

国際協力事業団(JICA)

No.

オマーン国

商工省(MCI)

# オマーン国 ソハール地域鉍害防止フェージビリティ調査

## ファイナル・レポート

平成 13 年 12 月

三菱マテリアル資源開発株式会社  
イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社

鉍 調 資

J R

01-145

## 要 旨

本調査の要旨を以下に述べる。

### (地形・地質・水文地質)

- ・調査地域は中～小起伏山地、丘陵地、扇状地・段丘、沖積平坦面および海岸平野からなる。
- ・ワジ・スーク川は河川長 34km、平均傾斜 0.008 (1:125)、最高海拔標高 275m、流域面積 71km<sup>2</sup> であり、下流側では平坦で広い氾濫原を形成している。
- ・ワジ・スーク川を河川形態からサブエリア - 1～サブエリア - 7 の 7 区域に区分される。
- ・調査地域の地質は先第三紀のオフィオライトおよびバチナ・オリストストロームが基盤を形成し、東側の低地帯に新第三紀層が分布し、台地およびワジ沿いに第四紀層が分布する。
- ・第四紀層は洪積世の段丘堆積物および沖積世の沖積段丘堆積物、ワジ堆積物および崩積物からなる。沖積段丘堆積物はカルクリート化した砂礫からなり、透水性が比較的低い。
- ・地質構造は北東 - 南西および北西 - 南東方向の断層が卓越し、ワジ・アル・ジジ川沿いに 1～1.5km 幅の地溝帯が形成されている。

### (地化学調査)

- ・土壌分析から、製錬工場（煙突）の排ガスおよび廃さい堆積場を起源と推定される Cd、Pb、Cu、Fe、Zn および SO<sub>4</sub> の高濃度帯が工場周辺に認められ、いずれも工場を中心に拡散しており、その一部は 3km を越えて拡散していると推定される。
- ・廃さい堆積場裏側への廃水の基盤を通じて漏洩が確認された。
- ・沖積土壌中の塩分の分析結果から、廃さい堆積場および PS-2 地点での漏水がある。

### (物理探査)

- ・廃さい堆積場では地表下約 30m 前後に比抵抗基盤がほぼ水平に推定され、基盤上面には低比抵抗の層が水平に広がっている。
- ・ワジ・スーク川の中流域では、高比抵抗基盤は地表下 50～100m であり、上流部より深い。
- ・上～中流域では、基盤深度が地表下 5～10m と比較的浅く、その形状はほぼ平坦である。
- ・中～下流域では、基盤深度が地表下約 20m とやや深くなる傾向が認められるが、その形状は全体としてほぼ平坦である。

### (ボーリング調査)

- ・廃さいは 30.20～30.65m の層厚を有し、多量の黄鉄鉱を含んでいる。基盤は風化した玄武岩質枕状溶岩からなり、亀裂が発達し脆弱化している。
- ・河床堆積物の層厚は 4～19m であり、砂礫からなる。上部はルーズなワジ堆積物であるが、中部～下部はカルクリート化した砂礫であり、下部カルクリート層の透水性は低い。
- ・地下水について、廃さい堆積場下流部から 2km 付近では -7m 程であり、サガ (Sagha) 部落から上流側にかけて深度 -4m 以下で浅く、下流側では深度 -10.53～-15.40m で深い。
- ・サガ部落から上流側にかけて -4m 以下の極めて浅い地下水域が存在し、狭窄地形によるダム・アップ効果であると推定される。
- ・透水係数は  $10^{-3} \sim 10^{-6}$  cm/sec である。試験区間が殆どカルクリート化した砂礫層中であることから、透水性が比較的低くなっている。
- ・Cd、Pb は廃さい堆積場の浸透水が高濃度を示し、下流部の DH-5 孔までおよびアージャ・ベイダ鉱山付近がやや高濃度である。その他の区域はオマーン国の飲料水基準値以下である。

- ・ Cl は 45～34, 578mg/L の濃度範囲であり、廃さい堆積場の浸透水とその下流部、DH-5 孔および廃さい堆積場の北西部が高濃度である。
- ・ 浅層および深層地下水は各成分とも下流側に極端に距離減衰を示し、DH-5 孔付近で平坦な低濃度を示す。サガの KM-14 地点までが明瞭な汚染範囲といえる。
- ・ Cd、Cr、Pb および Cu は DH-5 孔で濃度のピークを呈し、DH-6 孔では Mn および Fe が高濃度のピークを呈する。DH-5 孔～DH-6 孔周辺においては弱鉱化作用による影響が推定される。
- ・ Cl は下流側に距離減衰を示すが、DH-5 孔で高濃度のピークを呈し、この高濃度は海水の送水用パイプからの漏洩があったと考えられる。

#### (汚染源調査)

- ・ 廃さい堆積場からは高濃度塩分等の汚染水の流出および廃さいの飛散がある。
- ・ ズリはラサイル、ラサイル・ウエスト、アージャおよびベイダ鉱山周辺のズリ堆積場に廃棄されている。
- ・ ラサイル・ウエストおよびアージャ鉱山の旧オープン・ピット内の底部が鉱水によって満たされている。
- ・ 製錬所には、硫酸工場も脱硫設備も設置されておらず、簡単な集じん（塵）後、主煙突から直接放煙されている。
- ・ 電解廃液は、脱銅電解の後、消石灰で中和し、乾固池に運搬し蒸発処分している。
- ・ 廃さいは硫黄を多く含んでおり、多量の酸性水が発生する可能性があるが、堆積場内の過剰石灰、カルクリート層、基岩等の緩衝作用が機能すると考えられる。
- ・ ラサイルおよびアージャ鉱山のズリの硫黄含有量は 10～13 % と高く、今後酸化が進行することから、酸性水と共に重金属類が溶出する。
- ・ アージャ鉱山の鉱水は Hg、Na、Ca、Cl の濃度が高く、周辺の浅層地下水と異なる。ラサイル・ウエスト鉱山の鉱水は pH がやや低いが、周辺の地下水と相関がある。

#### (環境（水質）調査)

- ・ pH は概ね中性である。
- ・ 電気伝導度は廃さい堆積場内が 7.66 S/m で高く、ワジ・スーク川に沿って減少する。
- ・ Cd、As、Pb、Cu、Zn、SO<sub>4</sub> は廃さい堆積場内、堆積場の北西方向、アージャの鉱水、ラサイル・ウエストの鉱水が高い濃度を示す。
- ・ Cl は廃さい堆積場内、堆積場の北西方向、ワジ・スーク川に沿って高い濃度を示す。
- ・ ソハール鉱山地域の水質汚染の影響範囲を以下に示す。
  - 廃さい堆積場を汚染源は、汚染物質として Cd、Pb、Cu、SO<sub>4</sub> および Cl が顕著に認められる。汚染の範囲は廃さい堆積場からワジ・スーク川に沿って下流側のサガ部落（KM-14 地点）までである。
  - 下流側の Cl の高濃度帯は旧海水の影響と考えられる。地下水の<sup>3</sup>H による年代測定の結果は 27 年であり、鉱山開発以前の Cl の汚染であることを示している。
  - 廃さい堆積場の汚染地下水が北西側に漏洩し、ワジ・バニ・ウマール・アル・ガルビ川を汚染している。
- ・ 地下水シミュレーションには Groundwater Modeling System (GMS) V. 3.0 を使用した。
- ・ ワジ・スーク川のモデルを使用した定常地下水のシミュレーション結果は、実測地下水位とほぼ一致した。
- ・ 汚染地下水のシミュレーションの試算結果は、モニタリングの測定濃度と良い相関を示し

