

13.2.5 汚染地下水の処理対策（汚染対策案-7A、7B）

汚染対策により揚水される汚染地下水の総量は 150～350 m³/日であり、汚染地下水は塩分と有害な重金属類を含むことから処理対策が必要である。

汚染地下水の汚染対策案-7A および 7B の 2 案からなる。

- ・汚染対策案 - 7A : 逆浸透膜 (RO) による除去
- ・汚染対策案 - 7B : 蒸発池で全量処理

水処理技術に関する電気分解法、イオン交換法、蒸留法を含む他の技術は溶存物質を除去することはできるが、多量の汚染水の処理には不適當である。また、重金属類の凝集沈殿法による除去では試験の結果十分な除去ができなかったことから水処理には不適當である。

(1) 汚染対策案 - 7A

汚染水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。RO は水から塩化物と硫化物のような陰イオンおよび重金属イオンを有効的に除去することができる水処理技術である。

提案した RO 処理施設の概略的フローを図 13.4 に示す。RO 処理システムは処理水の 50% に相当する約 75～175m³/日の比較的清浄な淡水をつくる。RO 処理による各イオンの除去率を表 13.1 に示す。処理水は家庭用や農業用の水質レベルが確保される。

処理水は KM14 のワジ・スーク川下流域に再注入し、地下水を涵養し地下水位を極端に低下することを防止する。また、現地住民用の農業用水にも使用可能である。

水処理後、約 75～175m³/日の高濃度の塩分および重金属類を含む濃縮水が発生する。この濃縮水はサブエリア-5 区域内に設置する蒸発池に送水され、蒸発乾固される。蒸発池は 2 箇所設置され、乾固物の処理を行うために交互に使用する。

乾固した汚染物質は重金属類を含む塩分であることから、雨水等に再溶解あるいは飛散しないように、最終的に袋詰めにされ、倉庫内に保管される。倉庫はワジ内の表流水の影響のない近隣の段丘面上に設置する必要がある。この一連の水処理により C1 分として 921～2,148kg/日の除去が見積もれる。

<汚染水処理工の内容>

- ・汚染水処理工の仕様を以下に示す。
 - 1) 汚染水処理工の位置 : サブエリア-5 区域内
 - 2) 汚染水処理工の仕様
 - ・汚染水処理量 : 150～350 m³/日
 - ・汚染水処理のフロー : 図13.4参照
 - ・敷地面積 : 0.5 ha
 - 3) 蒸発池の仕様
 - ・処理量 : 75～175 m³/日

**EQUIPMENT LIST FOR
OSMOSIS TREATMENT SYSTEM**

1. Raw Water Storage Tank
2. Pre-Filter Feed Pump
3. Dual Media Pre-Filters
4. First Stage High Pressure Stainless Steel Feed Pump
5. Second Stage High Pressure Stainless Steel Feed Pump
6. Third Stage High Pressure Stainless Steel Feed Pump
7. First Stage Reverse Osmosis Membrane Unit
8. Second Stage Reverse Osmosis Membrane Unit
9. Third Stage Reverse Osmosis Membrane Unit
10. Permeate (Treated Water) Storage Tank
11. Pre-Filter Backwash Pump

**PIPING LIST FOR REVERSE
OSMOSIS TREATMENT SYSTEM**

- A. Extraction System Discharge Piping
(Groundwater from Extraction Wells or Trench)
- B. First Stage Permeate Discharge Line
- C. First Stage Concentrate Discharge Line
- D. Second Stage Permeate Discharge Line
- E. Second Stage Concentrate Discharge Line
- F. Third Stage Permeate Discharge Line
- G. Third Stage Concentrate Discharge Line
- H. Pre-Filter Backwash Discharge Line
- I. Pre-Filter Backwash Feed Line
- J. Treated Water Distribution Line

