すと図4-1-3のようになる。

これによれば、夏季は南または南東風が優勢で西北西および北北東の風がこれに次いでいる。冬季は西または北西風が優勢で北北東および南南東の風がこれに次いでいる。1日の中では、日中は海風(東風)、夜間は陸風(西風)となるのが通年の傾向であるとのOMCO側コメントがあった。日別最大風速は4 m/s以下が大勢を占め、夏冬による顕著な差異は見られない。

(5) 植生等

調査地域は、風化された土壌・岩石に覆われ荒涼とした土漠状の景観が連なっている。一部の灌漑地域を除き、低位灌木が所々に散在する扇状地湧水部に散見され、ワジに沿った区域に小さな灌木がわずかに見られる程度である。

海側方面に進むにつれ、徐々にまばらな草地が見られるようになり山羊等が放牧されている。ソハール市近傍には、井戸水灌漑による果樹園(椰子、レモン、マンゴー、西瓜)、野菜畑等が広がっていて、海沿いに比較的豊かなグリーンベルトが形成されている。

4-1-5 社会状況およびインフラストラクチャー

(1) 社会状況

製糖所周辺区域の人口については、1984年の調査結果しか得られていないが、これは図4-3-4に示されている。これによれば、製糖所から4km四方以内には部落はない。ワジ・スーク流域は、5km付近に約380人、20km付近に約550人、またワジ・アル・ジジ流域は、4km付近に約25人、10km付近に約60人の人口を有している。その他の周辺区域の人口は、製糖所から10km付近およびそれ以上遠くに分散している。

これら部落の主な生業は、山羊等の小規模な放牧とのものである。

海岸沿いにある、この地方の中心都市ソハールの人口は、1993年で85,857人とデータのがある。ソハールは、家畜飼育や果樹、野菜栽培の中心地で乳製品工場があり、また漁業も盛んである。近年、港湾および工業用地建設の話も持ち上がっていて、マスカット方面からの人口移動が増加の傾向にあるとのものである。

(2) インフラストラクチャー

1) 道路

国内は都市間道路網が発達し、中近東諸国へ通ずる多くの整備された直通道路がある。

製糖所正門前をアラブ首長国連邦との国境の町、ブライミ (Buraymi) 経由でアブ・ダビ (Abu Dhabi) へ通ずる幹線道路が通り、これは東端の海岸付近の分岐点ファラジ・アル・カバイル (Falaj Al Qabail) で、マスカットからソハール、シナス (Shinas) 経由でアラブ首長国連邦のデュバイ (Dubai) へ向かう海岸沿いの大動脈道路と接続している (図4-1-1, 図4-1-2参照)。

これら道路は、よく整備されていて交通渋滞もひどくないので、銅鉄、電気銅等の運搬に現在使われている大型トラックの通行には支障はない。

2) 港湾、工業用地

現在ソハールには港湾設備がないため、製糖所関係の原料・製品の運搬 (輸出入) には遠距離の陸送が不可欠で、これが輸送費のコスト高の原因になっている。但し、近年、港湾および工業用地建設の話も持ち上がっているなど、今後この地区は工業の中心地として発展する方向にある模様である。

3) 硫酸消費先

国内に適切な硫酸消費先がなく、これの先行きも不透明であることは、近い将来必要になるとされる排煙処理対策の実施にとって、大きなハンディキャップになるとと思われる。

4) ユーティリティ

製錬所のすぐ北側には、道路をはさんで天然ガス使用の発電所があり、その発電量の一部で製錬所の必要電力が賚られている。

必要な天然ガスは、パイプラインにより供給されている。

用水はワジ・アル・シジ流域の井戸水を使用していて質・量共に充分である。

5) その他

電話・通信網は比較的整備されつつある。

工作・修理関係は、工場内に自家補修・保全部門を持ち、外注工事についても特等の問題はない模様である。

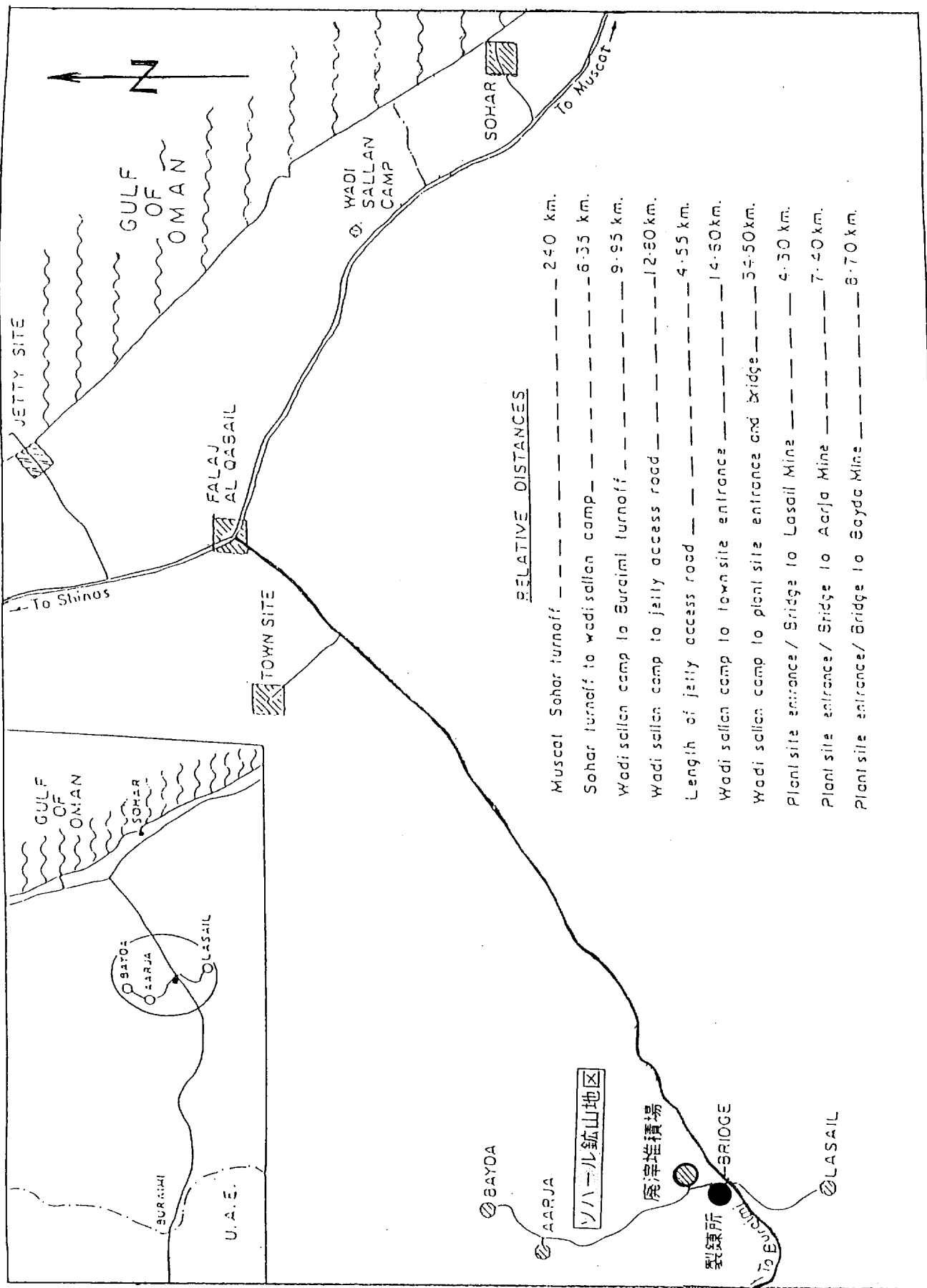


図 4-1-1 位置および交通概念図

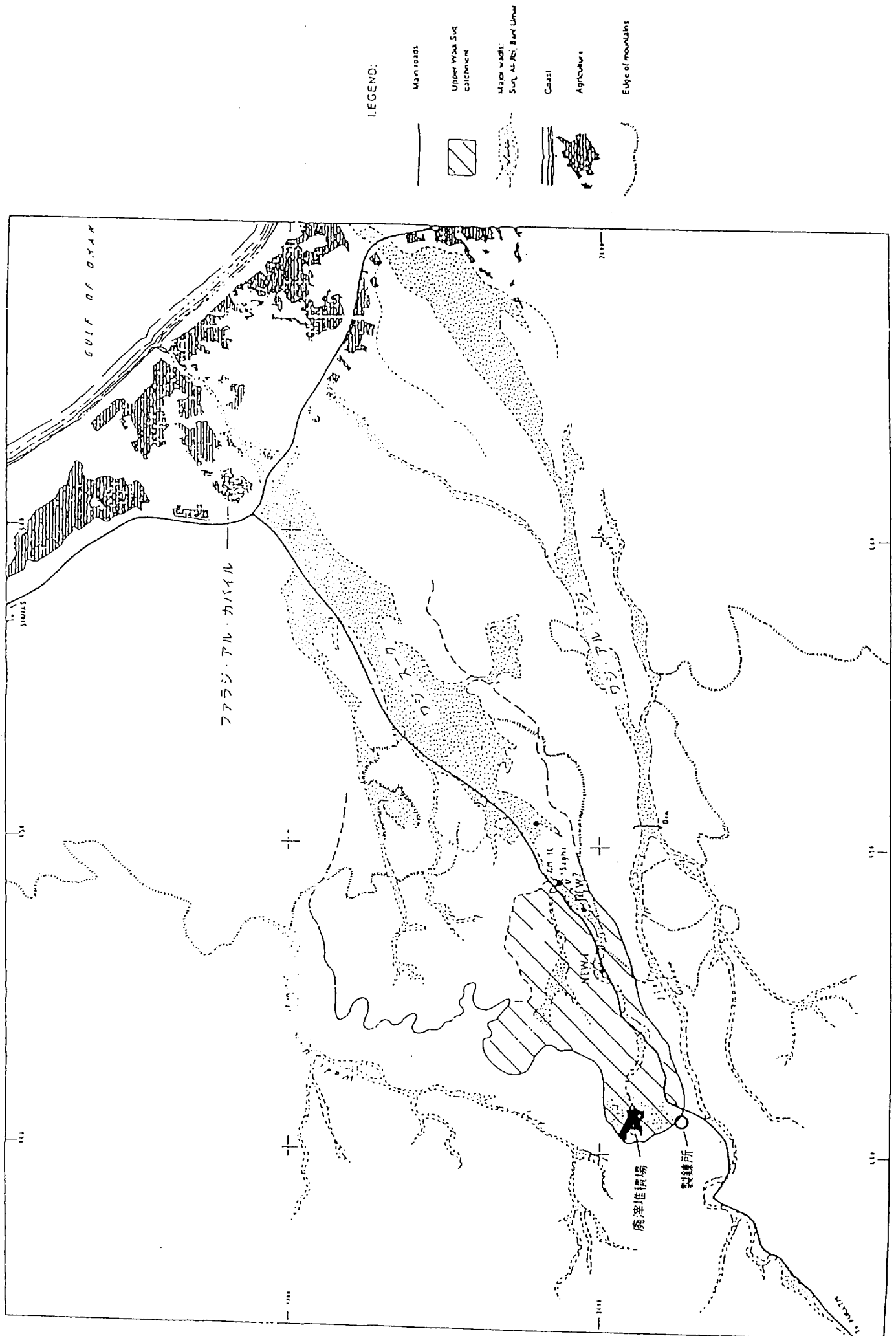


図4-1-2 調査地域水系図

1996年の風向および風速分布について下記のように表示したもの

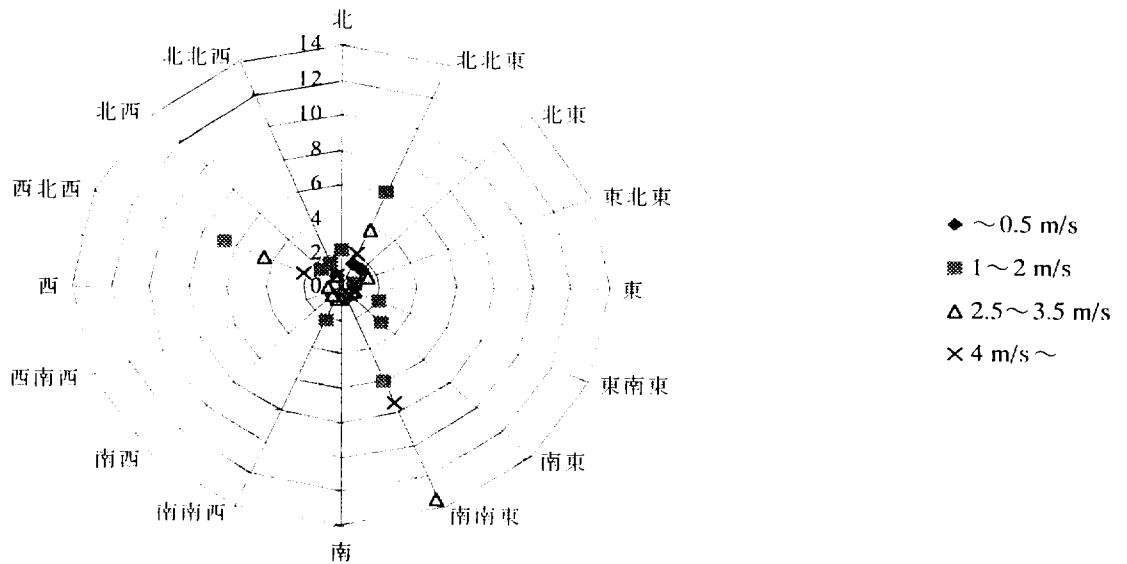
風向： 日別データによる優先方位日数の割合（単位：％）

風速： 上記の風向に対応した最大風速の風速段階別割合（単位：％）

季節： 夏季（4月～9月）および冬季（10月～3月）に類別

註）優先方位（風向）が認められなかった日数割合： 夏季 20%、冬季 16%

（夏季）



（冬季）

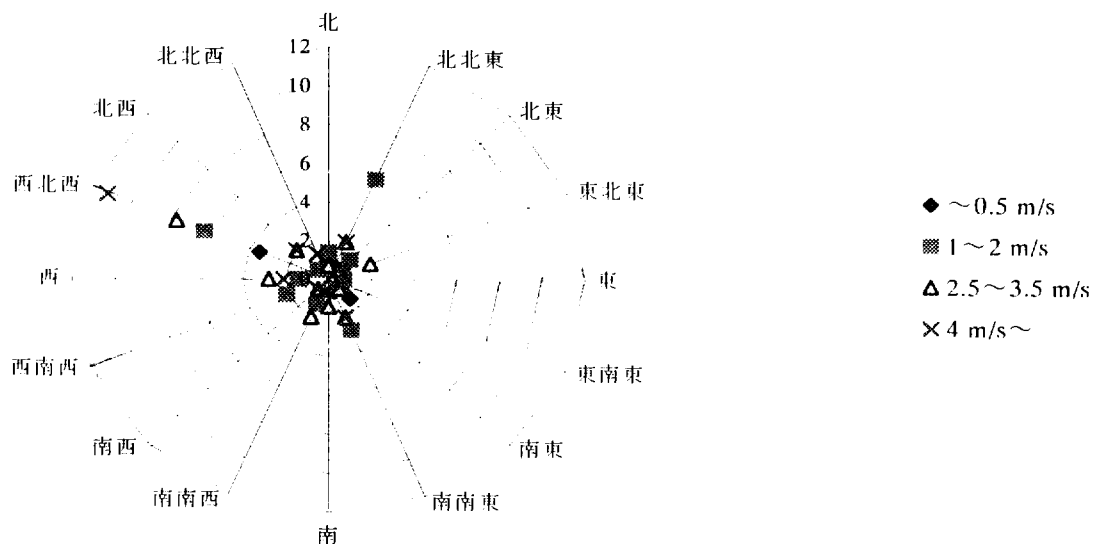


図4-1-3 風向および風速の分布（1996年）

表 4 - 1 - 1 月別平均気温および湿度

月別平均気温 (1996 年)
STATION NAME : OMCO PLANTSITE LOCATION : SOHAR COPPER PROJECT PLANTSITE
(単位 : °C)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
MONTHLY MEAN OF DAILY MAX	23.70	25.43	27.33	30.48	40.22	37.78	40.62	42.99	37.31	33.08	30.10	25.73
MONTHLY MEAN OF DAILY MIN	13.96	20.34	22.25	21.99	22.80	23.32	23.22	25.65	25.25	27.64	22.54	13.24
MONTHLY MEAN OF DAILY MEAN	18.83	22.89	24.79	26.24	31.51	30.55	31.92	34.32	31.28	30.36	26.32	19.49

月別相対湿度 (1996 年)
STATION NAME : OMCO PLANTSITE LOCATION : SOHAR COPPER PROJECT PLANTSITE
(単位 : %)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
MONTHLY MEAN OF DAILY MAX	95	100	27.33	76.08	78	78	79	92		96	77.00	85
MONTHLY MEAN OF DAILY MIN	48	32	22.25	15	6.00	10	10	16		27	34	34
MONTHLY MEAN OF DAILY MEAN	68	73	66.73	42.94	42.94	39.2	44.16	79.35	76.63	65	57.62	67.91

表4-1-2 月別降雨量推移

RAINFALL DATA - SOHAR COPPER PROJECT

(單位：mm)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
1982	16.10	133.80	63.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	22.10	236.60
1983	0.00	51.20	18.50	33.70	0.00	0.00	0.00	17.70	0.00	0.00	0.00	0.00	121.10
1984	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	2.40
1985	0.00	0.00	3.00	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	19.40
1986	21.50	8.20	14.20	1.40	0.00	0.00	0.50	13.30	4.50	24.30	0.00	0.70	88.60
1987	0.00	10.90	63.90	29.20	3.50	0.50	0.00	2.90	0.00	5.30	0.00	3.10	119.30
1988	0.00	263.20	0.00	20.60	0.00	0.00	21.40	0.00	0.00	0.00	0.00	25.70	330.90
1989	0.00	16.80	37.20	3.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	10.70	124.80	192.70
1990	20.10	91.20	0.00	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.20
1991	8.60	15.10	41.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	11.70	79.10
1992	31.50	31.10	4.20	56.90	0.00	0.00	3.50	0.00	0.00	6.40	0.00	4.80	138.40
1993	3.70	30.10	1.10	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	49.40
1994	45.30	0.00	5.20	0.00	0.00	0.00	0.90	0.10	0.00	30.80	2.60	0.00	84.90
1995	0.00	7.60	24.20	0.00	0.50	0.00	86.90	0.00	0.80	13.10	1.30	19.62	154.02
1996	109.00	12.90	75.85	0.00	0.00	0.00	4.20	0.00	1.00	0.00	0.00	3.00	205.95
1997	28.10	0.00	103.60	68.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.00	50.90	0.00	282.60
1998	37.20	47.30	0.00	33.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	122.50
1999	21.10												21.10