た。

#### (大気質調査)

- ・SO<sub>2</sub>濃度の1時間平均値は0.001ppm (3μg/m<sup>3</sup>) ~0.835ppm (2,404μg/m<sup>3</sup>) の範囲にある。
- ・TSPの24時間平均値は49~332μg/m<sup>3</sup>の範囲にある。
- ・PM<sub>10</sub>の24時間平均値は33~205μg/m<sup>3</sup>の範囲にある。
- ・降下ばいじん量は0.42~2.90ton/km<sup>2</sup>/30日の範囲にある。
- ・冬期大気質調査においては、SO<sub>2</sub>濃度の1時間平均値は3~2,404μg/m<sup>3</sup>の範囲にあり、24時間平均値で2データがWHOの基準値を超えた。
- ・大気拡散シミュレーションにはISCST3ソフトを使用した。シミュレーションの結果、実測値と予測値は比較的高い一致を示し、地上最大SO<sub>2</sub>濃度の予測結果はOMCO製錬所の西側において24時間平均値が120μg/m<sup>3</sup>に拡散する結果を得た。

#### (製錬所拡張計画の調査)

- ・過去に4万t/年、10万t/年の増産計画が策定されたという情報があったが、現時点では実行性のある増産計画は無いものと判断される。

#### (環境影響に関する調査)

- ・環境影響調査は、汚染による被害に関する環境質問票に基づき、地域住民、保健・医療機関にインタビューの実施および質問票への記入を依頼した。その結果、喘息等の疾病、家畜数の減少、植物・昆虫への若干の影響があることが判明した。

#### (社会経済等調査)

- ・社会経済調査を実施した。ソハール県の人口は104,169人であり、農業および漁業がさかんであるが近年急速に工業化が進んでいる。
- ・ソハール鉱山周辺区域には8つのコミュニティがあり、119世帯、870人が居住している。
- ・鉱山周辺では地下水の塩水化、悪臭等の被害を受けている。
- ・アンケート調査の主な回答結果は、面接者の約半数はソハール鉱山地域の状況を知らない、ソハール鉱山地域を訪れたほぼすべての人は現在の環境悪化の影響を知っている、ソハール鉱山地域の土地を将来は使用する可能性もある、ソハール鉱山地域の環境条件を改善するために何らかの支払意思を有することは妥当と考えている等である。

#### (技術移転)

- ・技術移転は共同調査、現地での実務訓練、解析結果の説明、日本におけるカウンターパート研修などを通して実施した。
- ・オマーン国の社会環境やMCI、MMEWの人材不足等の障害はあったが、両国調査団の真摯な態度、両調査団員各自の意欲的な取り組みにより、十分所期の目的を達成し完了した。

#### (環境保全対策)

- ・ソハール鉱山地域の環境保全対策は、廃さい堆積場およびワジ・スーク川沿い汚染対策からなる。
- ・廃さい堆積場およびトレンチ-1および-2までの対策はOMCOによって実施され、一部建設が開始されている。廃さい堆積場の対策はアスファルト系材質での被覆とトレンチ-1および-2の浸透水を蒸発池で処理することからなる。
- ・ワジ・スーク川沿いの汚染対策はサブエリア-1、3、4および5で検討・評価された。
- ・サブエリア-1ではトレンチ-2の下流部にグラウトを施し、下流側への漏水を防止する。
- ・サブエリア-3の汚染対策は、PS-2地点の塩分汚染土壌を掘削・除去し、掘削された部分は清浄な土で置換する。汚染土は海岸部の埋め立て処分が可能である。

- ・サブエリア - 4 の汚染対策は KM14 地点において揚水井戸又は集水トレンチで汚染地下水を揚水する。トレンチ掘削時、ガス・パイプライン、道路等に留意する必要がある。
- ・揚水ポンプで集水した汚染水はサブエリア - 5 に設置する水処理施設に送水する。
- ・サブエリア - 5 の汚染対策は揚水井戸群の設置からなる。汚染水は水処理施設に送水する。
- ・汚染地下水は水処理施設で塩分と重金属類を除去する。処理システムは逆浸透膜 (RO) からなる分離膜技術を使用する。処理水は家庭用や農業用の水質に達し、KM14 のワジ・スーク川下流域に再注入する。また、現地住民用の農業用水にも使用できる。
- ・水処理後の高濃度の塩分と重金属類を含む濃縮水は蒸発池で蒸発乾固され、最終的に倉庫内に保管される。
- ・各サブエリアの対策案から 1) 総合的に最善と考えられる対策案-A、2) 総合的に次善と考えられる対策案-B、3) 技術的に必要最小限と考えられる対策案-C を選定した。
- ・対策案-A の工事期間は約 12 ヶ月で建設コストは 11.9 百万ドルである。対策案-B の工事期間は約 12 ヶ月で建設コストは 5.3 百万ドルである。対策案-C の工事期間は約 12 ヶ月で建設コストは 2.5 百万ドルである。

#### (経済分析)

- ・対策案-A について、経済コストとして 10.12 百万ドル、維持費として 17 万ドルを計上した。
- ・地下水の汚染により地価が低下しているが、対策工事の実施により果樹園等の地価が回復する。地価上昇の便益は 59,700R. 0./年と算定された。
- ・やぎ等は減少傾向にあるが、将来地下水の浄化が進めば山羊の頭数は増加し、その便益は 37,500R. 0./年と算定された。
- ・OMCO による飲料水の供給コストの節約便益は 11,984R. 0./年と算定された。
- ・アンケートで得られた支払い意志額の平均は、マスカット市の有職者では 7 R. 0./年、ソハール市では 8R. 0.であった。マスカット市およびソハール市の支払い意志額の年度別総計はそれぞれ 800,000~1,000,000 および 350,000~450,000 R. 0./年と算定された。
- ・経済評価の結果、本プロジェクトの内部収益率が 14.0%と高い値を示していること、純現在価値額が正のかなり高い値を示していること、費用便益比率が 3.0 以上であることなどから、本プロジェクトは十分可能性があると判断できる。
- ・汚染浄化による定性的な便益として、地域周辺に分布する約 16km<sup>2</sup> の果樹園が果実の品質の向上、アル・オンス自然保留地等の樹木の減少が抑制される、ミツバチ等野生動物の生息数の増加、汚染改善による観光客等の増加等が挙げられる。

#### (プロジェクト実施の検討)

- ・政府も地域の環境改善に多大の貢献が確実な本プロジェクトコストに対し、応分の負担があってもよいと考える。特に、建設コストは一時的に多額の投資が必要となるため、補助金の支出、諸外国政府あるいは公的金融機関からの援助資金の借り入れについて、できるだけの手助けを OMCO に与えることが望まれる。
- ・理想的にはプロジェクトコストの全額が政府の補助金によりまかなわれることが望ましいが、すべてではなくとも補助金の支出が十分検討されてもよいと思われる。また、金利はやや高いが、国際金融機関に資金援助を求めるのも一つの方法である。この場合、オマーン国の GDP が 156 億ドル (1999 年) であることから、このうちの 0.01%程度を本環境プロジェクトに振り向けることで、十分元利返済は可能であると思われる。
- ・本汚染対策案の実施に際しては、詳細実施計画の検討・作成・設計・工事管理等の業務が必要

である。また、対策工事完了後の浄化設備の運営管理も重要な業務である。

#### **(大気汚染防止対策)**

- ・製錬所からの大気汚染物質は SO<sub>2</sub> とばいじんである。対策としては排煙脱硫法があげられ、大気汚染物質の排出は大幅に改善される。概算費用は US\$ 20,000,000 である。