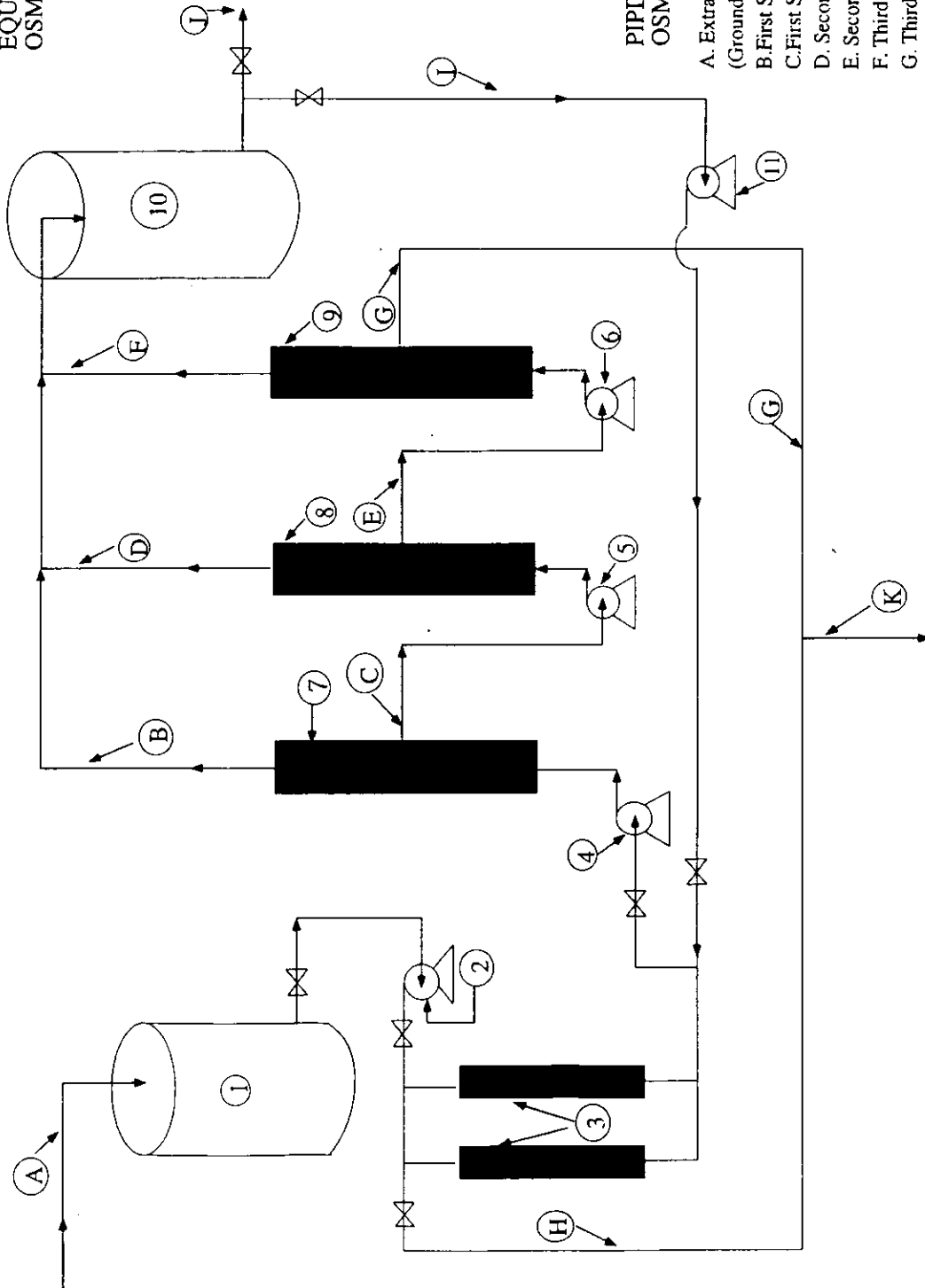


図 13.4 逆浸透膜による水質改善のフロー

表 13.1 RO 処理による除去率

イオン種	汚染地下水 濃度 (mg/L)	処理目標 濃度 (mg/L)	最大許容 濃度 (mg/L)	RO 処理 濃度 (mg/L)	除去率 (%)
Ca	813	200	500	35	95.7
Mg	811	200	500	35	95.7
Na	2,384	200	400	335	85.9
K	95	NA	NA	15	84.2
Fe*	0.272	0.3	1.0	0.01	96.3
Mn	0.18	0.1	0.5	0.01	94.4
As*	0.008	NA	0.01	0.003	62.5
Cu*	0.062	1.0	1.5	0.01	83.9
Cr*	0.21	NA	0.05	0.01	95.2
Pb*	0.3	NA	0.01	0.01	96.7
Ni*	0.033	NA	0.02	0.01	69.7
Zn*	0.082	3.0	5	0.01	87.8
SiO ₂	100	NA	NA	10	90.0
HCO ₃	167	NA	NA	25	85.0
Cl*	6,388	250	600	600	90.6
SO ₄	584	250	400	30	94.9
NO ₃	12	NA	50	5.0	58.3
F	0.5	NA	1.5	0.05	90.0
pH	7.15	6.5-8.0	9	6.5-7.0	NA
TDS	11,500	800	1,500	1,000	91.3

- 注： 1) 処理目標濃度は、オマーン国飲料水水質基準(ドラフト；8/1998)より抜粋。
 2) 最大許容濃度は、オマーン国飲料水水質基準(ドラフト；8/1998)の他に
 水源がない場合、より抜粋
 3) Process Technologies, Colorado, US
 * DH-4S の水質データ(JICA, 2001)および KM-14 の水質データ (MWR, 1995)

- ・ 蒸発池の数量 : 2 箇所
 - ・ 蒸発池のサイズ : 100 x 100 m x 2箇所
 - ・ 蒸発池の面積 : 10,000 m² x 2 箇所
 - ・ 蒸発池の深さ : 1 m (周縁の防水堤の高さ：1m) : 計 2m
 - ・ 蒸発池の容積 : 15,000 m³ x 2箇所
 - ・ 防水材 : 2重HDPE膜による防水
 - ・ 乾固物質量 : 1.6~3.7 t / 日
- 4) 排水設備