4-2 鉱山跡および集積所の概況

4-2-1 鉱山跡および廃さい堆積場

(1) 鉱山跡

1) 鉱物

ア．銅鉱物

銅鉱物としては、黄銅鉱 (Chalcopyrite) が主体であるが、コベライト (Covelite) 及び輝銅鉱 (Chalocite) が若干存在する。

イ．脈石

第三紀及び第4紀の花崗岩層を母岩とし、石英、長石、雲母等の非金属鉱物のほか、金属鉱物脈石としては、黄鉄鉱 (Pyrite) が多くを占めるが、他、方鉛鉱 (Galena)、閃亜鉛鉱 (Sphalerite) 等の鉛、亜鉛鉱物や若干の白鉄鉱 (Marcasite)、磁鉄鉱 (Magnetite)、赤鉄鉱 (Hematite)、針鉄鉱 (Goethite) 等の鉄鉱物が存在する。

2) 鉱山概況

調査対象地域のソハール (Sohar) 地区鉱山は、ベイダ (Bayda)、アルジャ (Aarja)、ラセイル (Lasail) およびラセイルウエスト (Lasail West) の4鉱山からなり、1982年から順次、坑内採掘 (ベイダ、ラセイル) と露天掘り (アルジャ、ラセイルウエスト) され、1994年に鉱量枯渇のため閉山した。

最終的採掘量は、15百万トンに達した。

3) 現状

いずれの鉱山跡も閉山時のまま放置され、露天掘り跡には水が溜まっている。

本調査ではこれらの溜まり水の水質を直接確認できなかったが、水資源省 (MWR) 及びオマーン鉱山公社 (OMCO) の調査資料では、ベイダ鉱山露天掘り跡の溜り水は低pHで重金属イオンが検出されている。また、坑内採掘跡の一部は崩落し、地表陥没を起こしている。

(2) 廃さい堆積場

1) 歴史

廃さい堆積場は、ワジ・スーク上流の分水嶺近くに設置され、鉱山・選鉱場の操業とともに1982年から

1994年までの間使用されていた。

2) 構造

同堆置場は、築堤側から放流する混合堆積去で操業されており、底層管渠、山腹水路ならびに切替水路を備えていない。廃棄捨て場として使用されており、いわゆる尾鉱堆置場(Tailing Dam)としての必要十分な機能を備えていない。

築堤には水抜き用の管が数カ所設置されているが、水位測定用の浸潤管は設けられていない。一方、堆積場内には8本の観測井が設けられ、ピエゾメーターによるモニタリングが行われている。(図4-2-1 参照)

3) 現状

現在、浸透水が発生しており、その浸透水は前述の調査資料によれば塩分および重金属イオンを含んでいる。この浸透水は、築堤直下に設けたトレンチ No. 1 及びやや下流に設けたトレンチ No. 2 (トレンチと呼ばれているが、埋め戻しされ、揚水井戸が設置されている)を利用して循環されている。

本調査において、簡易測定器具で塩分及び亜鉛イオンを測定した結果、調査資料に示されている数値ほどではないが0.1~0.2ppmの塩分、0.5ppm弱の亜鉛が検出された。

4-2-2 選鉱及び製錬

(1) 選鉱

1) 概況

ア. 歴史

ソハール(Sohar)鉱山選鉱場は、銅鉱山の選鉱場として、採鉱とともに1982年に操業を開始した。操業開始から1993年までの11年間は、用水として海水を使用し、1993年から1994年に操業を停止するまでの1年間は選鉱用水を地下水に切り替えて使用した。1994年には銅鉱量の枯渇により採鉱種別とともに選鉱操業を停止した。使用された海水は5百万m³と言われている。

イ. 操業規模

年間89,730トンの原鉱を処理し(予算は95,000トン)、3,659トンの銅精鉱(予算は3,654トン)を算出している(1994年)。

ウ．処理方法および系統

原鉱はジョークラッシャーで粗砕され、SAG（自生粉砕）ミルおよびペブルミルで磨砕された上で浮選された。浮選精鉱はドラムフィルターで脱水された後、キルンドライヤーで乾燥され製錬工程へ送られていた。

創業時のフローシートを図 4-2-2 に示す。

エ．操業成績

選鉱操業の最終年度である 1994 年の成績は、原鉱品位は 0.78%（予算は 0.8%）に対して、精鉱品位が 15.6%（予算は 17.3%）そして採集率は 84.7%（予算は 87.9%）であった。

（2）製錬

1）概況

ア、歴史

銅製錬所及び電解工場は、ソハール地区各銅鉱床の鉱石処理を目的としてこれら鉱床群のほぼ中心に、選鉱工場に隣接して設置され、1983 年にその操業を開始した。公称能力は年間 80,000 t の銅精鉱処理、年間 20,000 t の電気銅（カソード）生産となっている。

その後、ソハール地区鉱山の鉱量減少に伴い、1992 年から輸入銅精鉱が部分的に供用され始め、1994 年の鉱山閉鎖以降全面供用に置き換わり 100%の買鉱製錬所（カスタムスマルター）となった。

製錬所は、1983 年の操業開始以来、長期間の休止をすることなく操業が継続されていたが、電気炉関連の全面的保守のため 1999 年 2 月初旬より約 2 ヶ月間の予定で 16 年ぶりの長期操業休止に入っていた。この期間、電解工場は、積み上げ余剰アノードを使用して操業を継続していた。

イ、最近の操業実績

1998 年の操業実績は下記のとおりとなっている。

- ・輸入銅精鉱処理量 82,789 t（銅品位 30.8%、硫黄品位 30.5%）
- ・電気銅生産量 23,970 t
- ・電気炉スラグ産出量 62,824 t（銅品位 0.57%）

ウ、原料 製品の運搬

銅精鉱は、チリ、イラン等から輸入されているが、これらは、隣国アラブ首長国連邦のアル・フジャイラ (Al Fujairah) 港で陸揚げされた後、トラックで陸路 120km を製錬所まで運搬される (図 4-1-1 参照)。

産出電気銅は全量、トラックによりマスカットまで陸路 275km を運搬し、そこからヨーロッパ、インド、日本などに向けて輸出される。

2) 製錬プロセス概要

製錬所および電解工場のプロセスの概要は、以下に記載のとおりで、そのフローシートを図 4-2-3 に、工場レイアウトを図 4-2-4 に示した。

造粒鉱用の電気炉製錬去で、転炉、精製炉を経て通常の銅電解により電気銅を生産している。また、脱硫酸設備 (硫酸工場等) がないため各炉の排ガスは、そのまま煙突より大気放出されている。

ア、銅精鉱搬入・貯蔵・調合工程

大型トラックで製錬所に到着した銅精鉱は、屋外貯蔵場に搬入・貯蔵された後、必要量が調合ビンに搬送される。

イ、造粒工程

調合ビンからの銅精鉱に、繰り返し煙灰および造粒用バインダーを混合し、パン型造粒器によりペレットを製造した後、これを天然ガス燃焼式ドライヤーで乾燥し電気炉共用ビンに搬送する。

ウ、電気炉工程

乾燥ペレットは、フラックス (石灰石、珪酸塩) とともに電気炉脱酸から炉内へ供用され、3 本の電極により溶解、反応が行われる。

炉内反応の生成物は、熔融状態のマット、スラグおよび亜硫酸ガスを含む排ガスである。マットはレードリに抜き出し転炉へ運搬、スラグは、銅分低いため水砕後、系外へ抜き出し、排ガスは、炉外へ吸引される。

転炉工程で発生するスラグも電気炉に繰り返し返されて処理される。

エ、転炉工程

電気炉からのマットと珪酸鋳が転炉内に供用され、炉壁に設けられた多数の羽口から吹き込まれる空気により酸化反応が行われる。この結果、最終生成物は、熔融状態の粗銅、スラグおよび亜硫酸ガスを含む排ガスとなる。

炉を傾転させて溶融粗銅は、レードリに抜き出し精製炉へ運搬、スラグは、電気炉へ繰り返し処理、排ガスは、炉外へ吸引される。

電解終了後のアノードスクラップは、再溶解のためこの工程に繰り返される。

オ、精製炉・鋳造工程

精製炉内の熔融粗銅には未だ少量の不純物が残っているため、これらを天然ガス、空気を用いて除去し精製粗銅とする。この間に発生する排ガスは炉外へ吸引される。

続いて、精製炉を傾転させ熔融粗銅を円形ターンテーブル型鋳造機に注入してアノードを製造し、これを電解工程に供用する。

カ、電解工程

一般電解、種板電解、浄液電解の三工程から構成されている。種板電解で製造された薄銅板（種板）を一般電解槽へアノードと交互に挿入し、硫酸銅と硫酸銅溶液を電解液として一定期間直流電解し、種板表面上に銅を電着させカソード（電気銅）を製造する。この電解中に、アノードに含まれている金、銀等の貴金属は、アノードスライム中に濃縮される。

一般電解中にアノードに含まれている不純物の多くは電解液に溶出・蓄積されるため、常時少量の電解液を浄液電解により処理し、その際発生する電解廃液は石灰中和後、系外に抜き出す。

カソードは、洗浄後、所定枚数毎に秤量のうえバンド掛けし、出荷される。

3) 排ガス処理

ア、電気炉および転炉排ガス

電気炉および転炉からの排ガスは、それぞれの排ガス系に設けられているバレーン煙道通過時に流速減による沈降効果により、ガス中のダストの一部が煙灰として除去されるのみで、脱硫設備がないためそのまま煙突から大気放出される。この結果、供用原料中の全硫黄量の大部分（95%程度）が、高濃度のダストを含む亜硫酸ガスとして大気へ放出されていることになる。

(主煙突放出ガスの年間平均データ例)

亜硫酸ガス濃度	1~4 %
亜硫酸ガス放出量	47,850 t/年
ダスト濃度	0.3~0.45 g/m ³
ダスト放出量	1~2 t/日
主煙突高さ	100m+30m(工場のベンチュリー部) = 130m

バリエーション煙道で沉降除去されたダストは、電気炉煙灰および転炉煙灰としてそれぞれ造粒工程に繰り返される。

イ、捕集洩れガス、集塵排ガス等

電気炉周辺の洩れガスおよび精錬排ガスは、それぞれの小煙突から大気放出されている。

乾燥ペレットおよびフラックスのコンベアー運搬系の集塵ガスはスクラバー洗浄後、小煙突から放出。このスクラバーで回収された煙灰は、旧選鉱場内の精錬シクナー、ドラムフィルター、ロータリードライヤーを経て造粒工程に繰り返される。ロータリードライヤーからの煙灰乾燥排ガスは、小煙突から放出される。

造粒工程のペレット乾燥排ガスは、サイクロンで除塵後、小煙突から放出され、サイクロンの捕集煙灰は、造粒工程に繰り返される。

以上のとおり主煙突のほかに捕集洩れガス、集塵排ガス用等に5本の小煙突が設置されている。

ウ、硫黄バランス

1998年の年間硫黄バランスは、次のようになっている。

	S量 (t/年)	分配率 (%)	備 考
供用銅精鉱	25,284	100	鉱量 82,789 t/年
主煙突放出ガス	23,790	94.1	電気炉、転炉排ガス
洩れガス等	759	3.0	各小煙突放出ガス、製錬各 炉周辺の洩れガス等
産出水砕スラグ	735	2.9	鉱量 62,824 t/年 S: 1.17%, Cu: 0.57%
(産 出 計	25,284	100)	

4) 排水処理工程

ア、用水供給・使用量

用水は、ワジ・アル・ジジ (Wadi Al Jizi) に設けた専用井戸から供給されている。最近の年間水使用量は、製錬所および電解工場が76,000~80,000m³、保全・ユーティリティー部門他が70,000m³程度となっていて、生産部門の使用量が少ないのは、プロセス水全般の再循環利用の結果である。

イ、製錬所プロセス水(一部ユーティリティー部門を含む)

旧選鉱場の尾鉱シクナーをバッファータンクとして利用し、蒸発分が多いこともあり、適宜、中和処理のうえ全量再循環を行っていて、熔錬工程プロセス水系からの所外への排水は生じていない。

ウ、電解工場プロセス水

再循環利用が行われていて、唯一の工場外排水は浄液電解からの電解廃液(硫酸、重金属等含有、1~2m³/日)である。これは十分に中和後、パイタ鉱山跡近くの管理区域内に設けた不透水性化施工の蒸発池に運搬・処理している。

エ、事務所、分析室等排水

生活排水として、ソハール市の処理場へタンクローリー運搬している。

オ、雨水

雨水の集水溝、排水溝等は設けられていない。但し、余程の降雨でもない限り工場外への流出はない模様。

5) 増産計画

ア、背景

MCI, OMCO は、製錬所が生き残るためには、設備増強を行、膨張設備(硫酸工場等)を導入するしかないと考えている模様。しかしながら硫酸の市場については、現在のところ全く当てがえない状況にある。

今回のプロジェクト調査団は、増産計画実施後の「環境への影響」についても併せて本調査の対象にして欲しい旨、要望された。

イ、増産計画立案の進捗状況

OMCO の基本構想に基づいて、トーメン、日揮、メスコの日本3社が検討を始め今年3月末に報告書を提出することになっていた。

この報告書は、プレF/S、更に本格F/S へと進む価値があるか否かを判定するためのもので、この意味合いからは増産計画立案は、全くの初期段階と言えます。

ウ、OMCO の基本構想

電気銅生産能力：現状20,000 t/年 40,000 t/年

銅精鉱は全量輸入鉱とし、国内鉱は当てにしない

大気環境改善策：硫酸工場および付帯除塵設備の新設（電気炉、ISA 炉、転炉の排ガス処理）

製錬設備増強：ISA 炉（中古品）の設置（銅精鉱溶解能力の増強）

現存電気炉は銅精鉱の溶解炉およびスラグのクリーニング炉として使用

現存転炉、精錬炉および鑄造機は能力があるので増強を行わずそのまま使用

電解設備増強：ISA 式電解去への全面切り替え（電解槽等設備増設の最少化）

OMCO は40,000 t/年増強の後、酸素富化空気法の導入等により更に60,000 t/年体制とすることを考えている。

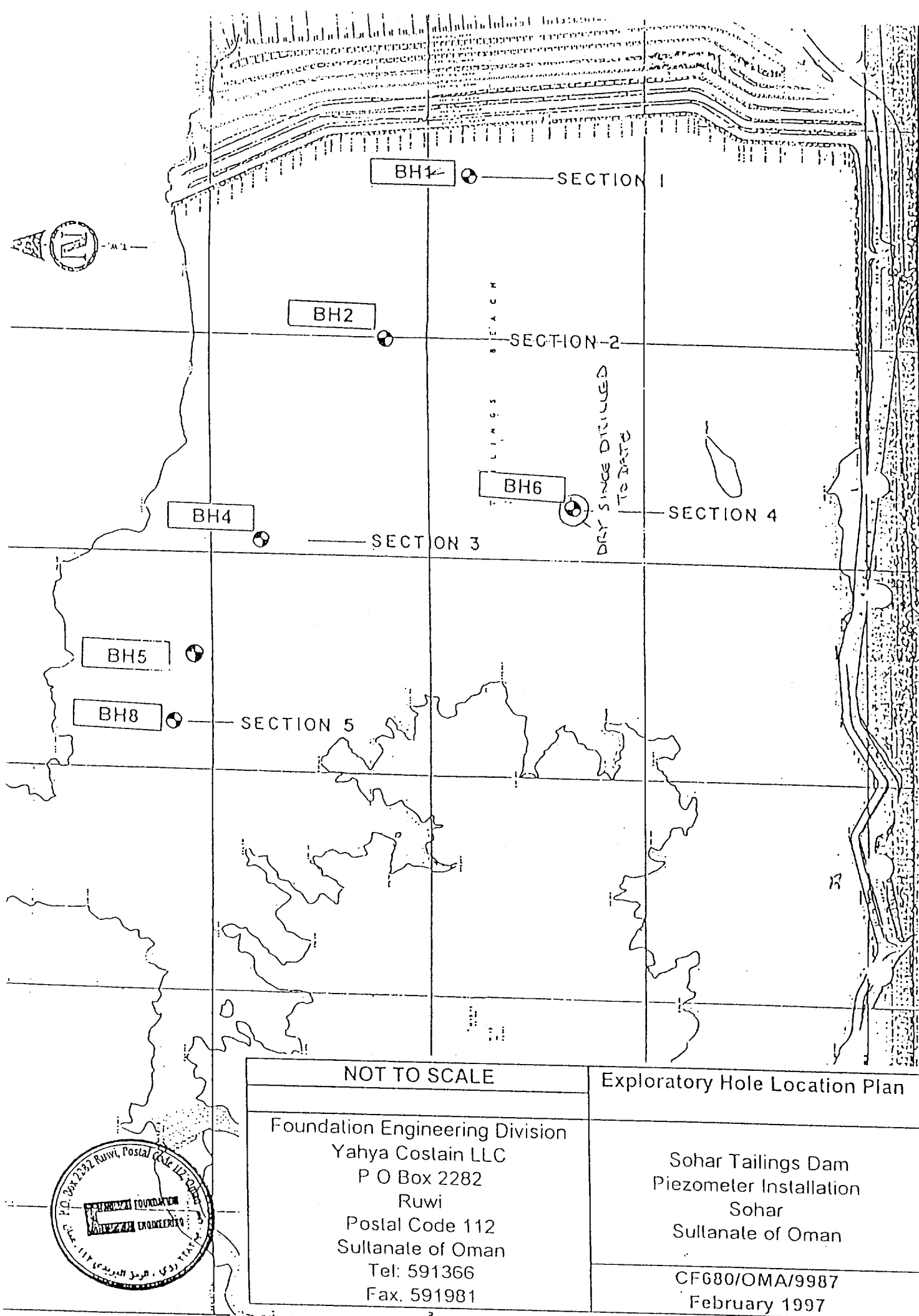


図4-2-1 モニタリング井戸位置図 (廃滓堆積場内)