#### **(環境モニタリング・システム)**

- ・水質モニタリング・システムに関し、既存のモニタリング孔と共に本調査で掘削した 25 孔のモニタリング観測孔を含め新たに 40 箇所のモニタリング位置を提言する。
- ・水質モニタリングについて、サンプルの採取・調整、分析およびデータの解析技術の確立について提言した。
- ・OMCO 製錬所からの煙源の影響をモニタリングするためには、国営常時監視測定局をもう 1 ヶ所新設することを提言する。

#### **(環境管理体制)**

- ・オマーン国における排水基準および飲料水基準は変更する必要がないと考えられる。
- ・水質環境管理体制の強化および鉱山開発プロジェクトに関して、商工省 (MCI) と MMEW とのより綿密な連携を行うことが望ましい。
- ・オマーン政府は国としての大気環境基準を定めておらず、暫定的に米国の大気環境基準 (NAAQS) を採用している。大気環境基準は国家大気環境管理計画の基礎をなすものであるため、MRME は大気環境基準を制定する必要がある。
- ・国の環境大気測定局において環境大気モニタリングを実施しているが、さらにこれらのデータ・レポート等に基づいてデータベース・システムを構築することにより、環境大気管理政策の向上に有効に反映させることが可能になる。

## はじめに

オマーン国政府の要請に応じて、日本政府はオマーン国ソハール鉱山地域における鉱害防止フィージビリティ調査を実施することを決定し、国際協力事業団（JICA）に調査を委託した。

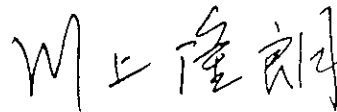
JICAは2000年2月～2001年12月の間、三菱マテリアル資源開発株式会社の松坂総一郎を団長とする調査団をオマーン国へ派遣した。

調査団はオマーン国政府の関係各位と共に運営委員会および技術委員会を定期的に行き、調査地域における現地調査を実施した。調査団は日本帰国後、調査結果の解析を行い、最終報告書として取り纏めた。

本報告書が当該プロジェクトの実施を促し、両国の友好関係をさらに深めることを望む次第である。

オマーン国政府の関係各位に感謝の意を表す。

2001年12月



川上 隆朗

総裁

国際協力事業団

# 伝 達 状

2001年12月

川上 隆朗 殿  
総裁  
国際協力事業団

謹 啓

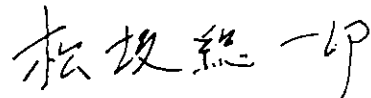
オマーン国ソハール鉱山地域鉱害防止フィージビリティ調査の最終報告書を提出する。

三菱マテリアル資源開発株式会社と E&E ソリューションズ株式会社は 2000 年 2 月～2001 年 12 月の間、国際協力事業団との契約に基づいて調査を実施した。調査の実施にあたり、オマーン国ソハール鉱山地域の鉱害について、関連する種々の環境項目から解明を行った。

調査にあたり、国際協力事業団並びに外務省の関係各位に感謝の意を表すると共に、現地調査を通して協力・援助していただいたオマーン国商工省と在オマーン日本大使館に感謝の意を表する。

最後に、本プロジェクトの実施を促すため、本報告書を提出する次第である。

敬 具

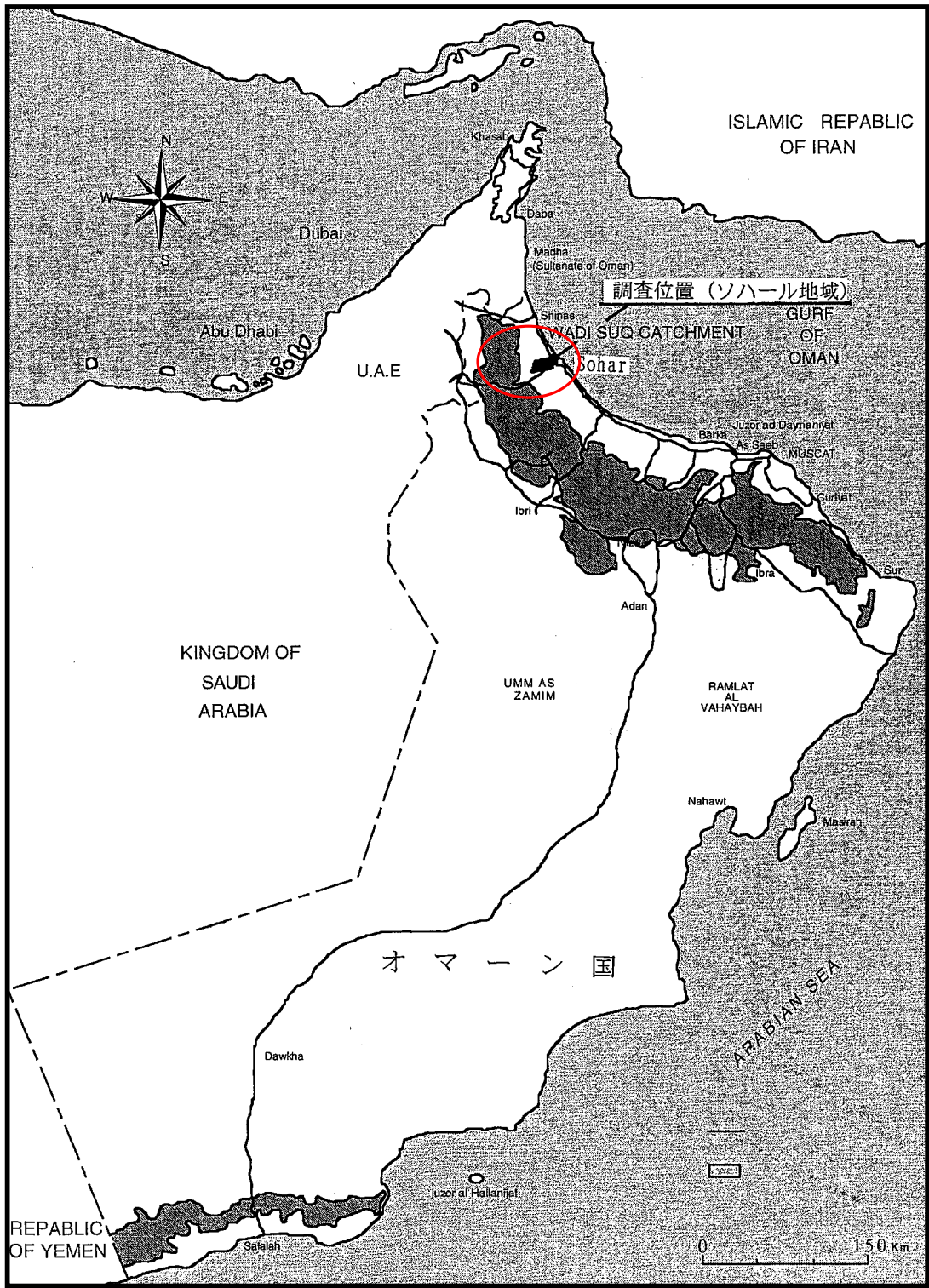


松坂 総一郎

団 長

三菱マテリアル資源開発株式会社





調査位置図

オマーン国ソハール地域鉱害防止フェージビリティ調査

## 目 次

要 旨  
はじめに  
伝 達 状  
目 次  
図表一覧  
略語一覧

(頁)