- ・ 排水の位置 : 汚染水処理施設から再注入孔へ
- 5) 汚染物質用保管倉庫
- ・ 汚染物質保管量 : 590~1,350 t / 年

	≒ 400～900 m ³ /年
・保管容量	: 4,000～9,000 m ³ (0～10年後) 2,000～4,500 m ³ (10～20年後) 1,000～2,250 m ³ (20～30年後)
・施設の規模	: 40m (幅) x 50m (奥行) x 5m (高さ) x 1～2棟 容積 : 10,000 m ³ /棟

汚染対策案-7A の工事期間は約9ヶ月を要する。総費用はUS\$3,100,000である。

(2) 汚染対策案 - 7B

汚染対策案 - 7B は、揚水した汚染地下水の全量を蒸発池で処理する案である。処理水量は汚染対策案-7A と同様に 150～350 m³/日であり、処理後浄化水はなく、浄化水による下流側への涵養は行われない。したがって、地下水位の低下を生じることになる。

蒸発池の設置箇所は対策案 - 7A と同様にサブエリア-5 区域内に設置する。蒸発池は2箇所設置され、乾固物の処理を行うために交互に使用する。

乾固した汚染物質は重金属類を含む塩分であることから、雨水等に再溶解あるいは飛散しないように、最終的に袋詰めにされ、倉庫内に保管される。倉庫はワジ内の表流水の影響のない近隣の段丘面上に設置する必要がある。この一連の水処理により C1 分として 958～2,236 kg/日の除去が見積もれる。

<汚染水処理工の内容>

・汚染水処理工の仕様を以下に示す。

- 1) 蒸発池の位置 : サブエリア-5 区域内
- 2) 蒸発池の仕様
 - ・処理量 : 150～350 m³/日
 - ・蒸発池の数量 : 2 箇所
 - ・蒸発池のサイズ : 100 x 100 m x 2箇所
 - ・蒸発池の面積 : 10,000 m² x 2箇所
 - ・蒸発池の深さ : 1 m (周縁の防水堤の高さ:1m) : 計 2 m
 - ・蒸発池の容積 : 15,000 m³ x 2箇所
 - ・防水材 : 2重HDPE膜による防水
 - ・乾固物質量 : 1.8～4.1 t /日
- 3) 汚染物質用保管倉庫
 - ・汚染物質保管量 : 660～1,500 t /年
≒ 440～1,000 m³/年
 - ・保管容量 : 4,400 ～ 10,000 m³ (0～10年後)
2,200 ～ 5,000 m³ (10～20年後)
1,100 ～ 2,500 m³ (20～30年後)