OMCO CONCENTRATOR FLOWSHEME

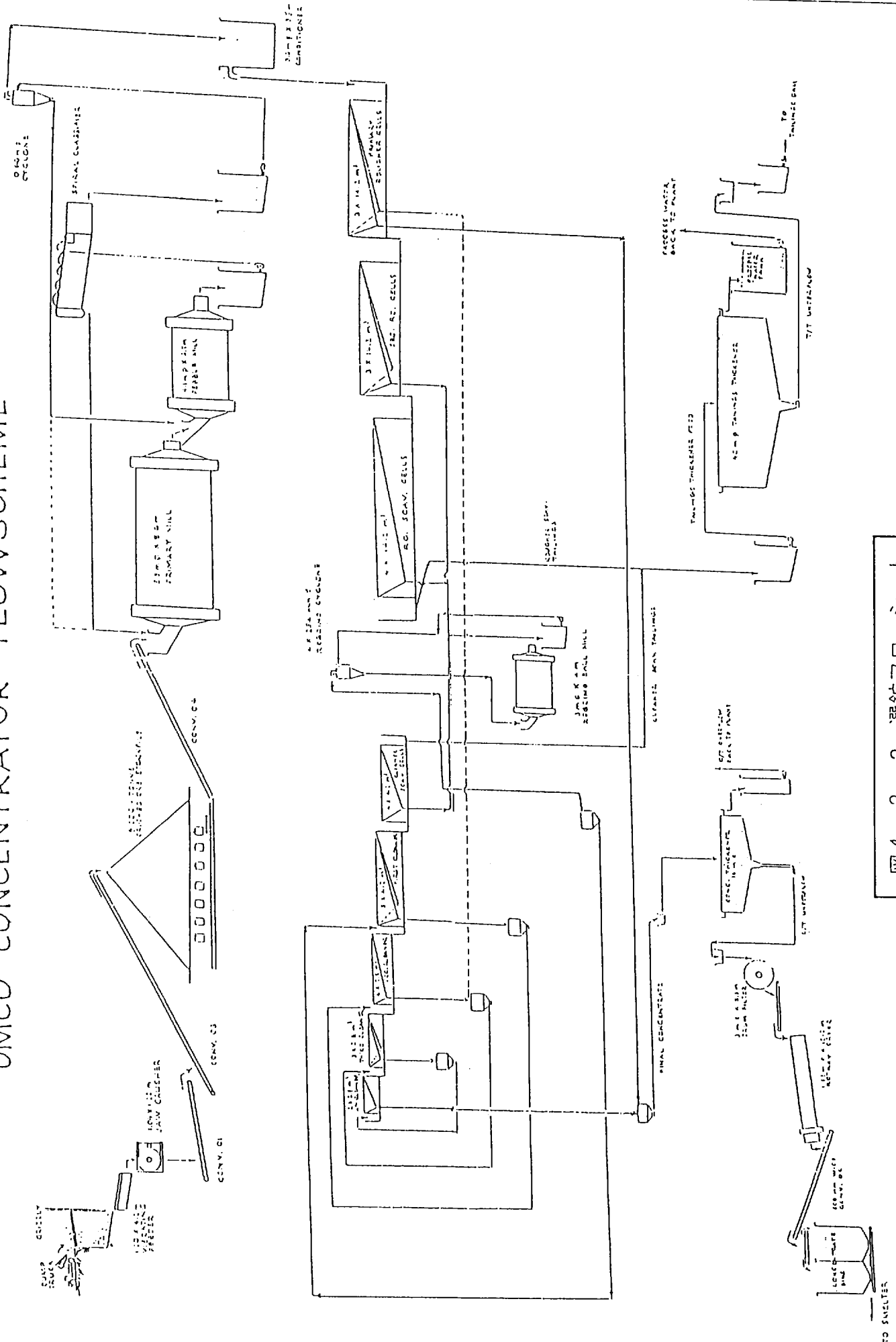


図 4-2-2 選鉱フローシート

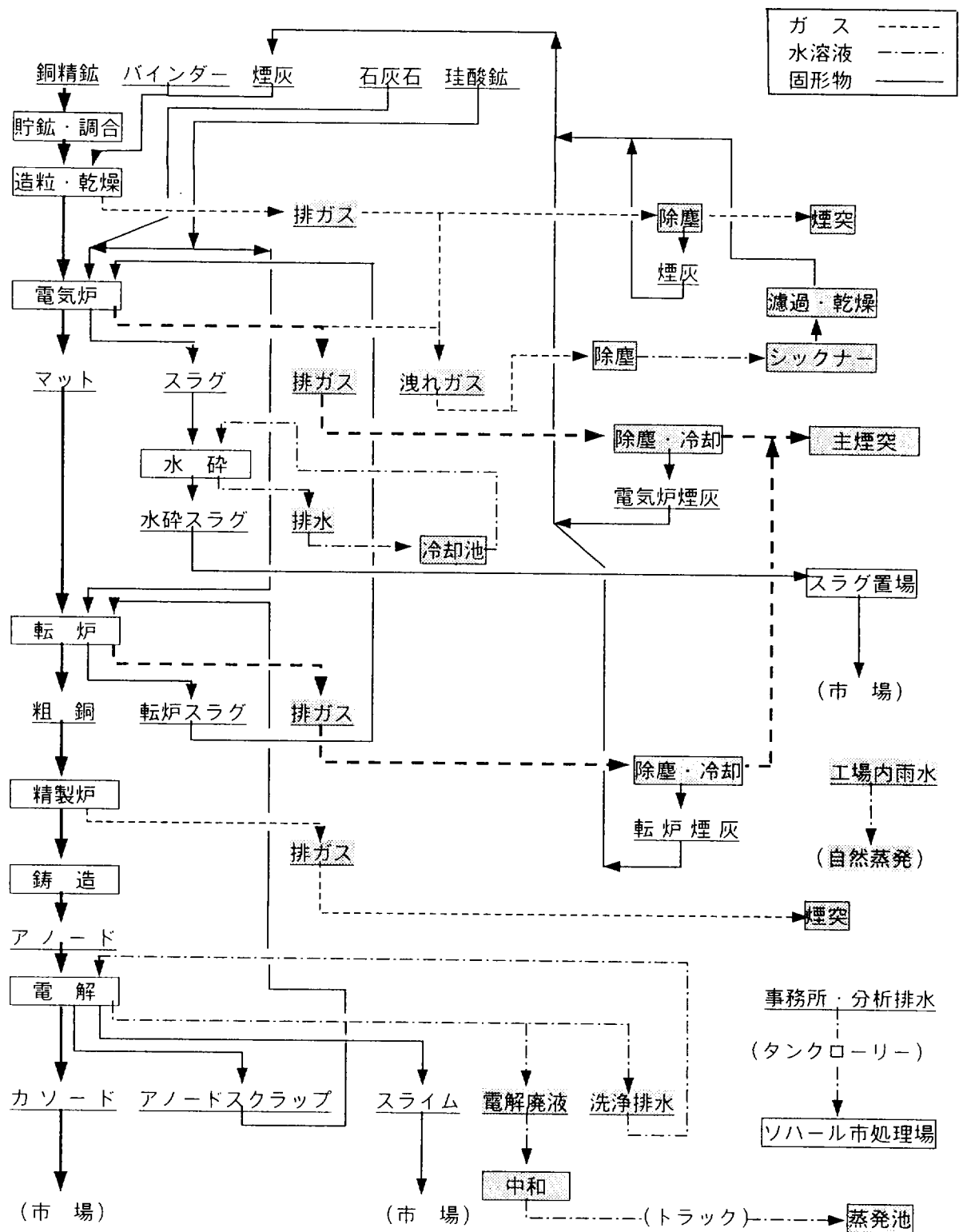


図 4-2-3 銅製錬フローシート

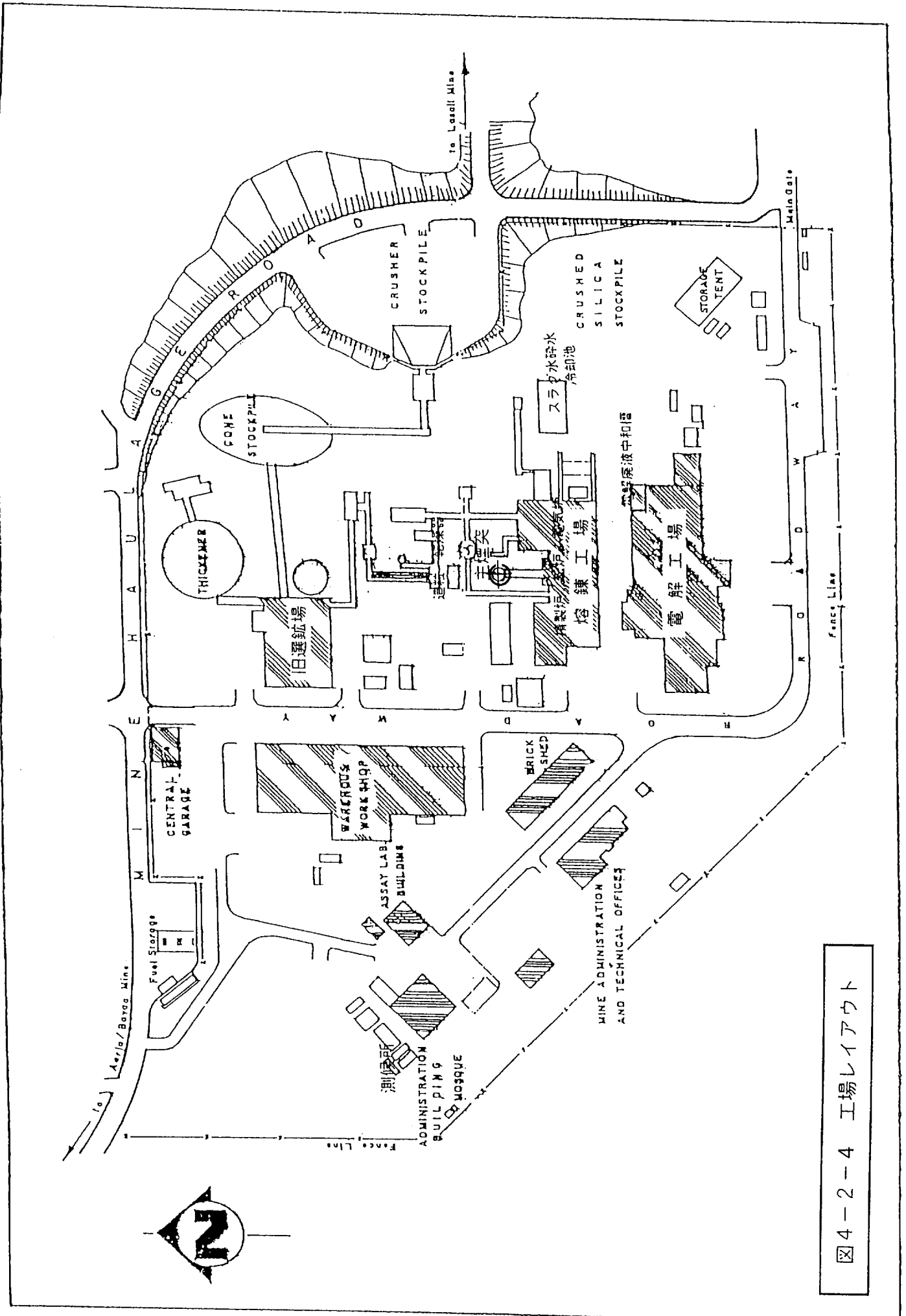


図4-2-4 工場レイアウト

4-3 汚染状況

4-3-1 地下水

オマーン北部のソハール市周辺一帯では、地表に定常的な表流水が存在しないことから、全ての水資源を地下水に頼っている。従って地下水の汚染は住民の生活に直接的な影響を与える深刻な問題になり得る重大な問題である。

(1) 汚染の状況

ソハール鉱山及び精錬所の開発・操業に関連して発生した、あるいは発生が危惧されている地下水汚染としては、以下の二件が挙げられる。

ワジ・スーク沿いの地下水の汚染（塩分濃度上昇）

銅鉱石採掘跡地周辺の地下水の汚染

は既に実際の汚染が進んでおり、早急な対策実施が求められているのに対し、は今後発生する可能性があるという認識から現地の状況が定期的にモニタリングされているものである。

現在、MRW（水資源省）、軍、MCI（商工業省）傘下の OMCO（オマーン鉱山公社）等がそれぞれ主要点に観測井を設け、地下水汚染の状況をモニタリングしている。（図 4-3-1、4-3-2、4-3-3 参照）

以下に、今回の調査で把握されたこの二件の地下水汚染に関する最近の状況を取りまとめる。

1) ワジ・スーク沿いの地下水の汚染

ア．汚染発生の経緯

ソハール銅精錬所が 1982 年にラセイル鉱山で採掘される銅鉱石を用いて操業を開始した当時、この周辺では鉱石の破碎・選鉱に必要なプロセス水を賄える地下水源が確保されていなかったため、約 30km 離れたソハール市北方の海岸からパイプラインで導水した海水が利用された。それ以来 13 年間工業用水として海水を使用し、銅鉱物を分離した後の廃滓スラリーは、海水起源の NaCl 等の塩分を多量に含んだ状態のまま廃滓堆積場に堆積された。廃滓堆積場は精錬所の北側を東へ流下するワジ・スーク源頭部の浅い谷を堰き止めたもので、堆積量の増大に伴い内盛り式に嵩上げされた結果、下流側（東

側)と右岸側(南側)の二面が堤体で囲まれる形になり、堆積面の平面積が約 50 万 km²、堆積された廃滓の総量は約 1100 万 m³に達している。プロセス水は 1993 年までに海水から地下水に切り替えられたが、その間に合計約 500 万 m³の海水が使用され、堆積場に廃棄されたと言われている。翌 1994 年に自山鉱の選鉱処理自体が停止されて以降は、新たな廃滓の堆積も行われていない。堆積場には底設暗渠や切替水路が設けられていないため、谷の上流からの表流水は場内に直接流入する。表流水は年に数回の降雨時にしか発生せず、操業停止後も場内上流端に残っていた溜まり水の池も現在は消滅し、堆積表面全体が乾燥した状態になっている。しかし、堆積場を中心にワジスーク上流地域全体に高濃度の塩による地下水汚染が広がりつつある。ワジスークはソハール鉱山周辺を源流とし、東北東方向に約 30km 流れ、オマーン湾へ注ぐ。下流側(東側)かん止堤のすぐ下には、谷に直交して深さ 3 m ほどの集水トレンチ(トレンチ No. 1)が開削されていて、かん止堤基部からの浸透水がトレンチ内に湧出している。この水は操業開始当初から高い塩分濃度を示しており、ポンプアップされて堆積場内へ返送されている。このトレンチ No. 1 からその下流 500m までの範囲に点在する地下水観測井(MW- 1 , 3 及び 4)が廃滓堆積開始と同時(1983 年)に設置されていることから、かん止堤から洩れ出てくる NaCl 等の海水成分を含む浸透水をトレンチ No. 1 で全て捕捉することにより下流に拡がるのを食い止める算段であった事が伺える。

しかし実際には 1983 年の観測開始以降、トレンチ No. 1 内の水のみならず、その下流の観測井の地下水の塩分濃度も急速に上昇した。更にその数年後には、ワジ・スーク沿いに更に数 km 下った付近の表流水や井戸水の塩分濃度まで上昇し始めた。堆積場直下に設けられた観測井(MW シリーズ)の中には 10,000ppm を越える Cl 及び Na 濃度が観測されている井戸がある。堆積場から約 13km 下流のシンラート(Sinlât)村に設けられた給水兼観測井(井戸 No. KM14)においても、近年、塩分濃度が上昇しつつある。KM14 から約 2km 下流の観測井 WS8 でも 600ppm を越える Cl 及び Na 濃度が観測されている。さらに下流の人家密集地であるファラジ・アル・カバイル(Falaj Al Qabail)地域に達するのも時間の問題であろう。

こうした事態に対処するために、1992 年に OMCO はトレンチ No. 1 からワジ・スークを約 1 km 下った場所に、カーテングラウト工法による深さ約 5 m の地下遮水壁と、その上流側に深さ 9 m の集水ドレイン付き揚水井(トレンチ No. 2)を設置した。この位置は

ワジ・スークの谷幅が狭まる部分であり、ここで谷を埋める沖積層の中を流下する塩分濃度の高い地下水を堰き止める事が、この対策の目的であった。揚水井から汲み上げられた地下水は、ポンプにより上流のトレンチ No. 1 に送られ、ここからトレンチ No. 1 の水と共に堆積場内へ返送される。この対策により、ワジ・スーク下流での地下水の塩分濃度上昇は食い止められるものと期待された。

実際に、以前よりトレンチ No. 2 の近傍に設けられていた MW- 3 孔の塩分濃度は、それまで毎年数千 mg/l ずつ上昇していたものが、1992 年を境に横這いから徐々に減少し始めた。しかしワジ・スーク下流の井戸水の塩分濃度の上昇は続き、その範囲は更に下流域へ拡大していった。ワジ・スークは廃滓堆積場から約 10km 下流の峡谷部を最後に山地を抜けて海岸平野に到達し、段丘堆積物の低い丘の間を扇状地状に広がって流下する。従ってワジに沿って流下した地下水も峡谷部より下流では大きく面状に広がるものと予想され、ここまで来るともはや遮水壁等により流下経路を制御するような対策は不可能となる。1995 年に水資源省がまとめた報告では、既に塩分プルーム（塩分濃度の高い地下水の分布範囲）はこの峡谷部を越えて扇状地に達しており、その先端が廃滓堆積場より 25km ほど下流のファラジ・アル・カバイルの街（人口約 8000 人）の井戸水に達するのにも時間の問題であるとされている。

イ．現地調査時の状況

今回の現地調査では、地域の住民の話を直接聞いたり、生活井戸水の水質を直接測定するような作業は行えなかった。しかし、関係者による説明から、以下のような形で地下水汚染の影響が出ていることが明らかとなった。

廃滓堆積場から約 9 km 下流にあるシンラートの集落では、ソハール鉱山の操業が始まって数年後には井戸水の塩分濃度が上昇して飲めなくなり、それ以降住民は給水車で配られる水道水を飲用や炊事用に使い、井戸水は家畜の飲み水や生活用水（洗濯、掃除、植物への散水など）にのみ利用して来たとのことである。またワジ・スーク上流部左岸には廃滓堆積場とは別の谷を源頭に持つ枝谷があるが、これがワジ・スークに合流する手前の谷の中にある放牧用の井戸の水も高い塩分濃度を示すようになった。