### 第 I 部 調査および結果

第 1 章 序論	1-1
1.1 調査の背景	1-1
1.2 調査の目的	1-1
1.3 調査対象地域	1-1
1.4 調査の内容	1-2
1.5 調査のフロー	1-2
1.6 調査組織	1-6
第 2 章 地形・地質・水文地質調査	2-1
2.1 地形	2-1
2.2 地質	2-6
2.3 水文	2-10
第 3 章 地化学調査	3-1
3.1 土壌	3-1
3.2 土壌中の塩分濃度	3-7
第 4 章 物理探査	4-1
4.1 Nano-TEM 探査	4-1
4.2 重力探査	4-3
4.3 物性測定	4-8
第 5 章 ボーリング調査	5-1
5.1 調査概要	5-1
5.2 地質状況	5-1
5.3 水文状況	5-18
5.4 水質分析結果	5-23
第 6 章 汚染源調査	6-1
6.1 廃さい堆積場	6-1

6.2	PS-2 中継用ポンプ場周辺	6-8
6.3	ズリ堆積場	6-8
6.4	坑内採掘跡およびオープン・ピット跡の坑内水	6-20
6.5	銅製錬所	6-23
第7章	環境（水質）調査	7-1
7.1	地下水のモニタリング	7-1
7.2	井戸調査	7-1
7.3	水質モニタリング調査	7-4
7.4	ワジ・スーク川における地下水のモデリング	7-22
第8章	大気質調査	8-1
8.1	大気質モニタリング	8-1
8.2	気象観測	8-12
8.3	大気拡散シミュレーション	8-16
8.4	OMCO が測定した既存 SO <sub>2</sub> モニタリング・データの収集	8-16
8.5	SO <sub>2</sub> 拡散シミュレーション・モデルの選定	8-16
第9章	製錬所拡張計画の調査	9-1
9.1	調査結果	9-1
第10章	環境影響に関する調査	10-1
10.1	調査方法	10-1
10.2	インタビュー調査結果	10-1
第11章	社会経済等調査	11-1
11.1	国家経済	11-1
11.2	国レベルの社会経済	11-2
11.3	ソハール県の社会経済	11-7
11.4	対象地域の社会経済	11-8
11.5	インタビュー・アンケート調査結果	11-10
第12章	技術移転	12-1
12.1	技術移転	12-1

## 第 II 部 地下水汚染対策

第13章	廃さい堆積場およびワジ・スーク川の汚染対策	13-1
13.1	廃さい堆積場の汚染対策	13-1
13.2	ワジ・スーク川の汚染対策	13-9
13.3	ワジ・スーク川沿いの汚染対策のシミュレーションによる検討	13-29
13.4	汚染対策案の選定	13-40

13.5	費用積算結果	13-53
第14章	経済分析	14-1
14.1	プロジェクトコスト	14-1
14.2	プロジェクトの便益	14-1
14.3	経済評価	14-9
第15章	プロジェクト実施の検討	15-1
15.1	プロジェクト資金の調達	15-1
15.2	技術面からの支援	15-7

### 第 III 部 提言および総括

第16章	大気汚染防止対策	16-1
16.1	大気汚染防止対策の選定	16-1
16.2	基本設計	16-2
16.3	大気汚染防止対策実施時における大気拡散シミュレーション	16-5
第17章	環境モニタリング・システム	17-1
17.1	水質モニタリング・システム	17-1
17.2	大気環境モニタリング・システム	17-17
第18章	環境管理体制	18-1
18.1	水質に関する環境管理体制	18-1
18.2	大気に関する環境管理体制	18-4
第19章	総括	19-1
19.1	結論	19-1
19.2	提言	19-5

#### 参考文献

#### 添付資料リスト

添付資料 - 1	土壌成分濃度分布図	(1) ~ (13)
添付資料 - 2	Nano-TEM 探査解析断面図	(1) ~ (10)
添付資料 - 3	重力探査解析断面図	(1) ~ (12)
添付資料 - 4	ボーリング地質柱状図	(1) ~ (13)
添付資料 - 5	揚水試験解析図	(1) ~ (22)
添付資料 - 6	ボーリング孔内成分濃度分布図	(1) ~ (64)
添付資料 - 7	既存モニタリング水質成分濃度分布図	(1) ~ (36)
添付資料 - 8	気象モニタリング測定結果	(1) ~ (30)

## 図 表 一 覧

### (図面)

図 1.1	調査対象地域	1-3
図 1.2	調査フロー (1)～(2)	1-4
図 2.1	調査地域地形図	2-2
図 2.2	地形区分図	2-3
図 2.3	地形傾斜図	2-4
図 2.4	ワジ・スーク川の流域平面図	2-5
図 2.5	地質図	2-7
図 2.6	地質構造図	2-9
図 2.7	調査地域の水系図	2-11
図 2.8	ワジ・スーク川沿いの地形・地質状況(1)～(2)	2-12
図 2.9	ワジ・スーク川の河川断面図	2-15
図 2.10	調査範囲の水井戸の分布	2-18
図 3.1	地化学調査用土壌試料採取地点	3-2
図 3.2	土壌成分別濃度分布図 (1)～(3)	3-4
図 3.3	塩分濃度用土壌試料採取地点	3-8
図 3.4	土壌中の塩分濃度分布図 (1)～(2)	3-11
図 3.5	汚染源からの距離と土壌中の塩分濃度の関連図	3-13
図 3.6	汚染水の漏水経路	3-14
図 4.1	物理探査測線位置図	4-2
図 4.2	比抵抗解析断面図 (1)～(4)	4-4
図 4.3	重力断面解析図 (1)～(4)	4-9
図 5.1	ボーリング調査位置図	5-2
図 5.2	ボーリング調査の配置図	5-4
図 5.3	ボーリング地質柱状図(1)～(12)	5-5
図 5.4	ワジ・スーク川沿いの地質断面図	5-17
図 5.5	ボーリング孔内水位	5-19
図 5.6	現場揚水試験解析図	5-21
図 5.7	ボーリング孔内水の水質濃度分布図 (1)～(6)	5-26
図 5.8	汚染源からの距離と水質の関係 (1)～(4)	5-36
図 5.9	ボーリング孔内水の水質関連図	5-43
図 5.10	汚染範囲	5-45
図 6.1	廃さいの飛散分布図	6-4
図 6.2	SP-2 地点周辺の土壌中の塩素濃度分布	6-9

図 6.3	ズリの分布	6-10
図 6.4	ラサイル鉱山周辺のズリの分布	6-11
図 6.5	ラサイル・ウエスト鉱山周辺のズリの分布	6-12
図 6.6	アージャ鉱山周辺のズリの分布	6-13
図 6.7	ベイダ鉱山周辺のズリの分布	6-14
図 6.8	廃さいおよびズリの溶出試験結果 (1)～(2)	6-18
図 6.9	OMCO 製錬所年度別生産成績	6-24
図 6.10	OMCO ソハール製錬所フローシート	6-25
図 6.11	OMCO-Sohar 製錬所内の配置図	6-26
図 7.1	既存モニタリング調査採水地点	7-2
図 7.2	既存モニタリング調査の地下水位変化図	7-3
図 7.3	モニタリング調査の濃度分布図(1)～(6)	7-12
図 7.4	水質関連図	7-21
図 7.5	ワジ・スーク川沿いのモデリング	7-23
図 7.6	初期地下水位	7-24
図 7.7	現状の塩分濃度	7-27
図 7.8	地下水シミュレーション結果：現状のままでの 10 年後の塩分濃度分布	7-29
図 7.9	地下水シミュレーション結果：現状のままでの 20 年後の塩分濃度分布	7-30
図 7.10	地下水シミュレーション結果：現状のままでの 30 年後の塩分濃度分布	7-31
図 7.11	KM14 地点での遮水の有無による KM14 地点下流域での経時的塩分濃度変化	7-32
図 7.12	KM14 地点での遮水の有無による第 2 地点での経時的塩分濃度変化	7-33
図 7.13	KM14 地点での遮水の有無による Falaj al Qabail での経時的塩分濃度変化	7-34
図 8.1	環境大気モニタリング地点	8-2
図 8.2	降下ばいじんの化学分析結果(1)～(2)	8-7
図 8.3	気象観測地点	8-13
図 8.4	2000 年 6 月から 2001 年 2 月までの風配図	8-15
図 8.5	SO <sub>2</sub> 地上濃度実測値とシミュレーション予測値との比較(1)～(2)	8-20
図 8.6	SO <sub>2</sub> 濃度の 24 時間平均最大値の等濃度線図	8-22
図 8.7	SO <sub>2</sub> 濃度の年平均値の等濃度線図	8-23
図 10.1	インタビュー調査地点	10-2
図 11.1	GDP 構成図	11-1
図 11.2	GDP の過去の動向	11-2
図 11.3	コミュニティーの所在地	11-9
図 13.1	ワジ・スーク川沿いの汚染対策地点	13-2
図 13.2	OMCO による廃さい堆積場および蒸発池の計画	13-3
図 13.3	廃さい堆積場内の揚水計画	13-5
図 13.4	廃さい堆積場の被覆材の検討	13-8