- ・施設の規模 : 40m (幅) x 50m (奥行) x 5m (高さ) x 1~2棟
- 容積 : 10,000 m³/棟

汚染対策案-7B の工事期間は約 8 ヶ月を要する。総費用は、US\$ 700,000 である。

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結果

廃さい堆積場にキャッピングし、KM-14 に遮水壁を設置した場合、KM-14 の下流では浄化効果が著しく、C1 濃度は 30 年間で 600 mg/L 以下に減少している。しかし、KM14 上流側のワジ・スーク川主流を浄化するためにはトレンチ-2 に追加的な対策を行うことが必要となることがわかった (図 13.5)。

13.4 汚染対策案の選定

ワジ・スーク川の汚染対策案について、1) 総合的に最善と考えられる汚染対策案-A、2) 総合的に次善と考えられる汚染対策案-B、3) 技術的に必要最小限と考えられる汚染対策案-C を選定し、以下にその概要を述べる。

総合的に最善と考えられる汚染対策案-A (図 13.6) は、以下のとおりである。

- 1) 廃さい堆積場 : キャッピング、山腹水路による排水 : OMC0 案
- 2) トレンチ-1 および 2 : 揚水、蒸発池で処理 : OMC0 案
- 3) サブエリア-1 : グラウトによる遮水 : 汚染対策案-3
- 4) サブエリア-3 : 掘削除去 : 汚染対策案-4
- 5) サブエリア-4 : 集水トレンチ : 汚染対策案-5B
- 6) サブエリア-5 : 揚水井戸による集水 : 汚染対策案-6A
- 7) 汚染水処理 : RO 処理、蒸発池、浄化水の再注入 : 汚染対策案-7A

スーク・スーク川の汚染対策の期間は 25~30 年を要すると考えられる。汚染対策案-A の工事期間は約 12 ヶ月を要する。サブエリア-5 における汚染水処理工の費用は、総費用は US\$11,900,000 である。

総合的に次善と考えられる汚染対策案-B (図 13.7) は、以下のとおりである。

- 1) 廃さい堆積場 : キャッピング、山腹水路による排水 : OMC0 案
- 2) トレンチ-1 および 2 : 揚水、蒸発池で処理 : OMC0 案
- 3) サブエリア-1 : グラウトによる遮水 : 汚染対策案-3
- 4) サブエリア-3 : 掘削除去 : 汚染対策案-4
- 5) サブエリア-4 : 集水井戸 : 汚染対策案-5A
- 6) 汚染水処理 : RO 処理、蒸発池、浄化水の再注入 : 汚染対策案-7A

スーク・スーク川の汚染対策の期間は 25~30 年を要すると考えられる。汚染対策案-B の工事期間は約 12 ヶ月を要する。サブエリア-5 における汚染水処理工の費用は、総費用は US\$5,300,000 である。