井戸水の塩水化は次第にワジ・スーク沿いの更に下流にある集落にも拡大してきている。ソハール市の水道局の説明では、最近では廃滓堆積場から約 24km、海岸まであと 6

km 程度の付近を通る国道沿いにあるファラジ・アル・カバイルの街でも、近年多くの井戸で塩分濃度が上昇し飲用に適さなくなっているため、給水車による定期的な飲用水供給を行っているとのことであった。因みに 1995 年に水資源省がまとめた報告書においては、この街の井戸水には「廃滓堆積場からの塩分が到達している証拠は認められない」と判断されている。

ソハール市付近からマスカット市に至るパチナコースト地域においては、海岸沿いの沖積地に植生と集落が集中しているが、近年この海岸沿いで、地下水の塩水化(塩淡水境界の内陸侵入)が進んでおり、地下水利用や植生への影響が出始めているとの事である。ワジ・スーク下流部のファラジ・アル・カバイルの街の井戸水の塩分濃度上昇に関しても、本来この地区の地下水が海水の影響を受けていたと思われる比較的高い塩分濃度を示していた上に、この地区は近年特に集落拡大が進んだ地区で、これに伴い地下水汲み上げ量が急増しているという事実もある。そのため、地下水の塩分濃度の上昇という事実が、24km 上流にある廃滓堆積場と 6 km 先に広がる海との、いずれからもたらされたものであるかについて、客観的に証明するだけのデータは揃っていないのが現状である。

ウ．入手した水質データから見た汚染状況

今回の調査では、OMCO 及び水資源省より、ソハール精錬所の周囲からワジ・スーク下流部にかけて設置された地下水観測点(観測用ボーリング孔及び利水用井戸)における 1983 年以降の水質分析結果の提供を受けた。ただしデータは完全なものではなく、観測点や観測実施期間、分析項目等が一部欠落しているため、本報告では入手済みデータから汚染の概要を概ね把握する作業のみを実施した。

入手したデータの各観測点の採水年月日と TDS 測定値の具体的な数値を添付資料 5 に示す。

本件に関する既存データにおいて地下水中の塩分濃度の尺度として最も広く用いられているのが TDS (Total Dissolved Solid) という値である。この値は、水試料中に溶け込んでいる全ての塩類の合計の濃度に相当するもので、試料を蒸発させた後に残る固形物の総重量を測定し、これを元試料の体積に対して mg/l で示したものだと考えて良いとの説明であった。海水成分が混入したワジ・スークの地下水の場合、固形物の大部分が NaCl 結晶であることから、TDS の値は塩分濃度に概ね相当すると考えられ、またその

定義からすれば、試料の導電率(EC)の大きさともほぼリニアな関係になると予想される。入手したデータの中から、同一試料について得られた TDS とその他の測定値との間の関係を示したのが、図 4-3-5 である。これによると、TDS と EC との間には実際にほぼリニアな関係が認められ、比例係数も高い。一方 Na 濃度と Cl 濃度との間の相関関係は不明瞭で、これらと TDS や EC との間には一定の相関が認められるものの、単純な比例関係ではない。こうした性質は、ここで検討した試料グループに Na、Cl 以外の成分の濃度が異なる複数の地下水系から採取された試料が混在しているためであると考えられる。従って、バックグラウンド成分が均一な同一水系の地下水試料における塩分濃度の時間変化把握と地点間比較には、試料の TDS や EC の値が尺度として利用できると思われる。

そこで、オマーン側から提供された観測データのうち、ワジ・スーク沿いの幾つかの観測点について、今までに測定された TDS の値を時間順に並べてグラフ化したのが図 4-3-4 である。グラフには、ソハール精錬所において観測された月間降水量データも併せて示してある。

PS-1 は、ソハール精錬所の北西に設けられた地下水観測井である。この位置はワジ・スークの谷の廃滓堆積場より上流側にあたるので、その水質は廃滓堆積場からの浸透水の影響を受ける前の、バックグラウンドの値に相当する。1989 年半ば以降、週に一度の採水・分析が行われているが、1994 年まで TDS 値が 700 ~ 1,000mg/l 台で推移している。この水準は NaCl 濃度で 0.04%程度に相当するもので、この地域の地下水中の塩分濃度として特に高い値ではない。

これに対して、廃滓堆積場からの浸透水を集めているトレンチ No. 1 の水質は、1983 年の観測開始時点で既に TDS が 2000mg/l 近くになっており、その年の 8 月には 7000mg/l に上昇し、翌 84 年半ばに 10000mg/l を越え、その 1 年半後の 85 年末には 50000mg/l に達した。その後 TDS の値は横這いから緩やかな減少に転じ、近年では一部のスポット的な値の現象を除き、ほぼ 30000mg/l 台の前半に落ち着いて推移している。この値は NaCl 濃度に換算すると 10%程度となり、ほぼ海水並みの塩分濃度である。

こうした地下水の塩水化は、トレンチ No. 1 より下流のワジ・スーク沿いに設けられた観測井 (MW-1 ~ 4) においても認められた。トレンチ No. 1 のすぐ下流にある ME-1 孔及び MW-2 孔では、1983 年 3 月には TDS が 1000mg/l を下回っていたが、その後徐々に上

昇し、トレンチ No. 1 より約 2 年遅れて、1987 年末に 40000mg/l を越えている。これらより約 1 km 下流、トレンチ No. 2 の直前に設置された MW- 3 孔では、TDS の値が 1000mg/l を越えて上昇し始めるのが約 1 年遅れたが、1987 年末にはやはり 40000mg/l 近くまで上昇した。これらの値はその後も僅かずつ上昇し、1992 年前後に 50000mg/l に達したが、その後は若干減少し、近年は MW- 1 と 2 が 40000mg/l、MW- 3 が 35000mg/l 前後で安定している。

1993 年以降から記録のあるトレンチ No. 2 の揚水井の TDS の値は、当初 40000mg/l に達していたが、その後徐々に低下し、最近では 30000mg/l 前後になっている。またその下流左岸の枝谷中にあるり、トレンチ No. 2 と同時に観測が開始された MW-11 孔及び MW- 12 孔での測定値は、測定開始当初は 30000mg/l 前後であったが、この数年減少傾向にあり、最近では 20000mg/l 程度になっている。

廃滓堆積場からワジ・スーク沿いに約 9 km 下った、扇状地へ抜ける峡谷部の手前のシンラートの集落の井戸 (KM-14) では、1983 年以降定期的な水質観測が行われているが、当初 2000mg/l 前後であった TDS の値が僅かずつ上昇し、1986 年末に 3000mg/l に達した。その後しばらく値は横這いであったが、1988 年に入って急に上昇傾向が顕著になり、1992 年に 10000mg/l を越えた後、再び横這いに転じている。

峡谷部を過ぎて扇状地に入ってからワジ・スーク沿いには、周辺住民が利用する生活用井戸が散在する。この範囲の地下水の水質に関しては、詳しい時間変化のデータは入手できなかった。唯一観測値がある程度揃っており水質の時間変化が追跡できる J/P-4/5 孔 (廃滓堆積場から約 20km 下流、ワジ・スークが扇状地に出た後から海岸に達するまでのほぼ中間付近に位置する) の TDS の値 (一部は EC 値の記録を図 4-3-4 の TDS - EC 相関図の近似式を用いて TDS に換算している) は、1983 年以降 95 年までほぼ 3000mg/l 前後で推移していたが、最新の測定値(99 年 1 月)ではこれが 4400mg/l に上昇している。扇状地内の地下水全体が同様にこの数年間で塩分濃度が上昇しているかどうかについては、データが不十分であるため結論は出来ない。最新のデータを比較する限りでは、扇状地内の地下水の塩分濃度は、峡谷部より上流とは異なり、必ずしも廃滓堆積場に近い上流側ほど高く下流ほど低くなるとは限らない。例えば MW- 6 孔と 9 孔とは、扇状地の扇頂部付近に位置する井戸で、両者の間の距離は 300m 程度しか離れていないが、99 年 1 月に測定された TDS の値は、6 孔が 854mg/l、9 孔が 10477mg/l と、大きく異なっ

いる。恐らく扇状地中には深さや流下経路の異なる多数の地下水脈が存在し、そのうち特定の水脈だけに上流から流下してくる高塩分濃度の地下水が混入しているものと考えられる。

オマーンでは地下水の TDS の値の環境基準として 1500mg/l という値が設定されているが、扇状地中の井戸のうち今回最新の水質データを入手した水質モニタリング地点 14 箇所の中の 10 箇所で、既にこれを大きく上回る高い TDS の値を示している。ただしこれらのうちの幾つか（例えば J/P-4/5 孔）では、廃滓堆積場の影響をまだ受けていなかったと考えられる 1980 年代前半に既に基準を超える塩分濃度を示していたものもある。また海岸に近い井戸では、近年の高い塩分濃度が地下水の塩淡境界の内陸侵入の影響である可能性も否定できない。これらを明確にするためには、過去の水質測定記録のコンパイルと今後の水質変化の詳細なモニタリングにより水質の時間変化を細かく追うと共に、地下水中の微量成分の含有量の検討から塩類の起源を特定する試みがなされる必要がある。

エ．今後予想される影響

当面最も注目されるのは、ファラジ・アル・カバイルの街の井戸水が今後どの程度まで塩水化するかである。ワジ・スーク上流部では、選鉱プラントの操業停止以降、地下水の塩分濃度は数年間横這いで推移した後に僅かながらではあるが低下が始まっており、少なくとも上流部においてこれ以上塩分濃度が増すことはない予想される。ただし廃滓堆積場における抜本的な浸透水流出防止対策が採られない限り、上流部の地下水の水質の大幅な改善は有り得ず、ましてや向う数年～10年のオーダーで水質を精錬所の操業開始以前の自然の状態にまで戻すことは、もはや不可能に近いと認識すべきであろう。

一方で、上流部における塩分濃度の低下傾向は、廃滓堆積場から新たに供給される以上の量の塩分が、下流の扇状地に流出している事を意味しており、従って扇状地中を流下する地下水の塩分濃度は今後も更に上昇すると考えられる。特に扇状地においては、上流から供給される塩分の濃い地下水が特定の深さと経路に集中して流下している可能性があるため、個々の井戸における塩分濃度の変化を正確に予測することは難しい。

2) 銅鉱石採掘跡地周辺の地下水の汚染

ア．汚染の経緯

ソハール精錬所の周囲には、精錬所へ銅鉱石を供給していた4ヶ所の銅鉱山の跡地がある。廃滓堆積場のあるワジ・スーク源頭部の北側から北に下る谷（北方でワジ・パニ・ウマールの谷に合する）の付近に、アルジャ（露天掘り）とベイダ（坑内掘り）の二ヶ所の鉱山跡があり、また精錬所の南方、ワジ・スークの南を東に下るにあるワジ・アル・ジジの谷の更に南側には、その枝谷であるワジ・ラセイルの谷があり、その上流部にはラセイル（坑内掘り）及びラセイル西（露天掘り）の2つの鉱山跡がある。いずれも1990年代に入って次々に終掘・閉山した鉱山で、地表施設は既に撤去され跡地は整地されているが、ベイダとラセイルの坑内掘り跡地の地表には大きな陥没が生じており、またアルジャとラセイル西のオープンピットは底部に酸性水を湛えたまま放置されている。

これらの採掘跡の周辺には小規模な集落が散在しており、近隣のワジ沿いの井戸水を飲用及び放牧用に利用していることから、鉱山の操業がこれらの地下水の水質を汚染する可能性が危惧されていた。実際に、操業開始当初ラセイル鉱山の坑内からポンプアップされた酸性坑内水は中和処理の後周囲の谷に放流されていたが、これが下流の地下水の水質（Ca濃度など）に影響を与えたため、放流を中止した経緯もある。その後OMCOでは採掘跡周辺に水質観測ポイントを設け、1994年までに鉱石の採掘が全て終了した後も、定期的な水質分析を継続している。

廃滓堆積場直下及びベイダ、アルジャ、ラセイルおよびラセイルウエストの4鉱山周辺に設けられた観測井及びトレンチの水質分析結果から、Cu、Zn、Feに関してオマーン国の環境基準を越える値を示すデータが出ている。

ラセイル鉱山坑内水の問題以降、アルジャ鉱山とラセイル西鉱山のピット内の溜まり水（酸性化しており重金属濃度も高い）を除けば、観測ポイントの水質に顕著な汚染は見られず、ワジ・スークのような環境問題は発生していない。しかし近年になって、北方のベイダ鉱山の周囲のワジ沿いの井戸水の一部でTDSの値に上昇傾向が認められており、関係者の間ではこれが今後どう推移するかが注視されている状況である。

幸い、まだ全体に広がっていないが、塩分が高いために重金属の溶出が抑制されていることも考えられる。塩分対策後、重金属汚染が表面化することが懸念される。

イ．現地調査時の状況

ラセイル鉱山の地表陥没は、長径数百m、深さも最大で100m近いと思われる大規模なものである。一方ベイダ鉱山の地表陥没は、直径約50m、深さ数十m程度と思われる。いずれも周囲の崖はほぼ垂直で、塊状の鉱体を底部から抜き掘りした結果生じた陥没であると思われる。周辺のワジ沿いの浅井戸では深さ数mのところ地下水位面があるが、陥没内部に滞留水や地下水の湧出は認められない。

アルジャ鉱山のピットは直径300m、ラセイル西鉱山のピットは200m程度であると思われる。いずれも地表下100m前後のレベルまで青緑色の水を湛えており、ベンチ斜面の数個所には地下水湧出の痕跡が認められる。採掘中止以降、ピット内溜まり水の水質モニタリングが行われていたが、近年採水担当者が落石事故に遭って以降は作業は中断されているとのことであった。

ウ．入手した水質データから見た汚染状況

今回の調査で入手したのは、ラセイル、ベイダ、アルジャの各地区に設けられた地下水観測井（観測用に掘削されたボーリング孔及び既存の浅井戸）における、1998年の毎月の水質（pH, Cu, Fe, Cl, Sulphate, TDS）分析データである。またラセイルとベイダの幾つかの観測点での1996年以降のTDS値の推移を示すグラフも入手した。

データを見る限り、ラセイル地区の7ヶ所の観測点では許容範囲を越える汚染及び汚染進行の兆しは認められない。一方アルジャ地区の2ヶ所とベイダ地区の3ヶ所においては、pH, Cu, Feの値は他の地区と同レベルで推移しているものの、TDSの値が近年上昇傾向にある。例えばベイダ地区のNo.1孔のTDSは96年初頭には1000ppm以下であったが中旬以降上昇し始め、97年にはオマーンの環境基準である1500ppmを越え、98年初頭に2000ppmに達した後は概ね横這いで推移している（図4-3-6(1)）。同地区のNo.2孔では、当初より1000ppm前後の値を示していたものが、97年後半より上昇し始め、98年12月の時点で2500ppmに達している。アルジャ地区の2ヶ所については1998年以降のデータしか得られなかったが、いずれも2000ppmを上回る値で推移している。

これらの井戸の塩分濃度は、最近のワジ・スークで言うと、ワジが平地に出た先、鉱滓堆積場から8kmほど下った地域の井戸の値に相当する。従って実際には、これらの水については既に飲用出来ない等の問題が生じている可能性が高い。更に、TDS以外の水質データでは、アルジャ地区の2カ所とラセイル地区の1カ所（No.1B）の So_4^{2-} の値が

他より高い(図 4-3-6(2))。

エ．今後予想される影響

ラセイル地区においては、かつて稼行鉱山からの排水が地下水汚染を引き起こした経緯があるため、多数の観測点を設けた水質モニタリングが続けられているが、今のところ重金属、塩害いずれの汚染も発生している様子はない。

一方ベイダ、アルジャ両地区の地下水分析データからは、重金属汚染の発生を示す証拠は得られていないが、地下水中の塩分濃度が高くなっている事が明白である。両地区は共にソハール鉱山の鉱滓堆積場の北隣りの谷を源頭とし北へ下りアル・アルジャの部落付近でワジ・バニウマルアルガルビに合する谷沿いに位置していることから、その汚染源として、ワジ・スークと同様にソハール鉱山の鉱滓堆積場が疑われるところである。

これらの地区では観測期間が短いため、塩分濃度が未だ上昇途中であるのか、またはワジ・スーク上流部のようにピークを過ぎて横這いから若干の低下に転じているのかは不明である。またベイダ、アルジャの2つの採掘跡を起源とする重金属汚染を意識してか観測点の配置が採掘跡の周辺に限られているため、これらの地区を南から北に向かって貫流するワジに沿った地下水流において、ワジ・スークの場合のように鉱滓堆積場から下流に向けて時間と共に塩分ブルームが拡大する状況が発生しているのかも判断できない。

もし仮にこれらの地区においてもソハール鉱山の鉱滓堆積場を起源とする塩害が生じているとすれば、ワジ・スークのような汚染地下水の拡大を食い止める対策が施されていない以上、既存観測点での地下水塩分濃度は今後も上昇を続け、さらにワジの下流に向かって汚染が拡大する可能性が高い。これらの地区は鉱滓堆積場の浸透水が直接地下水となって流下する地形ではないため、最終的な汚染の程度がワジ・スーク並みにまで達する可能性は低いと思われるが、これは同時に、地形的に推定される地下水脈の経路を遮断するだけでは汚染の進行を食い止められない事を意味している。

従って、現状における汚染の度合いはワジ・スークに比べればはるかに小さいものの、将来的な汚染進行・拡大の可能性とその防止対策の困難さを考慮すれば、早急に汚染の実態の把握と汚染源の特定がなされる必要がある。

(2) モニタリング

前述のごとく、MRW、軍、OMCO の各機関がそれぞれ堆積場、鉱山跡並びにワジの主要な地点に観測井を設け、定期的に観測を継続している。

観測の指標(成分)は、pH、TDS、Na、S、 SO_4^{2-} 、EC、Cu、Fe、Zn、Cl 等であるが、常時観測されているのは TDS である。TDS (Total Dissolved Solid) は EC と比例相関にあり、分析の簡便性(導電率計不要、化学分析等)から EC の目安として利用されているオマーン独自の指標である。TDS に関しては、各機関ともに各観測井の膨大な時系列資料を保有しており、これらを整理して経時変化を把握することが出来る。

今回の調査では、残念ながら各観測井の柱状図を得られなかった。OMCO が掘削した観測井の深さは地表から 3.4m ~ 25m と井戸別にばらつきがあり、部分的には地表標高が下がっているにもかかわらず地下水水位が上昇しているデータもある(MW2、SP2 に対する MW3 等)。しかし、平均して、ワジの上流から下流に向かって地標高の低下に伴って地下水水位も追従して低下する傾向にあり、各観測井は一つの帯水層を追っていると見られる。