図 13.5	トレンチ-2 のグラウト計画の概要	13-11
図 13.6	サブエリア-3、4、5 の汚染対策	13-13
図 13.7	サブエリア-4 における遮水用トレンチの概念設計	13-18
図 13.8	逆浸透膜による水質改善のフロー	13-25
図 13.9	KM14 地点での遮水トレンチ設置 10 年後の塩分濃度分布	13-30
図 13.10	KM14 地点での遮水トレンチ設置 20 年後の塩分濃度分布	13-31
図 13.11	KM14 地点での遮水トレンチ設置 30 年後の塩分濃度分布	13-32
図 13.12	トレンチ-2 での遮水グラウトの有無によるトレンチ-2 の下流側での経時的 塩分濃度変化	13-33
図 13.13	トレンチ-2 での遮水グラウトの有無による KM14 地点での 経時的塩分濃度変化	13-34
図 13.14	トレンチ-2 および KM14 地点での対策 5 年後のワジ・スーク川上流部の 塩分濃度分布	13-36
図 13.15	トレンチ-2 および KM14 地点での対策 10 年後のワジ・スーク川上流部の 塩分濃度分布	13-37
図 13.16	トレンチ-2 および KM14 地点での対策 20 年後のワジ・スーク川上流部の 塩分濃度分布	13-38
図 13.17	トレンチ-2 および KM14 地点での対策 25 年後のワジ・スーク川上流部の 塩分濃度分布	13-39
図 13.18	ワジ・スーク川沿いの汚染対策案-A の概略フロー	13-44
図 13.19	ワジ・スーク川沿いの汚染対策案-B の概略フロー	13-48
図 13.20	ワジ・スーク川沿いの汚染対策案-C の概略フロー	13-51
図 14.1	マスカット市の支払意志額と生存確率の関係（受諾率曲線）	14-10
図 14.2	ソハール市の支払意志額と生存確率の関係（受諾率曲線）	14-11
図 16.1	湿式石灰-石こう排煙脱硫法のフロー	16-3
図 16.2	脱硫対策後の SO <sub>2</sub> の 24 時間最大濃度分布図	16-6
図 16.3	脱硫対策後の SO <sub>2</sub> の年平均濃度分布図	16-7
図 17.1	OMCO 環境 SO <sub>2</sub> 濃度モニタリング地点	17-18
図 18.1	OMCO における環境管理組織	18-5

(表)

表 2.1	調査地域の河川概要	2-10
表 2.2	ワジ・スーク川の水文状況(1)～(2)	2-14
表 2.3	調査地域内の水井戸	2-19
表 2.4	表流水およびファラージの水質	2-17
表 3.1	地化学調査の土壌分析結果	3-3

表 3.2	塩分濃度用土壌分析結果	3-10
表 4.1	物理探査の内容および数量	4-1
表 4.2	物性測定結果	4-13
表 5.1	ボーリング調査の内容	5-3
表 5.2	ボーリング孔の地下水位	5-18
表 5.3	浅層および深層ボーリング孔の地下水位	5-20
表 5.4	現場揚水試験の結果	5-22
表 5.5	現場水質測定および水質分析結果(1)～(2)	5-24
表 5.6	地下水採水深度	5-33
表 5.7	廃さい堆積場からの距離と水質の関係(1)～(4)	5-34
表 5.8	ボーリング孔内水の水質相関表(1)～(2)	5-41
表 5.9	オマーンの水質基準等	5-44
表 6.1	廃さい堆積場について	6-2
表 6.2	廃さいについて	6-3
表 6.3	廃さいおよびズリについて	6-5
表 6.4	リーチング試験の結果(1)～(2)	6-6
表 6.5	鉍山周辺のズリ	6-15
表 6.6	鉍水の水質	6-22
表 6.7	操業成績概要	6-23
表 6.8	OMCO 製錬所主要設備の仕様	6-26
表 6.9	1999 年の硫黄バランス	6-30
表 6.10	亜硫酸ガス濃度測定地点	6-32
表 7.1	水井戸調査結果(1)～(3)	7-5
表 7.2	モニタリング調査分析結果(1)～(4)	7-8
表 7.3	水質相関表(1)～(2)	7-19
表 7.4	浄化対策案の要約	7-25
表 7.5	ワジ・スーク川沿いの汚染地下水の水質	7-28
表 8.1	環境大気モニタリング方法の概要	8-3
表 8.2	SO <sub>2</sub> 、TSP、PM10 のモニタリング結果および基準値との比較(1)～(2)	8-4
表 8.3	降下ばいじんのモニタリングおよび化学分析結果(1)～(2)	8-6
表 8.4	気象観測方法の概要	8-12
表 8.5	2001 年 2 月末までの気象モニタリング結果	8-15
表 8.6	モデルの特徴の比較	8-19
表 8.7	ISCST3 大気拡散シミュレーション・モデルによるセンシティブ・エリアの SO <sub>2</sub> 濃度予測結果	8-25
表 10.1	インタビュー調査結果	10-3
表 11.1	GDP の過去の動向	11-3



表 11.2	輸出入	11-4
表 11.3	国別商品輸入記録	11-4
表 11.4	国別商品輸出・再輸出	11-5
表 11.5	行政区別人口	11-5
表 11.6	アル・バティナ地域の人口分布	11-6
表 11.7	行政区別就業者数の状況	11-6
表 11.8	対象地域内のコミュニティ別人口	11-10
表 11.9	運営・計画中の工場および会社	11-10
表 12.1	現地における技術移転の実績	12-2
表 12.2	日本におけるカウンターパート研修実績	12-3
表 13.1	廃さい堆積場の汚染対策 (OMCO) の評価	13-7
表 13.2	廃さい堆積場汚染対策案のコスト比較	13-9
表 13.3	グラウト工の工程	13-10
表 13.4	掘削除去工の工程	13-14
表 13.5	揚水井戸工の工程	13-16
表 13.6	集水トレンチ工の工程	13-20
表 13.7	揚水井戸工の工程	13-22
表 13.8	RO 処理による除去率	13-24
表 13.9	汚染水処理施設、蒸発池等工事の工程	13-27
表 13.10	汚染水処理施設、蒸発池等工事の工程	13-28
表 13.11	ワジ・スーク川の汚染対策の評価(1)～(2)	13-41
表 13.12	ワジ・スーク川沿いの対策案-A (総合的に最善と考えられる対策案-A の概要)	13-43
表 13.13	汚染対策工事の工程(1)	13-45
表 13.14	ワジ・スーク川沿いの対策案-B (総合的に次善と考えられる対策案-B の概要)	13-47
表 13.15	汚染対策工事の工程(2)	13-49
表 13.16	ワジ・スーク川沿いの対策案-C (技術的に必要最小限と考えられる対策案-C の概要)	13-50
表 13.17	汚染対策工事の工程(3)	13-52
表 13.18	総合的に最善と考えられる対策案-A の費用	13-54
表 13.19	総合的に次善と考えられる対策案-B の費用	13-55
表 13.20	技術的に必要最小限と考えられる対策案-C の費用	13-56
表 14.1	コミュニティ・グループ 1 の地価上昇便益	14-2
表 14.2	コミュニティ・グループ 2 の地価上昇便益	14-3
表 14.3	コミュニティ・グループ 1 の山羊の頭数増加便益	14-4
表 14.4	コミュニティ・グループ 2 の山羊の頭数増加便益	14-5