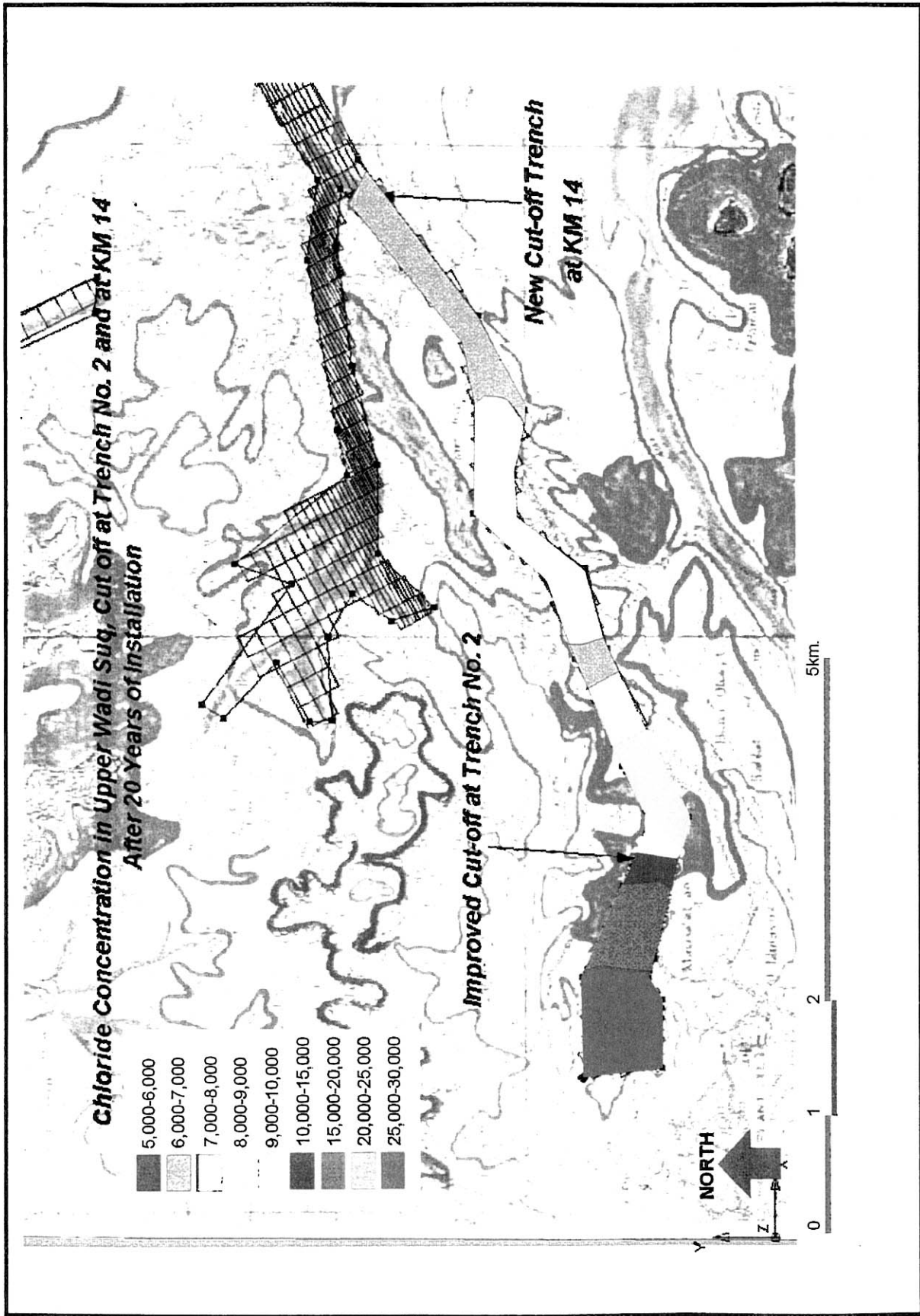


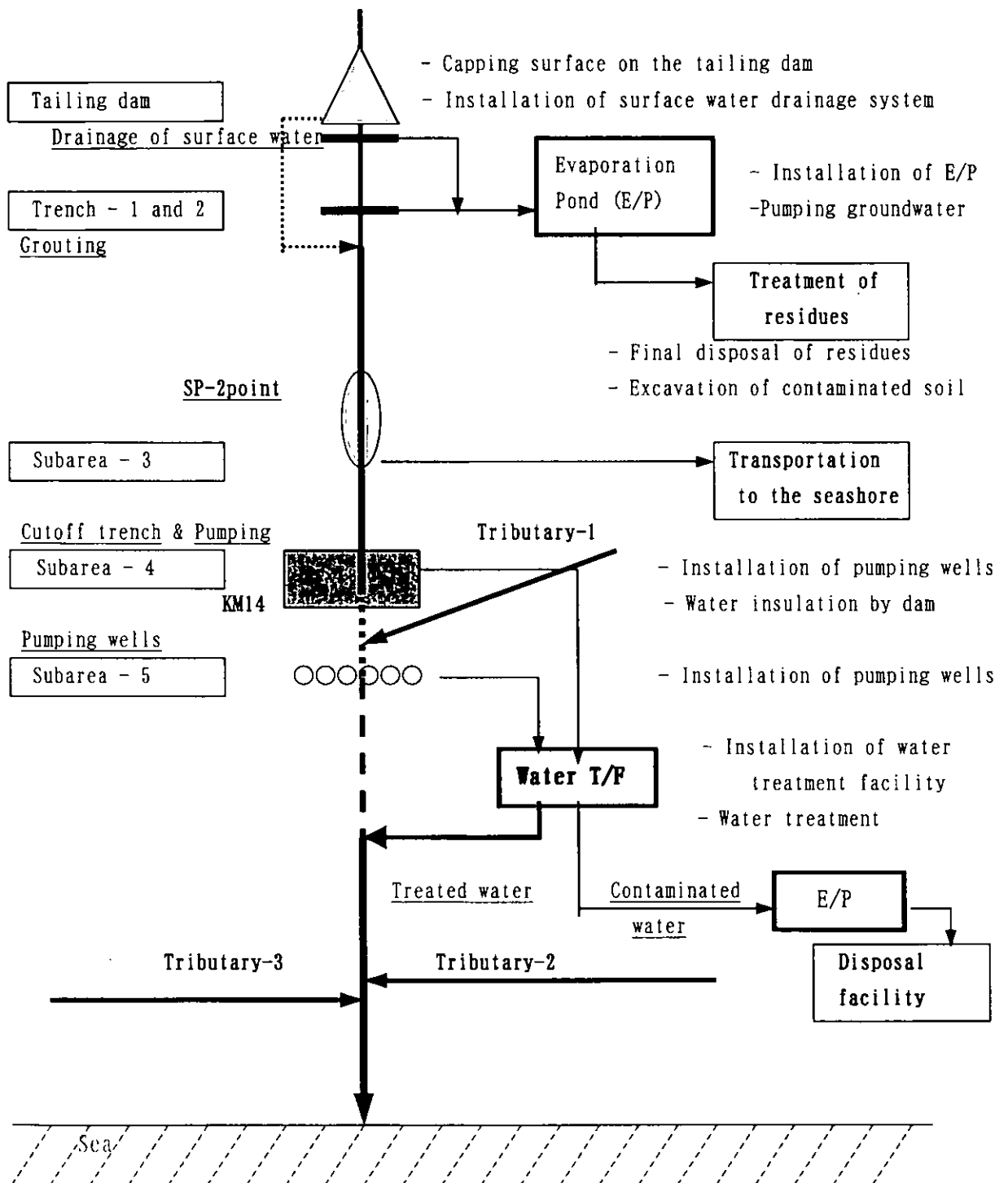
図 13.5 トレンチ - 2 および KM14 地点での対策 20 年後のワジ・スーク川上流部の塩分濃度分布

技術的に必要最小限と考えられる汚染対策案-C (図 13.8) は、以下のとおりである。

- 1) 廃さい堆積場 : キャッピング、山腹水路による排水 : OMC0 案
- 2) トレンチ-1 および 2 : 揚水、蒸発池で処理 : OMC0 案
- 3) サブエリア-4 : 集水井戸 : 汚染対策案-5A
- 4) 汚染水処理 : RO 処理、蒸発池、浄化水の再注入 : 汚染対策案-7A

ワジ・スーク川の汚染地下水の対策として、対策案-C は技術的に必要最小限と考えられる。スーク・スーク川のサブエリア-5 から下流の汚染対策の期間は 25~30 年を要すると考えられるが、サブエリア-2~4 間の地下水汚染の改善はほとんど見込めない。汚染対策案-C の工事期間は約 12 ヶ月を要する。サブエリア-5 における汚染水処理工の費用は、総費用は US\$2,500,000 である。