(図 4-3-7 参照)

(3) 対策

1) 塩害対策

塩害防止対策としては、個所別にそれぞれ下記項目が考えられるが、基本的には、汚染が進んでいるワジスークと用水・飲料水に利用されているワジジジとが明確に分離されていることが必要である。したがって、両ワジの分離の確立及びワジスークの対策を並行して進める必要がある。

一般的には下記に示す方策が考えられるが、検討する対策案を絞り込むためには、汚染の状況をさらに詳細に把握しなければならない。即ち、ボーリングの追加調査および水質分析調査が必要である。

ア．廃滓堆積場

- (ア) 山腹水路、排水路等の設置(表流水の流入防止、雨水浸透防止)
- (イ) 覆土、排水路の設置(浸食防止、堆積物の飛散防止、雨水浸透防止)
- (ウ) 集水井の設置、排水溝の設置(浸透水の排水)

- (エ) カーテングラウトの施工、地中連続壁の施工(地下水浸透・漏洩防止)
- (オ) その他

イ．ワジスーク上中流汚染地域

- (ア) 揚・集水井の設置(バリア井戸)
- (イ) 第二帯水層以下(非汚染帯水層)対象井戸の設置(代替水源)
- (ウ) 汚染帯水層地下ダム施工(遮水壁)
- (エ) コンクリートダム施工(遮水壁)
- (オ) その他

ウ．ワジスーク下流汚染地域及び将来汚染の恐れある地域

- (ア) 地下帯水帯(代替水源)
- (イ) 法的援助、情報公開
- (ウ) 坑内廃水処理(汚染水)

エ．廃鉱及び露天採掘跡

- (ア) 遮水壁(よう壁)の設置(浸透水防止)
- (イ) 埋め立て(廃石対策として崩壊防止)
- (ウ) 坑内充填(地盤沈下防止)

オ．被害者対住民施策

- (ア) 代替水源の手配
- (イ) 給水車による臨時給水手当
- (ウ) 情報の公開、周知
- (エ) 補償金・給付金等支援策の検討

カ．教育・啓蒙

2) 重金属汚染対策

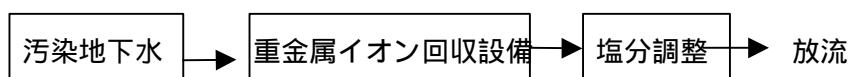
重金属汚染防止対策としては、以下のことが考えられる。

重金属対策をとるためには、塩害防止対策の他に、まず、重金属イオンの形態分析及び塩分低下による重金属の溶出に関するラボ試験による確認並びに解析が必要である、

その後、試験結果に基づいて、重金属イオンの除去システムの導入検討となる。

塩害防止対策の項で説明した各種対策は、重金属汚染防止対策としても適用できるものが多い。いずれの対策が現地に良く適合するかが今後の課題である。

なお、汚染された水を繰り返しても汚染の程度が増幅するばかりなので、汚染水を浄化の上、海へ返す下記システムの導入も検討対象とすべきではないかと考える。



幸い、山元と海岸線の間には、操業用水として海水を利用するために設置された配管が残っており、これを整備することで上記案の放流ラインに利用できる。

なお、海へ放流する場合には、海洋生態系への影響（成分のみならず、温度、投入流速等の要因を含め）も調査する必要がある。

4-3-2 大気

(1) 亜硫酸ガス

1) 主煙突放出排ガス（電気炉、転炉排ガス）

日本に於ける硫黄酸化物の排出基準は、全国を 16 の区域に分け、各区域毎に別々に定められた K 値により規制されていて、通常の K 値の範囲は 3.0 から 17.5 となっている。主煙突放出排ガスの亜硫酸ガス量について、入手したデータをもとに K 値を推定した結果を補遺 4-3-1 に示した。これによれば、日本で排出規制の最もゆるい区域（K = 17.5）と比べても、その規制値の 4 倍以上の亜硫酸ガスが放出されていることになる。

ここで用いた K 値推定の前提条件には、正確度において多少の問題はあろうが、日本の排出基準を大幅に越えた亜硫酸ガス放出量であることには間違いなさそうである。従って、もしも製錬所地域に先進国並みの排出基準が適用されれば、脱硫設備の導入

は必至となる。

2) 洩れガスおよび小煙突排ガス

製錬所内の洩れガスおよび主煙突以外の各小煙突からの排ガスによる影響は、製錬所およびその周辺の狭い地域に限定されるのが通常である。一般的に（特に洩れガス）亜硫酸ガス濃度が高いため、製錬所内の作業環境を悪化させ風向き次第では周辺近隣地域にも悪影響を及ぼす。近隣地域には、住民が居ないため実害はないであろうが、作業環境上は大きな問題となる恐れがある。

3) 着地濃度

ア、測定点、測定データおよび測定（分析）法

亜硫酸ガス着地濃度について、製錬所（主煙突）を中心として半径 10 km の区域内の 10 ヶ所の測定点に於いて、1985 年から 1998 年まで、年毎の日平均データ（累積分布の中央値および 98 % 値）がある。測定点（測 1 ~ 測 10）の位置を図 4-3-8 に、日平均データの推移を図 4-3-9 に、測定点毎の日平均データの最近の分布（1998 年）を図 4-3-10 に示した。

測定（分析）法は、移動式測定器による溶液導電率法であり日本で採用されている方法と同じである。

イ、日平均データ（累積分布）の推移

日平均データ（累積分布）は、 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の単位で示されていて ppm 表示との換算値は、 $26.3 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0.01 \text{ ppm}$ を用いている。

累積分布の中央値（50 % 値）は、全ての測定点および期間で日本の環境基準（ $0.04 \text{ ppm} = 105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）の半分、又はそれ以下を保っている。

累積分布の 98 % 値は、1990 年頃までは多くの測定点で日本の環境基準を大幅に上回ることがあったが、それ以降は、ほぼ日本の環境基準並みか若干下回る値で推移している。

これらの現象は、脱硫設備を持たない製錬所の周辺環境としては意外とも思える好結果と言えよう。

ワジ・スーク流域近傍の測定点（北東側 5 km の測 3、8 km の測 4）の 98 %値は、遠距離の方がやや低濃度になっていて排煙拡散の効果と考えられるが、ワジ・アル・ジジ流域近傍の測定点（東南東側 4 km の測 5、8 km の測 6）の 98 %値よりも一般的に高めに推移している。

その他の測定点の 98 %値には距離による濃度の差が比較的顕著に見られ、遠距離の方が低濃度になっている、例えば南西側 10 km の測 1と 8 km の測 2、北西側 4 km の測 7と 8 km の測 8など。

操業初期に高濃度が観測された測 3および西側測定点（4 km の測 9、8 km の測 10）は、その後ほぼ安定して比較的低濃度を維持していることから、これら高濃度の原因は操業初期特有の工程トラブルにあったものと推察される。

最近の状況（1998 年）は、図 4-3-10 から判るように測 2および測 9の 98 %値が、やや日本の基準を上回っている程度であるが、これらは、いずれも製錬所から見てワジ・スークとは反対側の西ないし南西の方角である。また、同図によれば一般的に距離による拡散効果が見られるが、東南東方向のみは、逆の現象を示して遠距離の濃度の方が高い値となっている。

ウ、1 時間値

1 時間値の測定データは得られていない。

銅製錬の熔錬工程は、転炉が間欠操業のため、操業中の転炉の排ガスと電気炉の排ガス（ほぼ連続）が重なった時、主煙突放出の亜硫酸ガス量（濃度）がピークとなるが、通常この現象は 1 時間値の着地濃度に反映される。

日本では、1 時間値の着地濃度についても環境基準が定められていて、0.1 ppm(263 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)以下に規制されている。主煙突放出後の排ガスにはダウンウォッシュ現象もあることから、前述の日平均データ（特に累積分布 98%値）から判断して、安定操業時でもこの基準を越える区域出現の恐れは充分あると考えられる。

エ、最大着地濃度およびその出現距離の推定

前述の補遺 4-3-1（K 値推定）の前提条件および日本の K 値規制の根拠となる拡散計算条件等から、極く概略の推定計算を行った結果を補遺 4-3-2 に示した。

これによれば、亜硫酸ガスの最大着地濃度は 0.46 ppm という高濃度、およびその出現距離は主煙突の風下側 7.4 km (但し風速 6 m/s と仮定) となっている。

この 0.46 ppm は、数分単位の平均濃度値であり、測定データ(日平均値)に対応している数値ではなく、1 時間値および日平均値は、これよりかなり低くなると考えられる。しかし、計算の前提条件等に問題があるとはいえ、最大着地濃度が日本の基準値を越える恐れは充分にあると思われる。

また、最大着地濃度の出現距離の推定結果を考慮すれば、今後は測定点の範囲(現状は製錬所を中心に半径 10 km)を大幅に広げて調査する必要があると考えられる。

(2) ダスト

1) 主煙突放出排ガス等

主煙突放出排ガスのダスト濃度は、0.3~0.45 g/m³ 程度となっていて、これは日本に於ける該当各炉(銅、鉛又は亜鉛の製錬用)のばいじん排出基準である 0.10~0.15 g/m³N を大幅に上回っている。

従って、もしも先進国並みのばいじん排出基準が適用されれば、排ガス冷却除塵設備(ガスクーラー/排熱回収ボイラー、バグフィルター、コットレル等)の導入強化が必要になる。

各小煙突排ガスおよび製錬所内洩れガスのダスト濃度も高い筈で、排出基準および作業環境基準の適用如何では適切なガス捕集・除塵設備設置の検討が必要になる。

2) 土壌への影響

主煙突から放出される排ガスには、平均 1~2 t/日程度のダストが含まれ、これには重金属等(銅、亜鉛、鉛、硫酸塩等)が濃縮されていて近隣地域土壌表面への沈積が当然考えられる。但し、ダストの地表面への降下量、表面土壌の組成等に関する既存モニタリングデータがないため、これらダストの土壌への影響の度合い、およびその範囲等については不明である。

主煙突以外の各小煙突からの排ガスおよび製錬所内の洩れガスによるダストの影響は、製錬所およびその周辺の狭い地域に限定されるのが通常である。一般的にダスト濃度は高く、ちなみに製錬所内には多くの個所にダストの沈積が見られた。

3) 地下水への影響

既に述べたように、製錬所および電解工場から工場管理区域外への工場排水はゼロであるが、近隣地域土壌表面および製錬所内に沈積したダストから雨水による地下浸透により、重金属類の地下水汚染の可能性は考えられる。

但し、降雨量が少ないのでこれらインパクトは大きくないものと思われる。

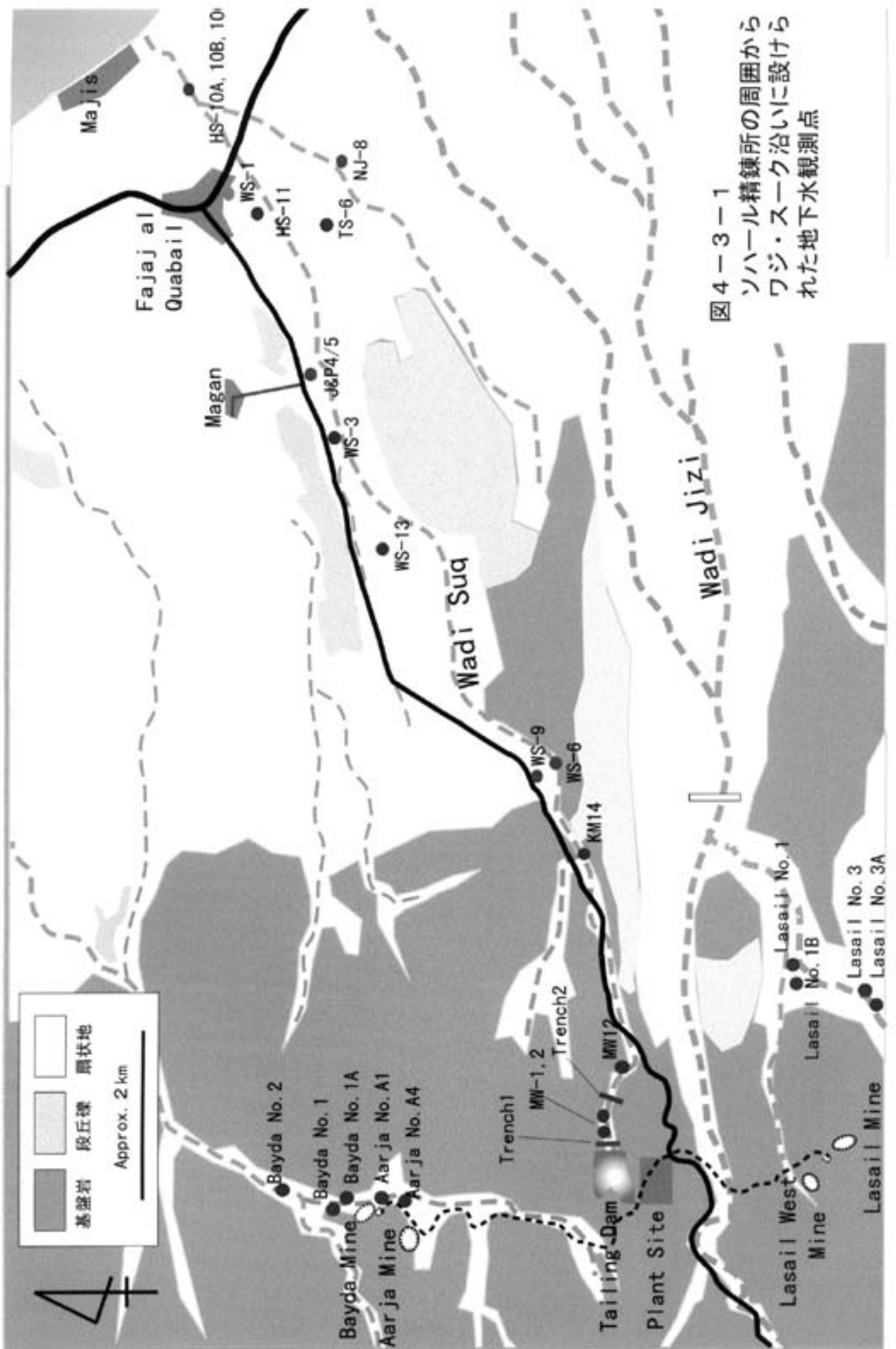


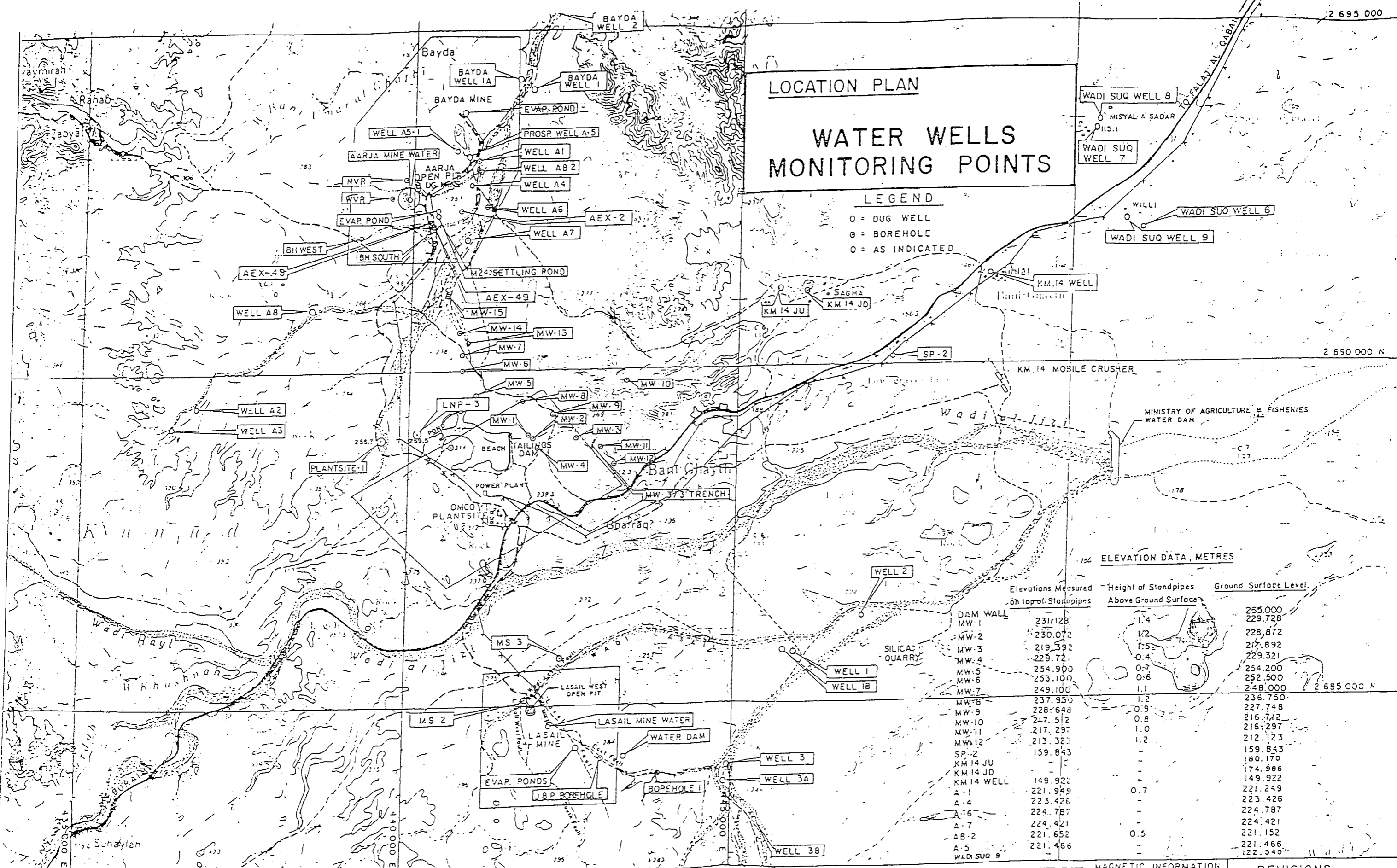
図4-3-1
 ソハール精錬所の周囲から
 ワジ・スーク沿いに設けら
 れた地下水観測点