表 14.5	OMCO による無料飲料水供給コストの節約額	14-6
表 14.6	マスカット市の提示額データ	14-10
表 14.7	マスカット市の分析結果の要約	14-10
表 14.8	ソハール市の提示額データ	14-11
表 14.9	ソハール市の分析結果の要約	14-11
表 14.10	マスカット市の支払い意志額	14-12
表 14.11	ソハール市の支払い意志額	14-13
表 14.12	経済評価指標の値	14-14
表 14.13	コストと便益の流列(1)～(3)	14-15
表 14.14	感度分析結果	14-14
表 15.1	借入先と借入期間	15-2
表 15.2	返済計画要約	15-2
表 15.3	国内銀行借入	15-3
表 15.4	世界銀行借入	15-4
表 15.5	二国間借入(標準案件)	15-5
表 15.6	二国間借入(通常環境案件)	15-6
表 17.1	ソハール鉱山地域の水質モニタリングに 必要なサンプリング・分析計画の項目	17-2
表 17.2	ソハール鉱山地域の必要な水質モニタリング地点	17-3
表 17.3	ソハール鉱山地域の水質モニタリングの現場および分析室における 必要項目(1)～(3)	17-5
表 17.4	ソハール鉱山地域における水質モニタリングに関する フィールド・モニタリング記録に必要な項目	17-12
表 17.5	ソハール鉱山地域の水質モニタリングにおいて必要な 精度管理・品質保証(QA/QC) サンプル	17-14
表 17.6	ソハール鉱山地域の水質モニタリングにおける記録保持指針に必要な項目	17-16
表 17.7	MMEW の大気モニタリング項目	17-19
表 17.8	MMEW による 1999 年大気モニタリング結果	17-19
表 17.9	OMCO による環境 SO <sub>2</sub> 濃度モニタリング結果(1)～(2)	17-20
表 17.10	米国における環境大気質の基準(NAAQS)	17-23
表 17.11	気象モニタリング機器の例	17-25
表 18.1	日本、米国、世銀および WHO の大気質基準	18-7
表 18.2	米国、日本および英国が設置している国立環境大気測定局数	18-8
表 18.3	オマーン国、世銀および日本の銅製錬業に対する排出基準の比較	18-8

## 略 語 一 覧

BOD	: Biochemical Oxygen Demand
CERCLA	: Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
CFR	: Code of Federal Regulations
CVM	: Contingent Valuation Method
CWA	: Clean Water Act
DH	: Drill Hole
EIA	: Environmental Impact Assessment
GDP	: Gross Domestic Product
GDP	: Geophysical Data Processor
EC	: Electric Conductivity
E&E	: E & E Solutions Incorporation
FGD	: Flue Gas Desulfurization
GPS	: Global Positioning System
IRR	: Internal Rate of Return
ISCST3	: Industrial Source Complex Short Term version 3
JICA	: Japan International Cooperation Agency
MCI	: Ministry of Commerce and Industry
MMEW	: Ministry of Regional Municipalities, Environment and Water Resources
MPA	: Maximum Potential Acidity
MRC	: Mitsubishi Materials Natural Resources Development Corporation
Nano-TEM	: Nano-Transient Electromagnetic Method
NAAQS	: US Ambient Air Quality Standards
NCP	: National Oil and Hazardous Pollution Contingency Plan
NPV	: Net Present Value
O&M	: Operation and Maintenance
OMCO	: Oman Mining Co. LLC
OPEC	: Oil Product Economic Committee
ORP	: Oxidation-Reduction-Potential
PEIE	: Public Establishment operates the Sohar Industrial Estate
PM <sub>10</sub>	: Particulate Matter
PS-2	: Pump Station No.2
PVC	: Poly-Vinyl Chloride
QA/QC	: Quality Assurance/Quality Control

RO	: Reverse Osmosis
R. O	: Omani Rial
SAP	: Sampling and Analysis Plan
SOP	: Standard Operating Procedures
S/R	: Smelter/Refinery
TDS	: Total Dissolved Solids
TEMIXX	: Transient Electromagnetic Method
TEM	: Transient Electromagnetic Method
TSP	: Total Suspended Particles
USEPA	: Environmental Protection Agency of Unites States of America
UV	: Ultra Violet
WHO	: World Health Organization
WTP	: Mean of Willingness to Pay

## 第 I 部 : 調査および結果

# 第 1 章 序 論

## 第1章 序論

### 1.1 調査の背景

オマーン国の鉱業活動は、現国王サルタン・カブースの統治が始まった1970年の開国並びに石油・ガスの開発と共に鉱物探査が積極的に進められた。

その結果、1978年Oman Mining Co. L.L.C. (オマーン鉱山公社：OMCO)が設立され、ソハール地域の銅鉱山開発が着手された。1982年にはソハール鉱山および銅製錬所の操業が開始され、1994年に鉱山は銅鉱石の枯渇により閉山した。銅製錬所は1992年以降自山の銅精鉱の低減を補うために、受託中心の買鉱銅製錬を開始し、現在に至っている。

ソハール鉱山は1982年から1994年までの13年間に、ラサイル、ベイダ、アージャおよびラサイル・ウエストの4鉱床から約1,500万tの銅鉱石を採掘・選鉱を行い、隣接する銅製錬所に全量を供給した。

硫化鉱に富む選鉱廃さい量は約1,100万tに達し、ワジ・スーク(川)の最上流部の浅い谷を堰き止めた廃さい堆積場にその全量が処分された。また、選鉱用水は当初全量海水で賄っており、堆積場に投棄された海水は約500万m<sup>3</sup>と見積もられている。

現在、ソハール鉱山の付属施設である廃さい堆積場から浸透による地下水の塩害および重金属汚染が生じており、ワジ・スーク(川)の下流側への汚染拡散が懸念されている。また、稼働中の銅製錬所からの二酸化硫黄(亜硫酸)ガス等を含む排煙による煙害が発生している。

オマーン国の環境保全の取り組みが充実しつつある状況において、ソハール地域の鉱山付属施設等を要因とする地下水汚濁および大気汚染等について、地方自治・環境省(現在、地方自治・環境・水資源省)等の関係省庁は汚染に対し強い関心とその拡散に危惧を表明している。特に、ソハール地域の下流域にはオマーン湾の海岸線に沿って緑地帯が連続し、オマーン国最大の農業地帯であると共に、同国第3の都市であるソハール市を中心に人口密集地帯でもあり、同地区への影響が懸念されている。