LOCATION PLAN

WATER WELLS MONITORING POINTS

LEGEND

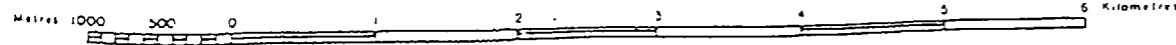
- = DUG WELL
- ⊙ = BOREHOLE
- = AS INDICATED



ELEVATION DATA, METRES

	Elevations Measured on top of Standpipes	Height of Standpipes Above Ground Surface	Ground Surface Level
DAM WALL	231.128	1.4	229.728
MW-1	230.072	1.2	228.872
MW-2	219.392	1.5	217.892
MW-3	229.72	0.4	229.321
MW-4	254.900	0.7	254.200
MW-5	253.100	0.6	252.500
MW-6	249.100	1.1	248.000
MW-7	237.850	1.2	236.750
MW-8	228.648	0.9	227.748
MW-9	217.512	0.8	216.712
MW-10	217.297	1.0	216.297
MW-11	213.325	1.2	212.123
MW-12	159.843	-	159.843
SP-2	180.170	-	180.170
KM 14 JU	174.986	-	174.986
KM 14 JD	149.922	-	149.922
KM 14 WELL	221.949	0.7	221.249
A-1	223.426	-	223.426
A-4	224.787	-	224.787
A-6	224.421	-	224.421
A-7	221.152	0.5	220.652
AB-2	221.466	-	221.466
A-5	122.340	-	122.340
WADI SUQ 9	-	-	-

SCALE 1 : 50,000

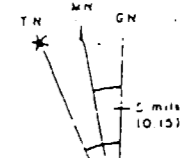


GRID DATE

Universal Transverse Mercator
 G.D. Zone 40
 Projection Transverse Mercator
 Spheroid International

図4-3-2
 モニタリング井戸位置図
 (鉱山周辺)

MAGNETIC INFORMATION



REVISIONS

No	Detail	Date
7	Updated	21.10.92
8	Updated	30.06.93
9	Updated	23.11.93
10	Updated	12.01.94
5	Updated	22.05.92

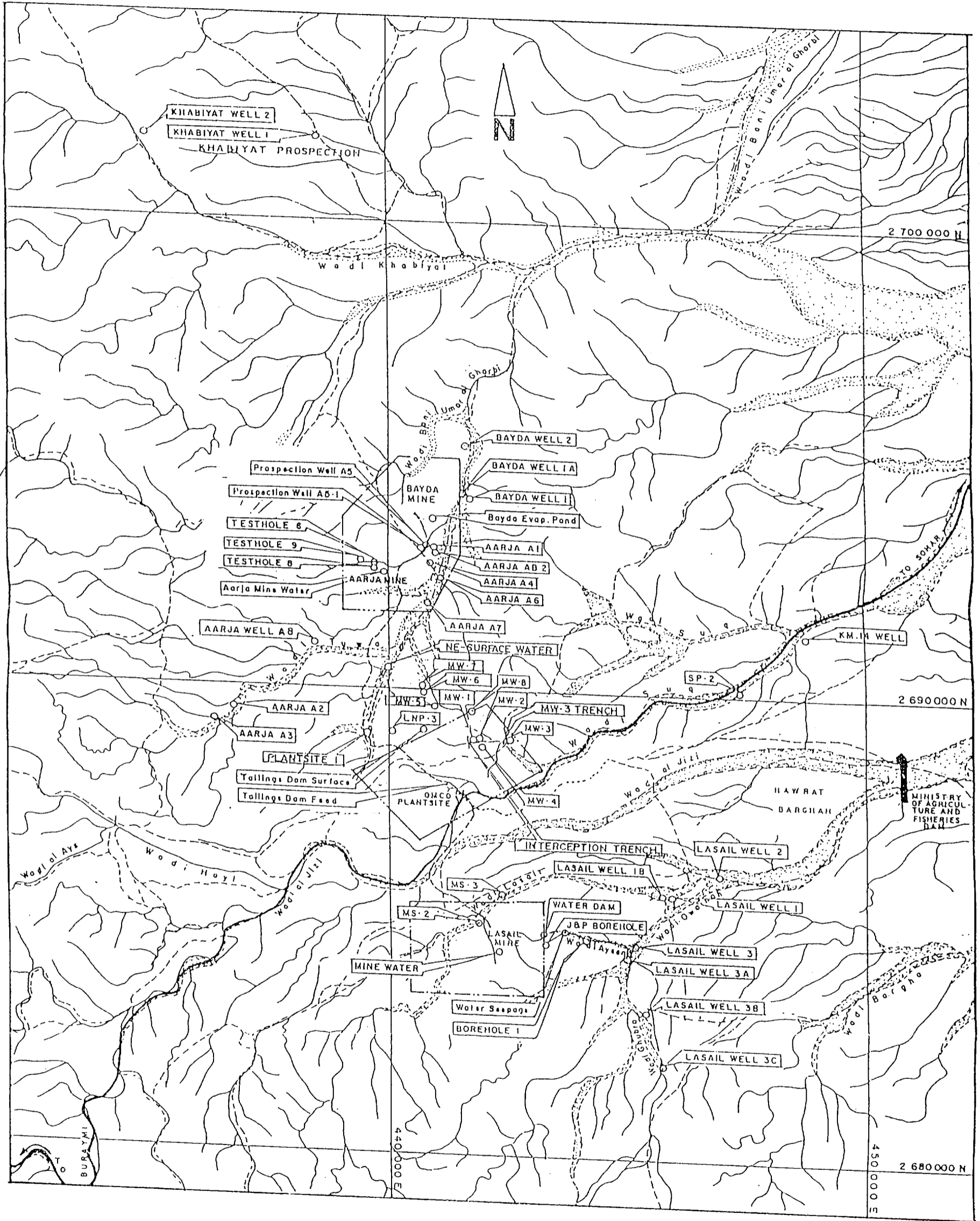


図4-3-3 モニタリング井戸位置図 (KM14 より上流部)

SCALE = 1:100 000

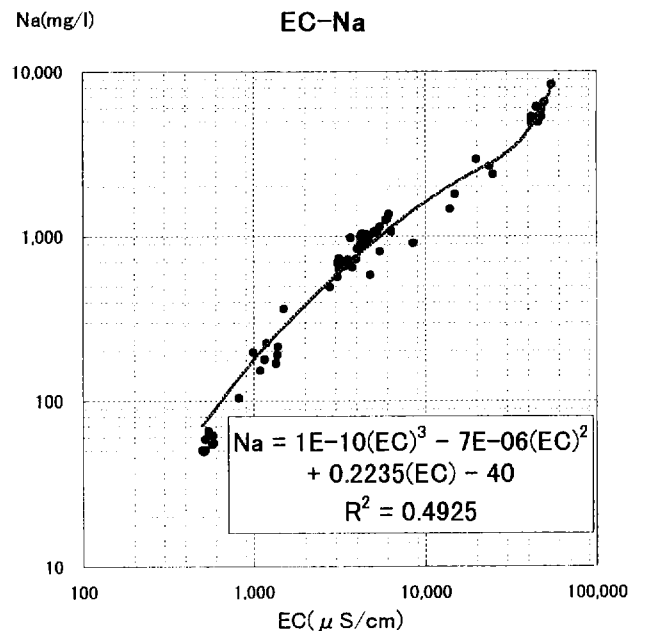
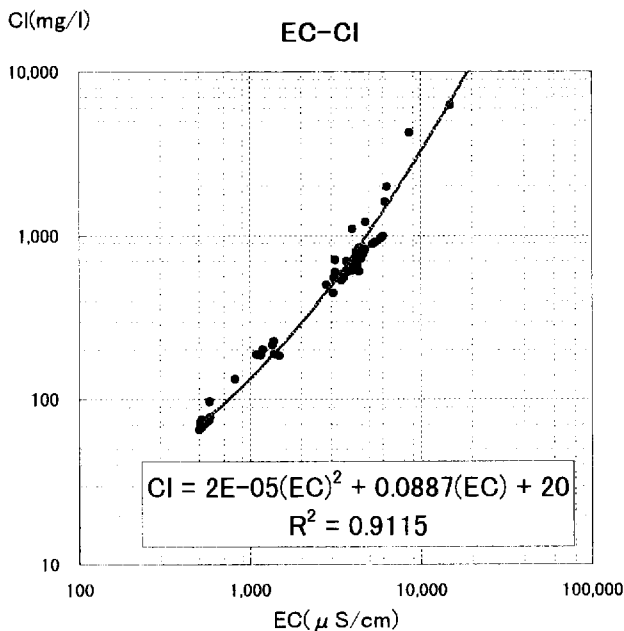
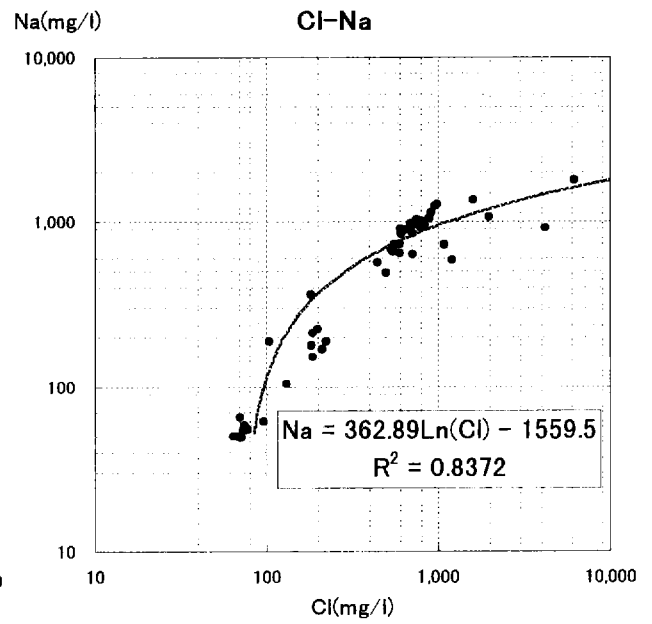
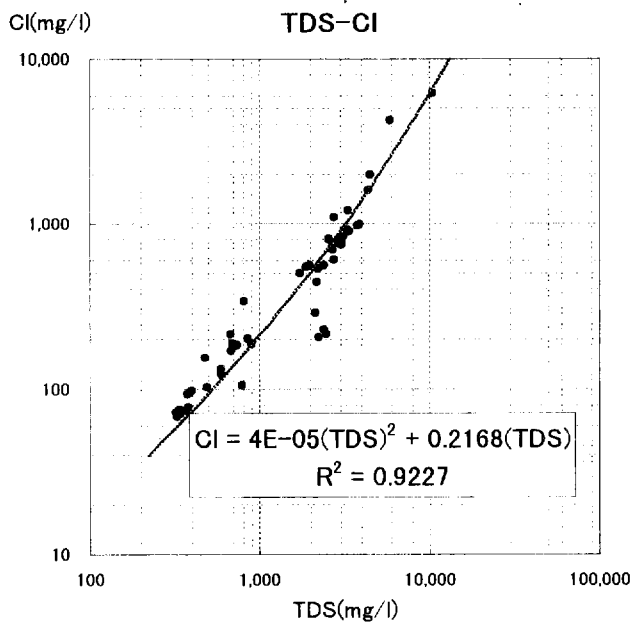
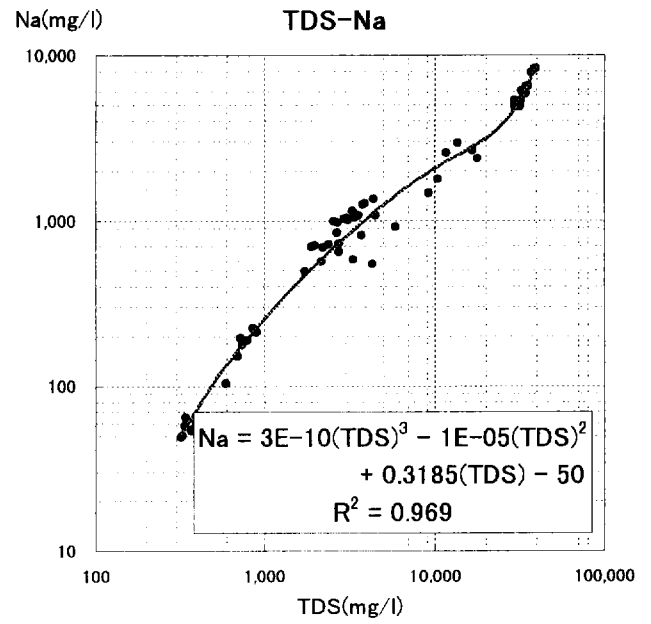
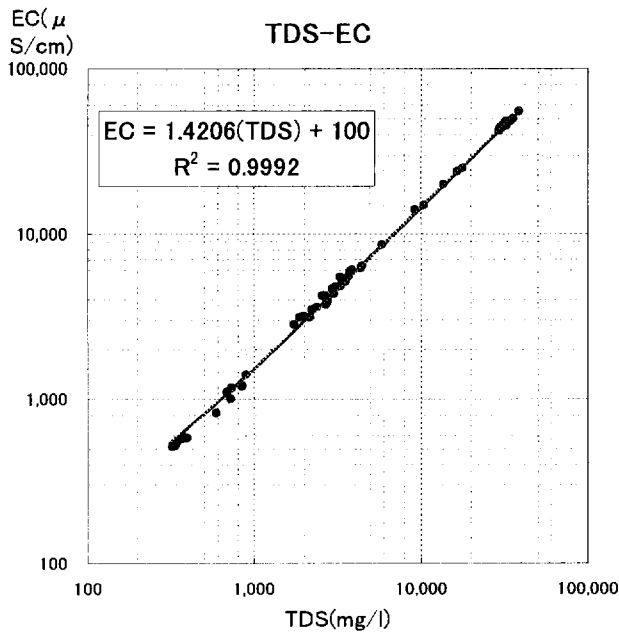


図4-3-4: 同一地下水試料に対して得られたTDS、EC、Na、Cl測定値の間の相関関係

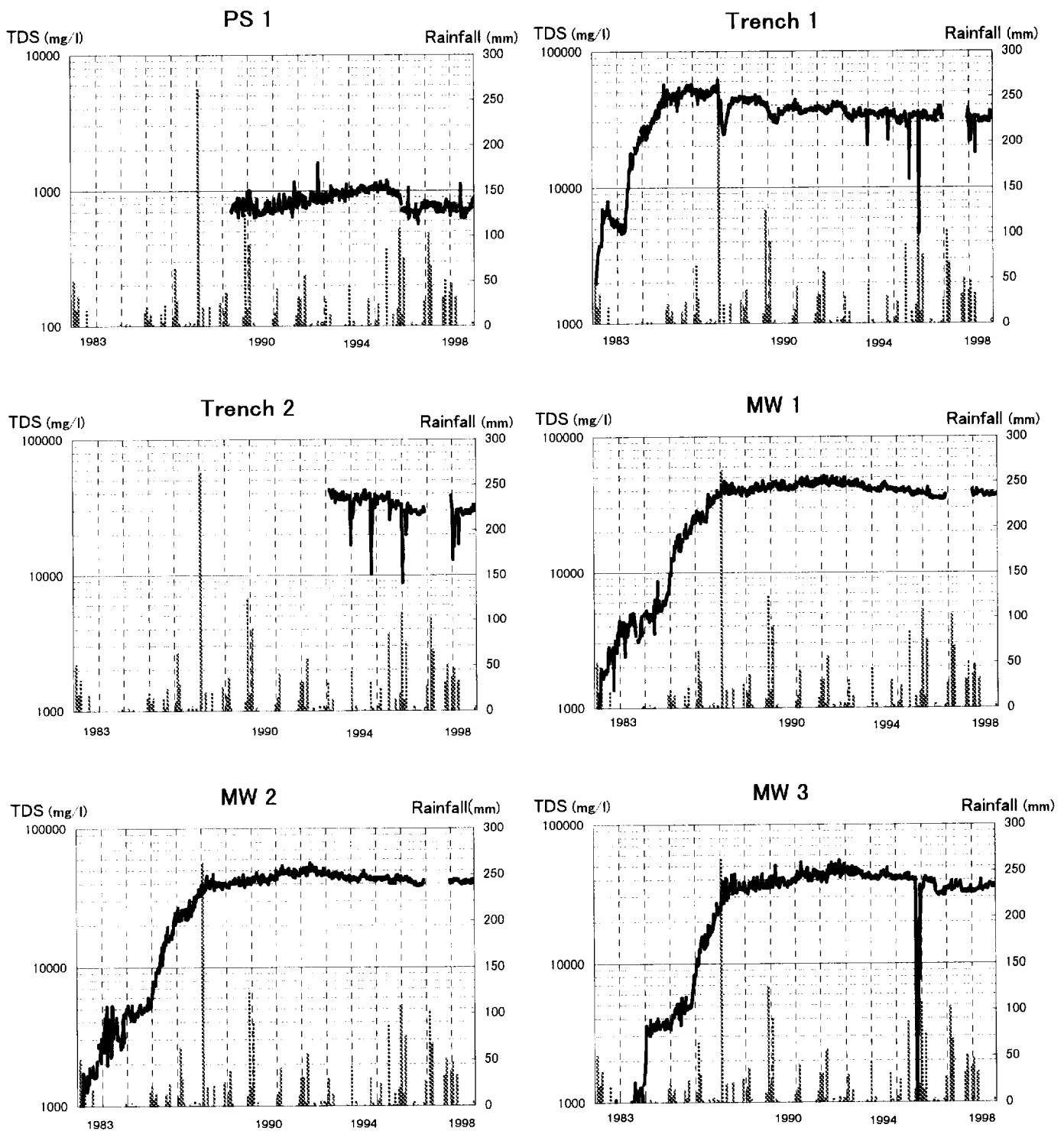


図4-3-5 ワジ・スーク沿いの各観測点におけるTDS測定値の時間推移(その1)
 (棒グラフはソハール精練所における月間降水量)

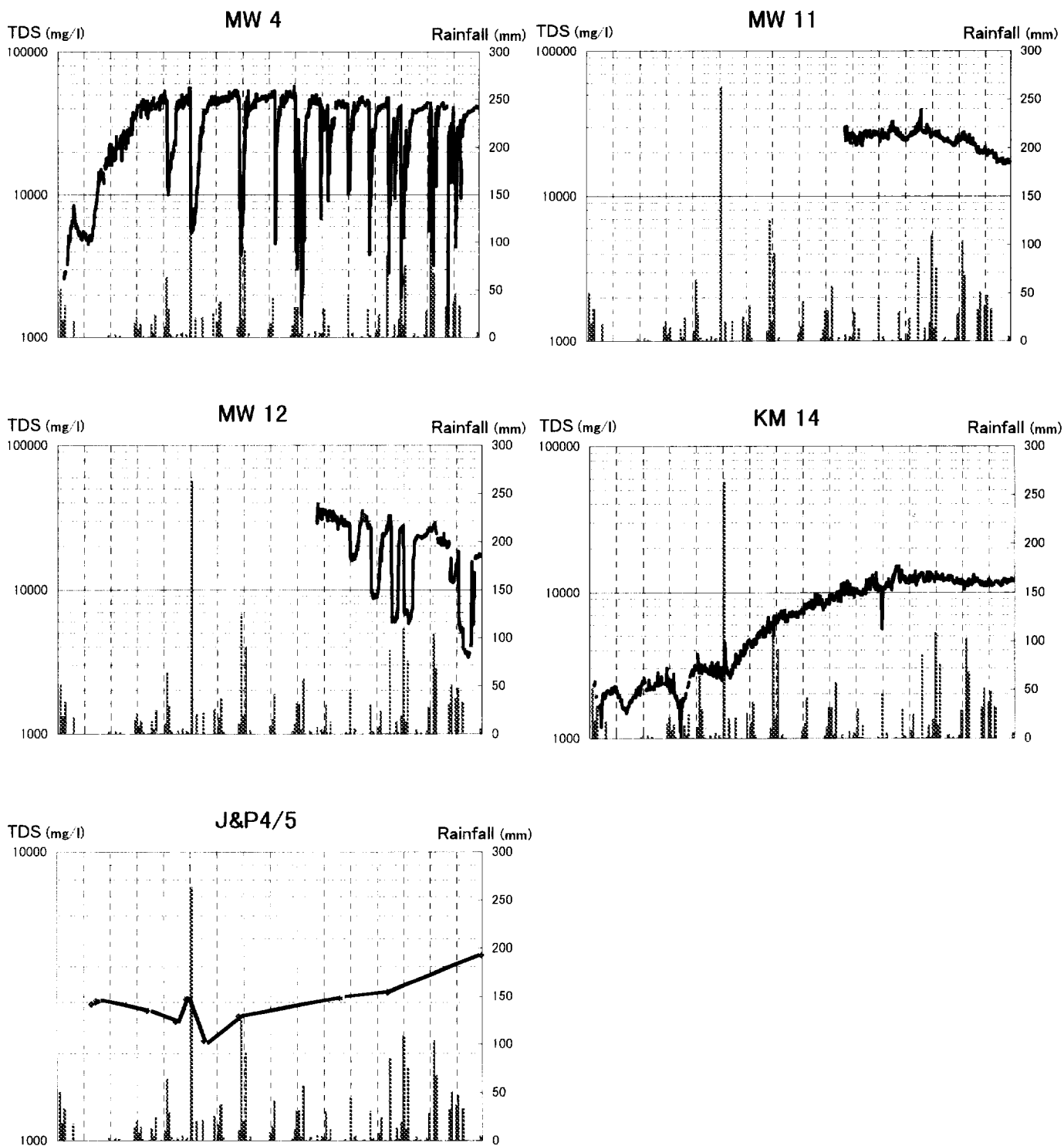
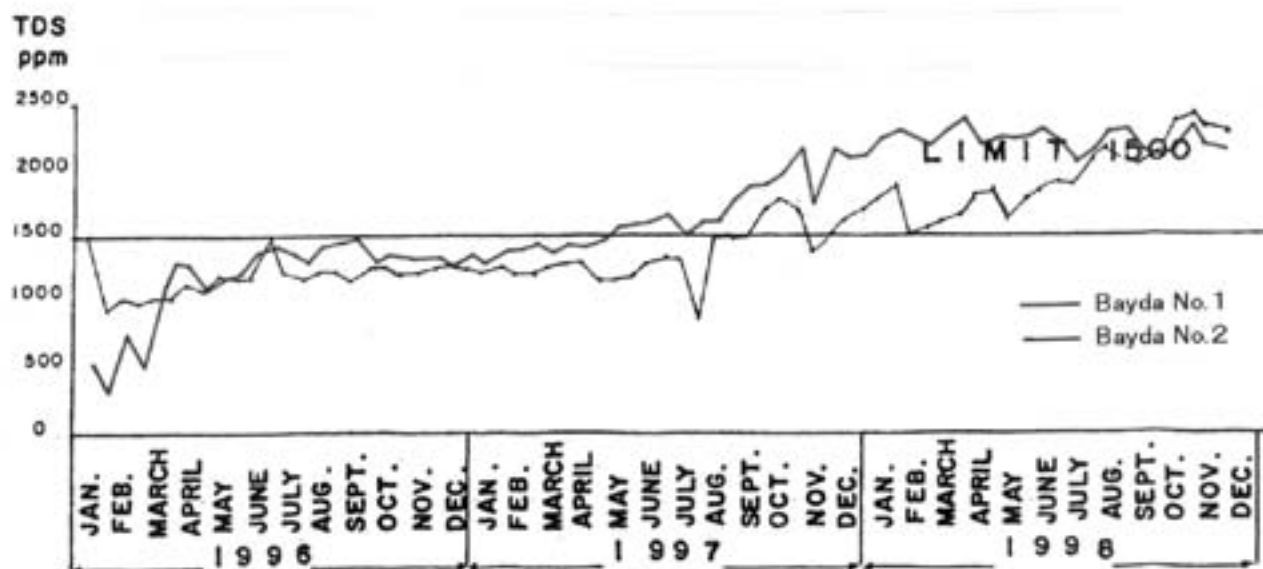


図4-3-5 ワジ・スーク沿いの各観測点におけるTDS測定値の時間推移(その2)
 (棒グラフはソハール精練所における月間降水量)

(1) ベイダ地区の地下水のTDS値の上昇 (Bayda Well No.1&2)



(2) 銅鉱石採掘跡周辺地下水中の Cl^- 、 SO_4^{2-} の濃度

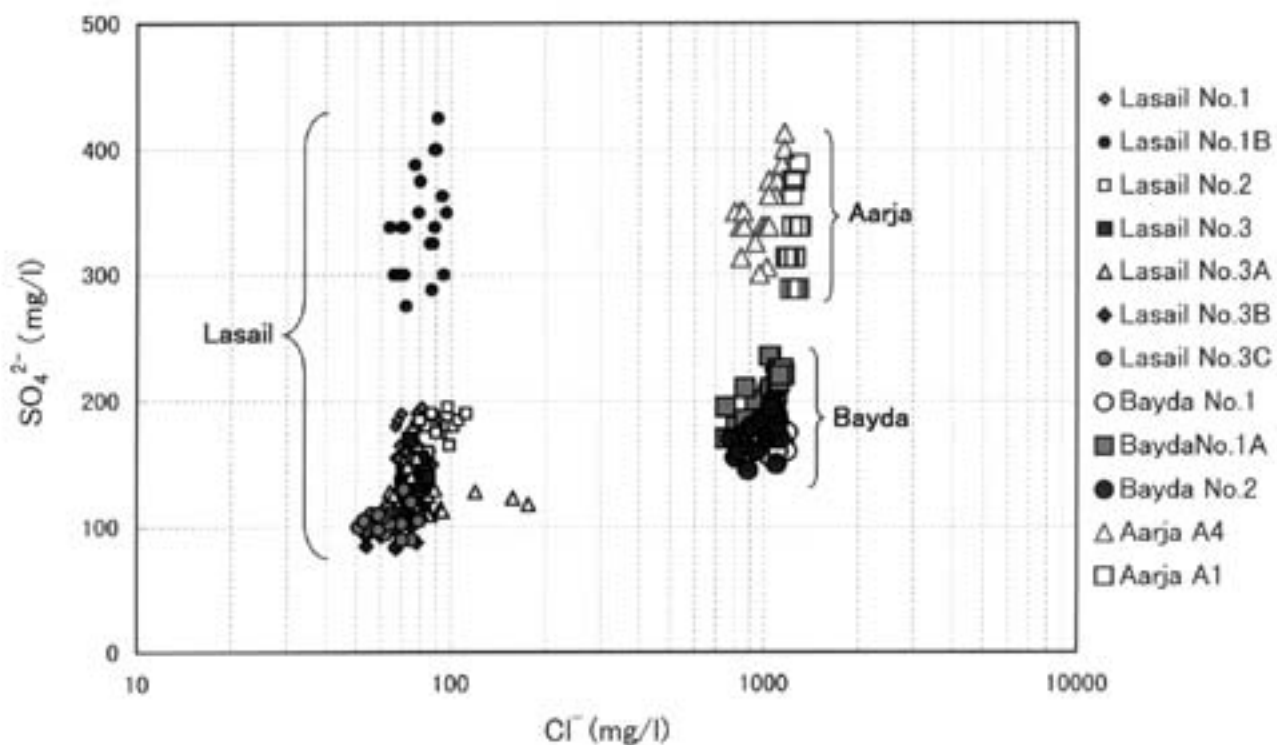
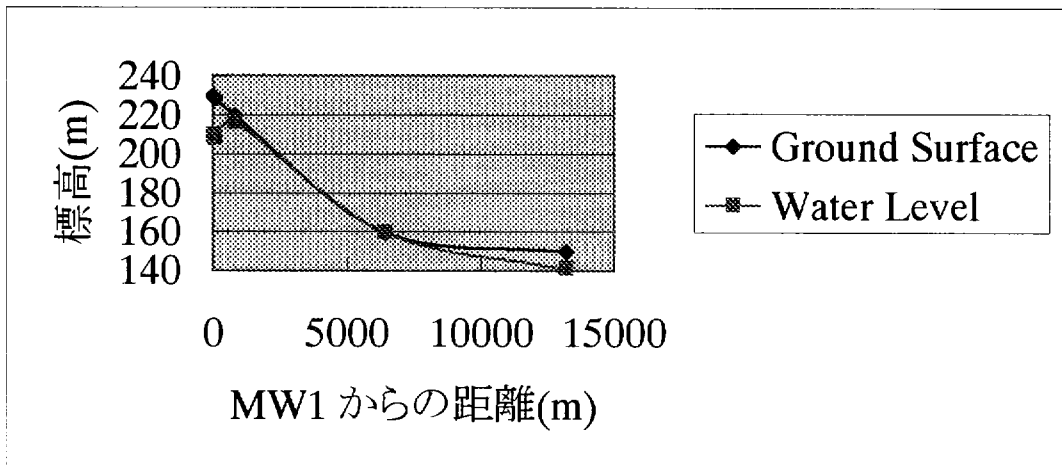
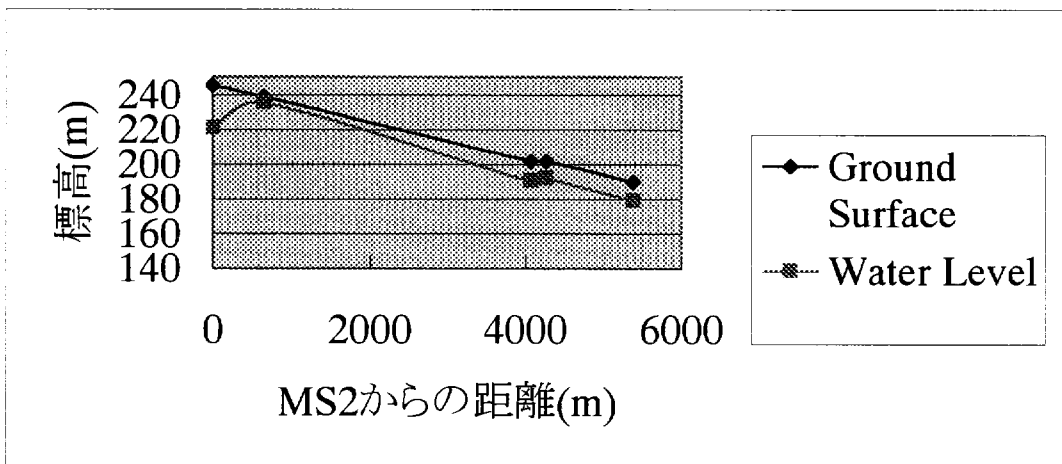


図4-3-6 銅鉱石採掘跡周辺の地下水水質データ

Down from T.D



Down from L.M



Down from L.M

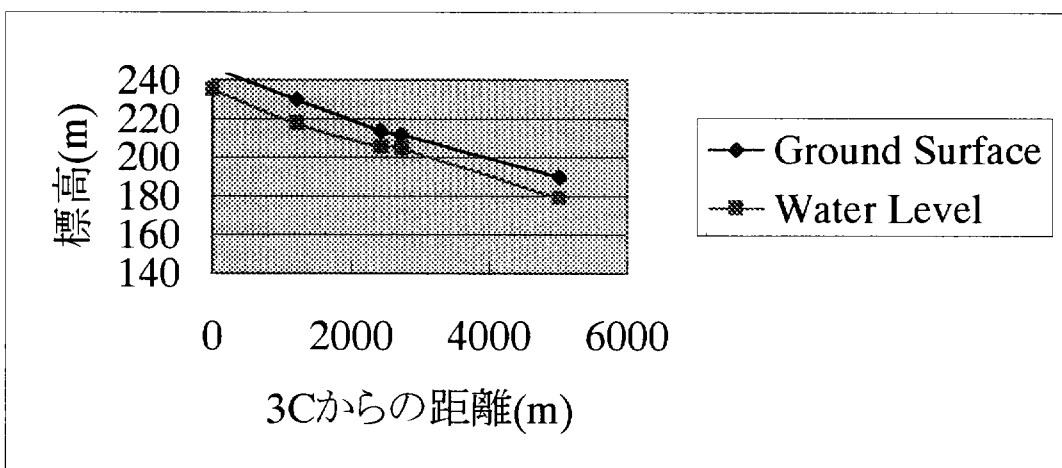


図4-3-7 地表標高と地下水位

表 4-3-1 Wadi Suq 沿いの地表標高と地下水位

Along Wadi Suq (down from Tailing Dam) No.	Easting	Northing	Distance (m)	Acumulated Distance (m)	Ground Surface	Depth of Hole (m)	Water Level (m)	Acumulated Distance (m)
MW-1	441,788.1	2,688,972.7			229.8	20.2	209.6	
MW-2	441,862.5	2,688,975.1	74.4	74.4	228.9	20.8	208.1	74.4
MW-3	442,534.4	2,689,002.4	672.5	746.9	220.0	3.4	216.6	746.9
SP-2	447,308.0	2,690,142.1	4,907.7	5,654.6	159.8		159.8	5,654.6
KM.14	448,762.9	2,691,347.1	1,889.1	7,543.7	149.9	9.0	140.9	7,543.7
MW-4	441,923.2	2,688,872.8	119.0	193.5	230.2	9.6	220.6	193.5

Acumulated Distance (m)	Ground Surface	Water Level (m)
74.4	229.8	209.6
821.3	228.9	208.1
6,401.6	220.0	216.6
13,198.4	159.8	159.8
7,737.2	149.9	140.9
	230.2	220.6

表 4-3-2 Wadi Jiji 沿いの地表標高と地下水位の関係

Along Wadi Jiji (down from Lasail Mine)							
No.	Easting	Northing	Distance (m)	Acumulated Distance (m)	Ground Surface	Depth of Hole (m)	Water Level (m)
MS-2	441,835.6	2,685,069.2			245.5	24.5	221.0
MS-3	442,285.9	2,685,541.2	652.3	652.3	239.1	3.5	235.6
WELL No.1B	445,700.0	2,685,700.0	3,417.8	4,070.1	202.0	11.4	190.6
WELL No.1	445,900.0	2,685,700.0	200.0	4,270.1	202.0	10.2	191.8
WELL No.2	446,900.0	2,686,200.0	1,118.0	5,388.2	190.0	10.9	179.1
WELL No.3C	445,700.0	2,682,025.0			247.0	11.5	235.5
WELL No.3B	445,400.0	2,683,200.0	1,212.7	1,212.7	230.0	12.3	217.7
WELL No.3A	445,070.0	2,684,375.0	1,220.5	2,433.2	214.0	8.9	205.2
WELL No.3	445,283.0	2,684,570.0	288.8	2,721.9	212.0	7.3	204.7
WELL No.2	446,900.0	2,686,200.0	2,296.0	5,017.9	190.0	10.9	179.1
Acumulated							
Distance (m)	Ground Surface	Water Level					
	245.5	221.0					
652.3	239.1	235.6					
4,070.1	202.0	190.6					
4,270.1	202.0	191.8					
5,388.2	190.0	179.1					
	247.0	235.5					
1,212.7	230.0	217.7					
2,433.2	214.0	205.2					
2,721.9	212.0	204.7					
5,017.9	190.0	179.1					

1985年から1998年までの、製錬所（主煙突）を中心として半径10 kmの区域内の10ヶ所の測定点に於ける亜硫酸ガス濃度の日平均値に関する累積分布を、年毎に示したもの

但し、測1-50%：測定点 No.1における各日平均データの累積分布の中央値（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

測1-98%：測定点 No.1における各日平均データの累積分布の98%相当値（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

以下、測2から測10まで同様の表示であるが、測定データ数は、年毎、測定点毎に異なっている
測定法は、日本でも採用されている溶液導電率法を採用

註）測定点の製錬所（主煙突）からの方位、距離および地区名：

測 1	：	南西、	10 km、	SEHAYLAH
測 2	：	南西、	8 km、	SEHAYLAH
測 3	：	北東、	5 km、	ASAGA
測 4	：	北東、	8 km、	ASAGA
測 5	：	東南東、	4 km、	OWAINAH
測 6	：	東南東、	8 km、	OWAINAH
測 7	：	北西、	4 km、	RAHAB
測 8	：	北西、	8 km、	RAHAB
測 9	：	西、	4 km、	AL HAIL
測 10	：	西、	8 km、	AL HAIL