### 1.2 調査の目的

本調査の目的を以下に示す。

- ・ 過去の銅鉱山活動および現在も稼働中の銅製錬所を起源とする地下水汚濁および大気汚染の汚染源調査並びに汚染メカニズムの解明を行うこと。
- ・ 対象地域への汚染拡散を軽減するための対策を策定し、対策に係るフィージビリティ調査を実施すること。
- ・ 調査実施中に鉱害防止計画に関する技術移転をカウンターパート機関である商工省(MCI)およびオマーン鉱山分社(OMCO)に対し実施すること。

### 1.3 調査対象地域

調査対象地域は、東側がソハール北部のファラージ・アル・カバイルから西側が OMCO

プラント・サイト西方のスハイラ部落に至る範囲であり、調査面積は約 300km<sup>2</sup>である（図 1.1）。

#### 1.4 調査の内容

本調査は、1)基礎調査、2)詳細調査および3)フィージビリティ調査の3段階からなり、上記目的を遂行するための各段階の作業範囲を下記に示す。

##### 1) 基礎調査段階

- ・ 水文/環境調査
- ・ 物理探査
- ・ ボーリング調査、分析等
- ・ 水文地質状況の把握および地下水汚染メカニズムの検討
- ・ 二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)濃度シミュレーション・モデルの検討

##### 2) 詳細調査段階

- ・ 水文/環境調査
- ・ ボーリング調査、分析
- ・ 聞き取り調査、
- ・ 社会・経済調査等
- ・ 汚染メカニズムの解明および水質汚濁シミュレーション
- ・ 二酸化硫黄濃度シミュレーション
- ・ 水質汚濁および大気汚染防止対策の立案

##### 3) フィージビリティ調査段階

- ・ 水質汚濁防止策の概念設計
- ・ 大気汚染防止策の策定
- ・ 鉱害防止対策の費用積算
- ・ 社会分析、経済・財務分析等の解析
- ・ 本計画の実施可能性についての評価・検討
- ・ オマーン側カウンターパート技術者に対し当該分野の技術移転

#### 1.5 調査のフロー

本調査は図 1.2 (1) ~ (2) に示す調査フローに従って実施されている。



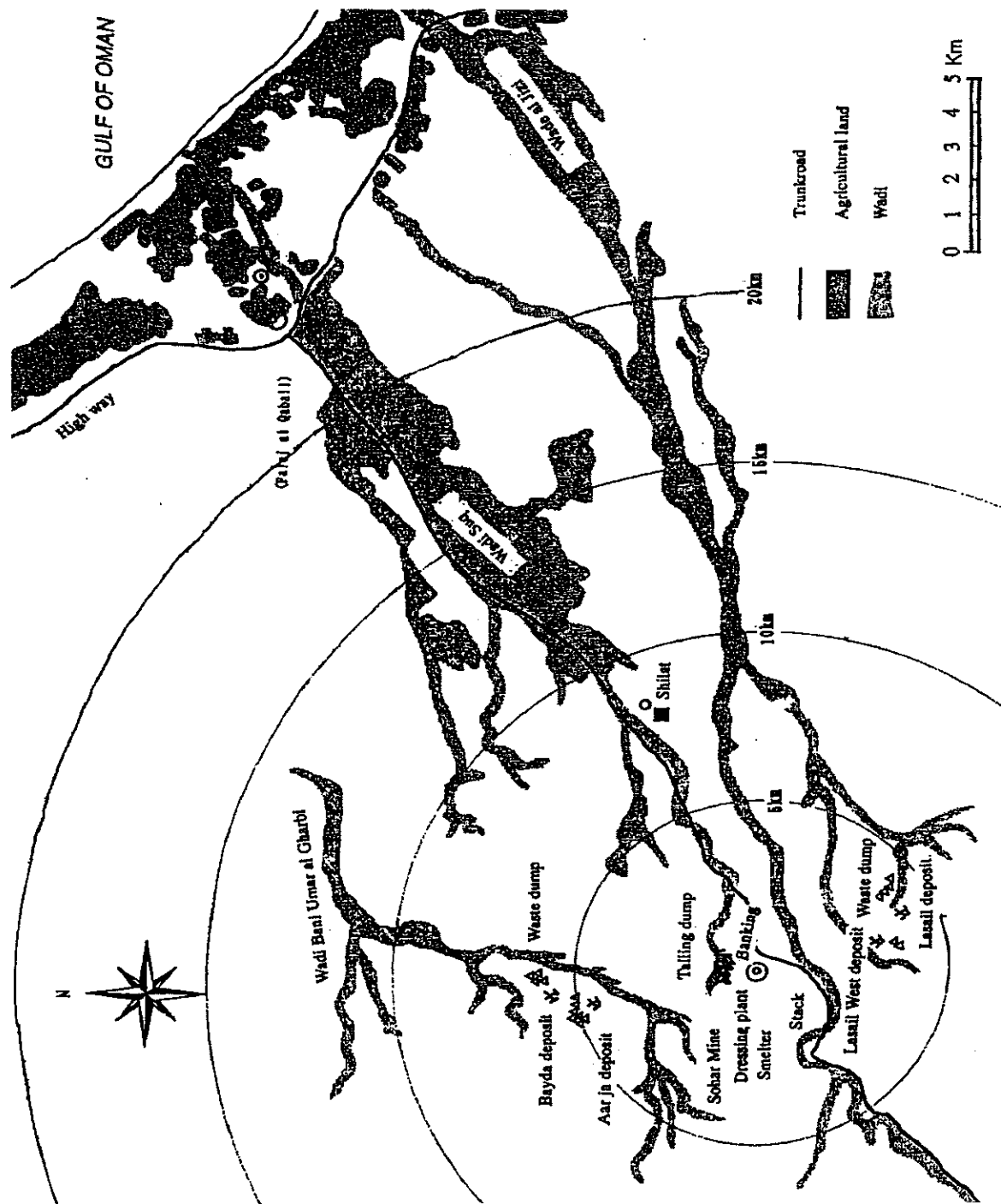


图 1.1 调查对象地域

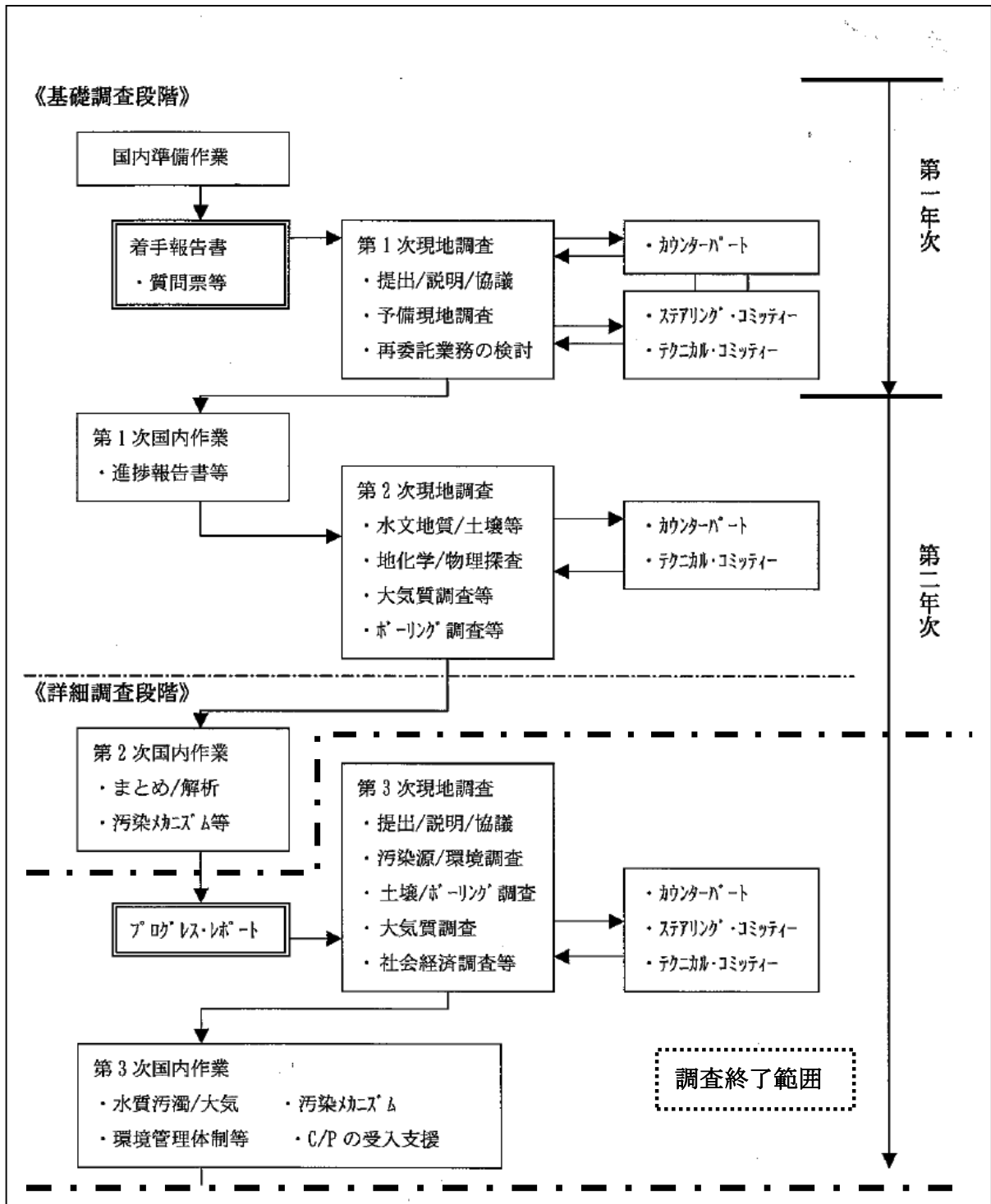


図 1.2 調査フロー (1)

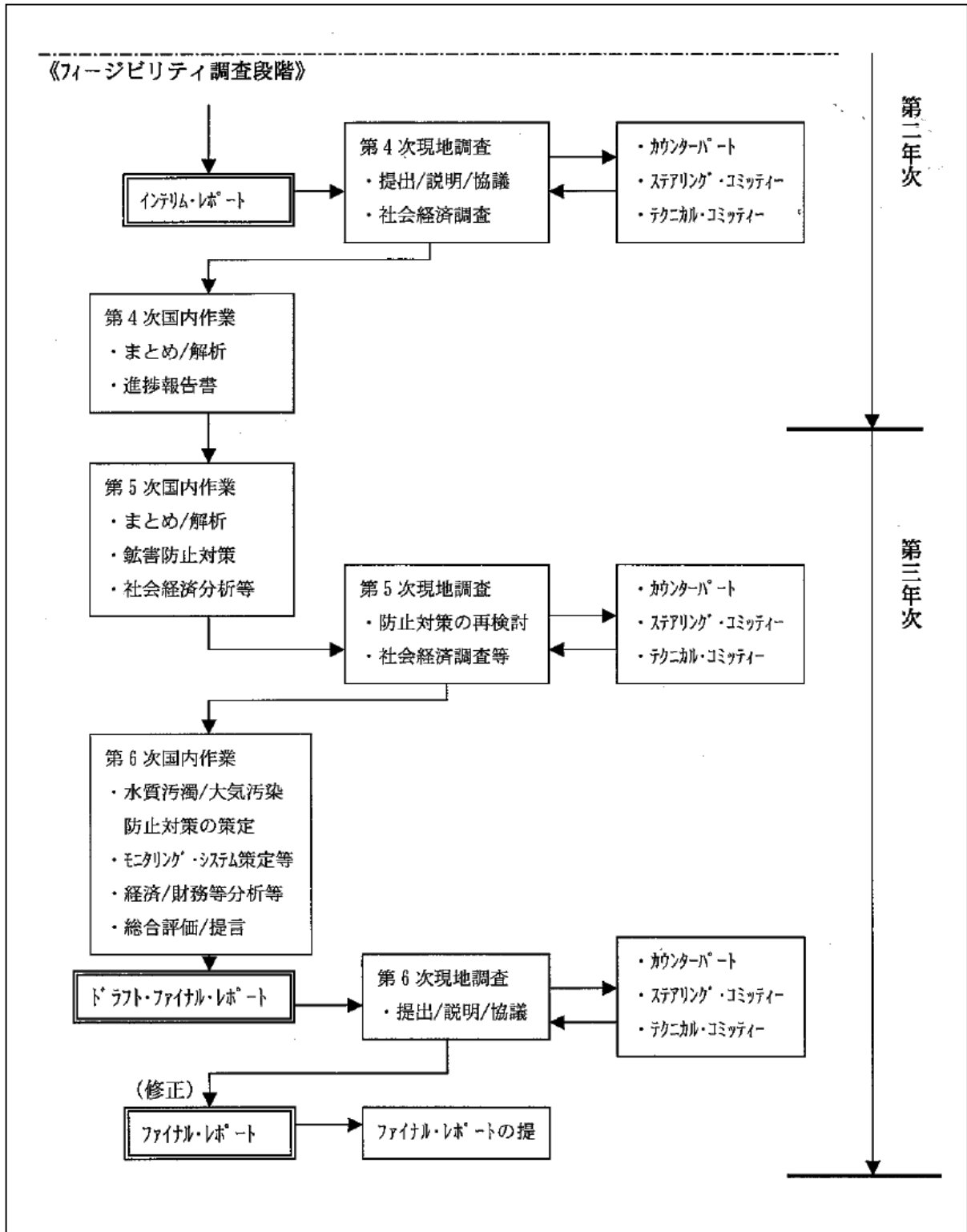


図 1.2 調査フロー (2)

## 1.6 調査組織

本調査に従事した日本側調査員およびオマーン側カウンターパートを以下に示す。

日本側調査団				オマーン側カウンターパート		
総轄	松坂	総一郎	(mrc)	議長	Hilal Mohamed Al-Azri	(MCI)
副総轄	梶間	幹雄	(mrc)	C/P	Khalid Nasir Al-Toobi	(MCI)
副総轄	松崎	憲四郎	(E&E)	C/P	Mohammed S Al-Aufi	(MMEW)
団員	小川	永	(mrc)	C/P	Salim Omar Ibrahim	(MCI)
団員	Randolph C.	Fischer	(E&E)	C/P	Mohad Saeed Al-Masrory	(MMEW)
団員	山根	敬生	(mrc)	C/P	Mohammed Javed Mirza	(MCI)
団員	松久保	和人	(mrc)	C/P	Perfecto C. Lagapa	(OMCO)
団員	石橋	利久	(mrc)	C/P	Saif Au Al-Rashdi	(MCI)
団員	菅原	公平	(mrc)	C/P	Raul S. Tumaliwan	(OMCO)
団員	Mazen E.	Adib	(E&E)			
団員	川村	隆英	(mrc)			

Remarks:

- mrc : 三菱マテリアル資源開発株式会社
- E&E : イー・アンド・イー ソリューションズ株式会社
- MCI : オマーン国商工省
- MMEW : オマーン国地方自治・環境・水資源省
- 議長 : 本調査運営委員会・技術委員会議長
- C/P : カウンターパート