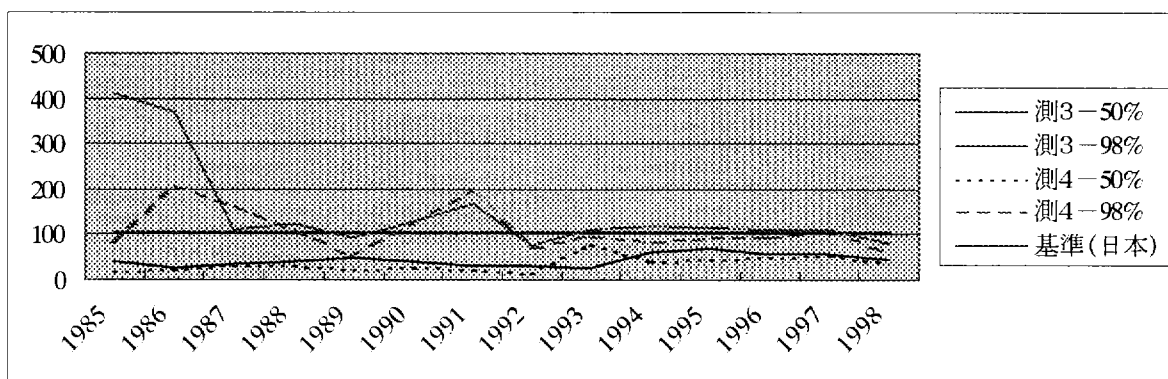
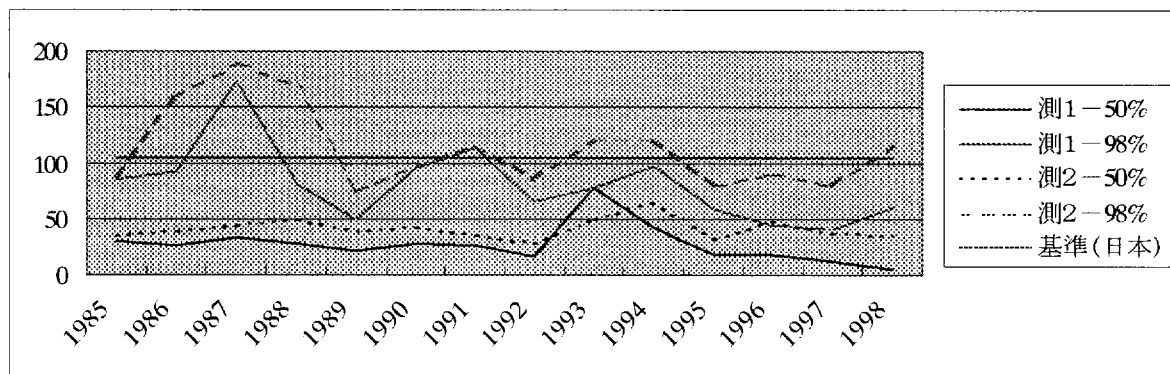


図 4-3-9 亜硫酸ガス着地濃度の推移 (1)

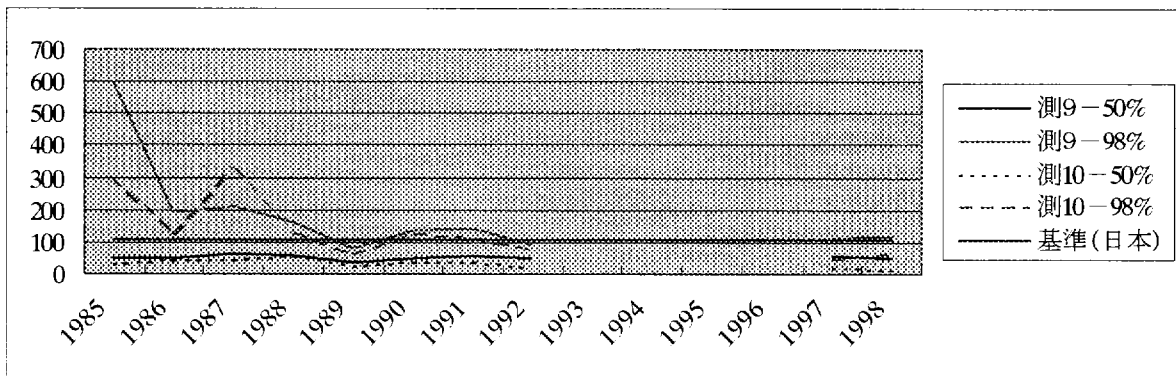
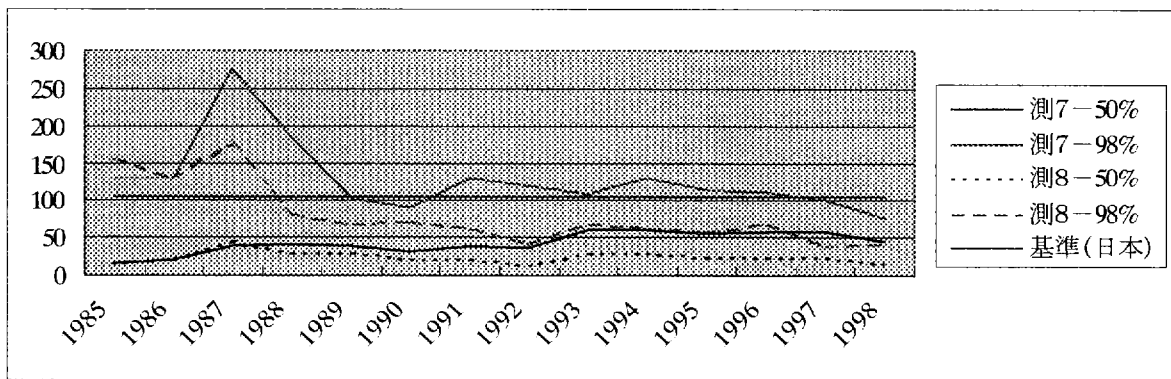
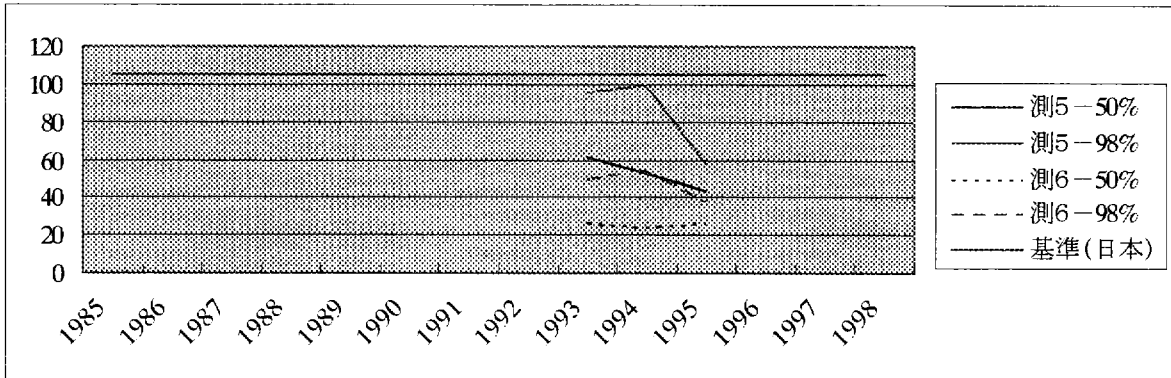
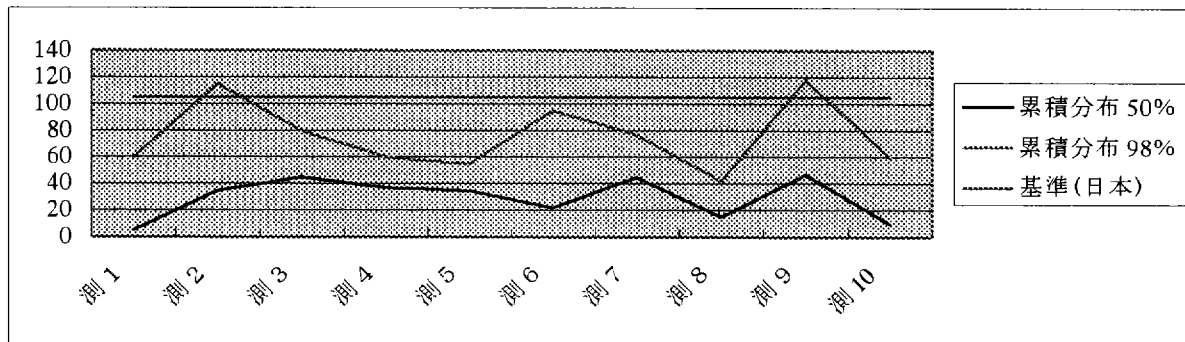


図 4-3-9 亜硫酸ガス着地濃度の推移 (2)

1997年11月から1998年10月までの最新データを測定点毎にグラフ化したもので、各数値は図4-3-5の1998年に対応している（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

各測定点に於ける測定データ数（日平均値）は下記のとおりとなっている

測 1： 29 測 2： 31 測 3： 34 測 4： 32 測 5： 11
 測 6： 9 測 7： 27 測 8： 26 測 9： 15 測 10： 15



上記データの累積分布 98%値を測定点への距離別および方位別に示したもの（単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

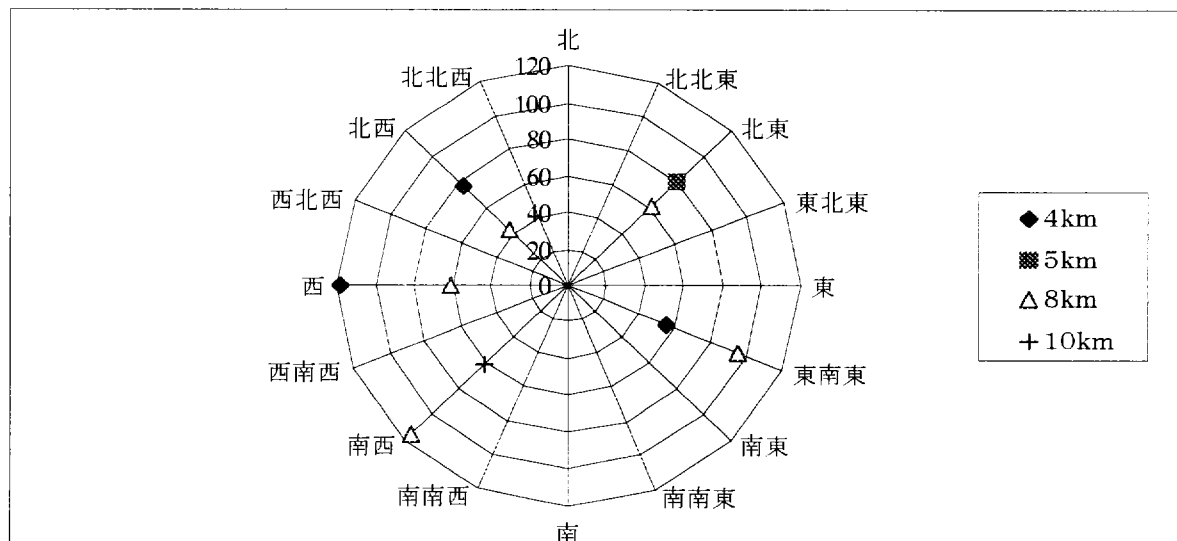


図4-3-10 亜硫酸ガス着地濃度の分布（1998年）

補遺 4—3—1 硫黄酸化物の排出

日本に於ける硫黄酸化物の排出基準（次式によるK値規制）を適用してソハール製錬所の主煙突からの亜硫酸ガス排出の度合いを推定した

$$q = K \times 10^{-3} H_c^2 \quad \text{-----} \rightarrow \quad \text{硫黄酸化物の排出量} \quad \text{-----} \quad (1)$$

ここで、

$$H_c = H_u + 0.65(H_m + H_i)$$

$$H_m = \frac{0.795 \sqrt{Q \cdot V}}{1 + \frac{2.58}{V}}$$

$$H_i = 2.01 \times 10^{-1} \cdot Q \cdot (T - 288) \cdot \left(2.30 \cdot \log J + \frac{1}{J} - 1 \right)$$

$$J = \frac{1}{\sqrt{Q \cdot V}} \left(1460 - 296 \times \frac{V}{T - 288} \right) + 1$$

（計算の前提条件）

1998年の操業データ等から下記のようにした

$$q = 47850 \text{ t / y} \div (365 \times 24 \times 0.9) \text{ h / y} \times 22400 / 64 \text{ m}^3 / \text{t} = 2124 \text{ m}^3 \text{ N / h}$$

$$Q = 200000 \text{ m}^3 / \text{h} \div 3600 \text{ s / h} \times (15 + 273) / (250 + 273) = 30.6 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$V = 15 \text{ m / s}$$

$$T = 250 + 273 = 523$$

$$H_u = 130 \text{ m}$$

製錬所の稼働率：90%

（計算結果）

$$J = \frac{1}{\sqrt{30.6 \times 15}} \times \left(1460 - 296 \times \frac{15}{523 - 288} \right) + 1 = 68.3$$

$$H_m = \frac{0.795 \times \sqrt{30.6 \times 15}}{1 + \frac{2.58}{15}} = 14.5$$

$$H_i = 2.01 \times 10^{-1} \times 30.6 \times (523 - 288) \times \left(2.30 \times \log 68.3 + \frac{1}{68.3} - 1 \right) = 46.7$$

$$H_c = 130 + 0.65 \times (14.5 + 46.7) = 170$$

従って、K値は式(1)より次のようになる

$$K = \frac{q}{10^{-3} \cdot H_c^2} = \frac{2124}{10^{-3} \times 170^2} = 73.7 \quad \text{-----} \quad (2)$$

日本で規制の最もゆるい区域のK値は17.5であるから、製錬所主煙突排ガスのK値(73.7)はこれの約4.2倍に相当する——すなわち亜硫酸ガス排出量が約4.2倍ということになる

補遺 4-3-2 最大着地濃度およびその出現距離

サットン(Sutton)およびパスキル(Pasquill)の方法を用いて、亜硫酸ガスの最大着地濃度 (C_m) およびその出現距離 (x_m) を推定した

$$C_m = \frac{2q}{e\pi uH_e^2} \left(\frac{C_z}{C_y} \right)$$

$$x_m = \left(\frac{H_e}{C_z} \right)^{2/(2-n)}$$

(計算の前提条件)

補遺 4-3-1 の前提条件および日本の K 値規制の根拠となる拡散計算条件等から下記のようにした

$$q = 2124 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$u = 6 \text{ m} / \text{s}$$

$$H_e = 170 \text{ m}$$

$$C_y = 0.12$$

$$C_z = 0.07$$

$$n = 0.25$$

(計算結果)

$$C_m = \frac{2 \times 2124 \times (1/3600) \times 10^6}{2.72 \times 3.14 \times 6 \times 170^2} \times \left(\frac{0.07}{0.12} \right) = 0.46 \text{ ppm}$$

$$x_m = \left(\frac{170}{0.07} \right)^{2/1.75} = 7.4 \text{ km}$$

亜硫酸ガスの最大着地濃度は、0.46 ppm でその出現距離は主煙突の風下側 7.4 km の地点という計算結果となった

但し、ここでの最大着地濃度、0.46 ppm は、短時間平均（数分単位）の濃度値であり日平均値に対応する値ではない（日平均値は、もっと低い値になる筈）

4-4追加要請(ラカー金鉱山)

4-4-1概況

(1)操業概況

1994年から操業を開始した。生産規模は400 t/d。金品位5.5～6.5 g/t (Cu 0.25%)の原鉱をCIL/CIP方式でシアンリーチングし、90%(設計値87%)の金を回収している。今後1年間操業した後金鉱の処理を停止する。その後、銅鉱山としての可能性調査を行う予定。

(2)工程

プロセス概要は下記。

原鉱 破碎(ジョークラッシャー) 摩鉱(ボールミル・サイクロン) シアンリーチング(CIL/CIP) 活性炭分離 電解採取 粗金(Dore: Au=60～70%)

(3)廃滓・廃水処理

金吸着活性炭(ローデッドカーボン:LC)分離後の尾鉱は全量フィルタープレスで脱水され、シアン含有濾液は100%リサイクル、ケーキは堆積場へ貯蔵されている。CIL/CIP方式を採用している鉱山では一般にLC分離後の尾鉱はスラリーのまま堆積場へ直投されている。ラカーの様に全量脱水されているケースは珍しく、シアン含有廃滓に対する積極的な姿勢が窺える。

堆積場は、掘込みのピットに厚さ2mmのプラスチックシートを敷いてその上から脱水ケーキを投入している。No.1、No.2ピットが一杯となり、調査時現在、No.3ピットを使用していたが、同ピットは1/3程度の仕様状態で、閉山までの1年間の操業には十分に余裕があると判断される。

4-4-2 環境汚染の可能性

(1)シアン鉱害

ラカー鉱山においてシアン鉱害が発生する可能性は、リサイクルしているリーチング液(フリーシアン濃度200～250ppm)の場外漏洩および堆積場のシート破損等による浸透水の2点が考えられる。

場外漏洩については、工場全体がコンクリートベースメント施工されており、異常事態（ポンプ・配管の破損等、リーチングタンクの亀裂）が発生しない限り、操業期間も残り少ないことから可能性は極めて低いと考える。

一方、堆積場からのシアン液漏洩・浸透に関しては、シートの破損の可能性が高い（長期間の加重の変化に対応できるシート加工が十分配慮されていない）と思われ、漏洩のおそれが十分考えられる。特に、堆積場は、操業停止後も残るため、将来を見通した対策を立てる必要がある。

なお、OMCO は、ラカー鉱山周辺に 28 本のモニタリング井を設けて継続監視を実施している。観測値はフリーシアン 10ppm（分析下限）以下である。

（２）酸性浸透水

採鉱種加に伴って発生した廃石が NO. 1 堆積場そばに野積みされているが、廃石の中に硫化鉄鉱の一種である黄鉄鉱（パイライト）がかなり観察された。パイライト等の硫化鉄は、雨水と空気中の酸素によって容易に硫酸酸性水に変化する。この硫酸酸性水はさらに重金属を溶出してイオン化する。現地踏査時点では、廃石堆積場足下の浸出水の pH は 6～7 の微酸性で問題ないと思われたが、酸性浸透水発生の可能性を大いに秘めているものと考えられる。

4-4-3 改善点

（１）シアンモニタリング

前向きにモニタリングが行われているが、シアン分析の検出限界が 10ppm とのことので、モニタリング結果も分析下限値以下なので問題ない事になっている。下記の点で改善の余地がある。

- ・ 分析はフリーシアンだけで、有毒で分解が難しい錯イオンの分析がされていない
シアン錯イオンの分析技術の移転
- ・ シアンのオマーン国における排出基準は 0.05ppm（日本は排出基準：1ppm、環境基準：
検出されないこと）である シアン分析精度の向上（技術移転）
- ・

（２）酸性浸透水と重金属イオン

- ・ 重金属汚染の可能性に関しては、調査時点で議論されなかったが、野積みされた廃石の浸透水が酸性化し、早晩、重金属汚染問題が発生されることが十分予想される。調査とモニタリングの強化が必要。