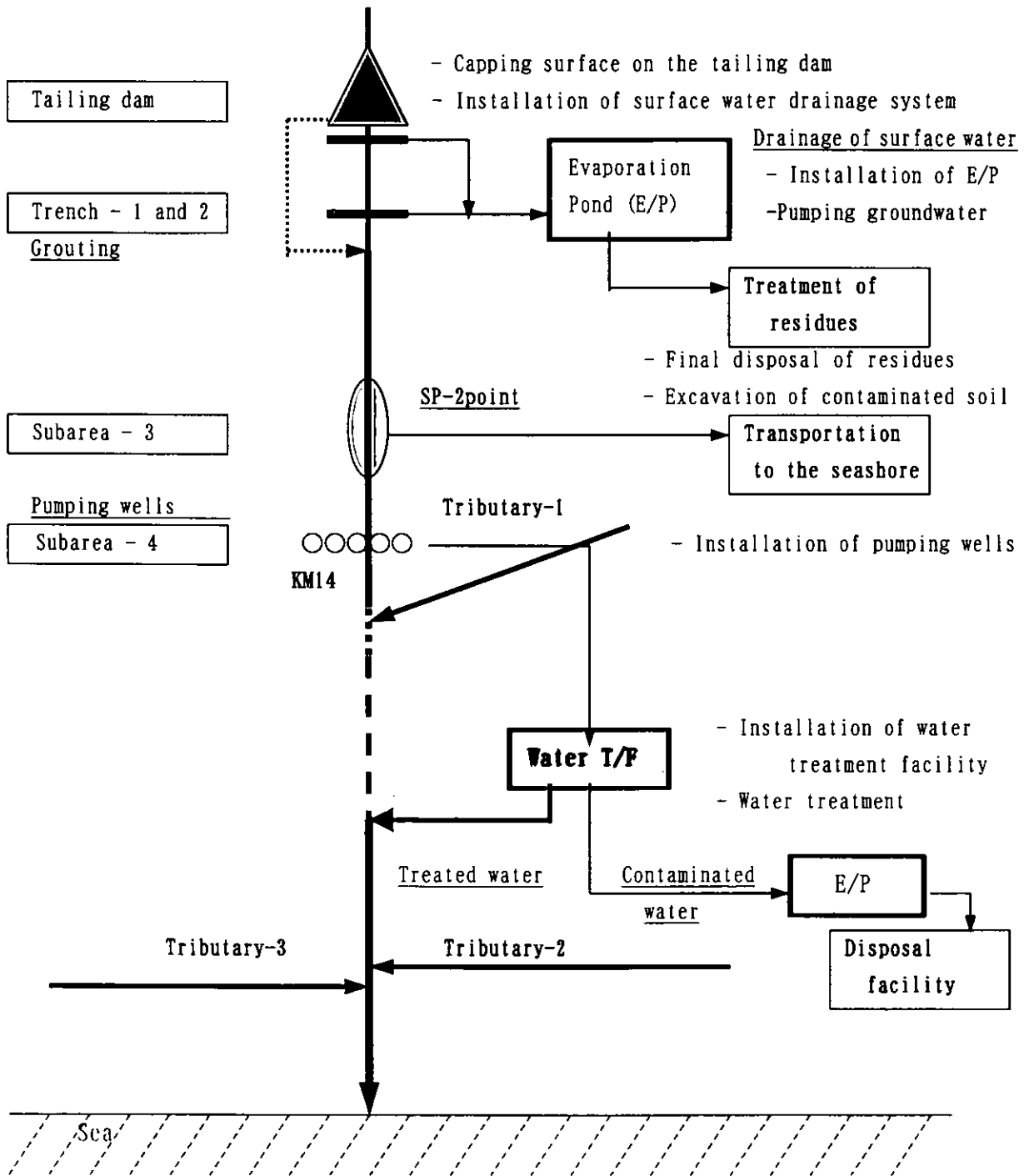
Wadi Suq



Flow of Mine Pollution Countermeasures Alternative-A in the Sohar Mine Area

図 13.6 ワジ・スーク川沿いの汚染対策案-A の概略フロー

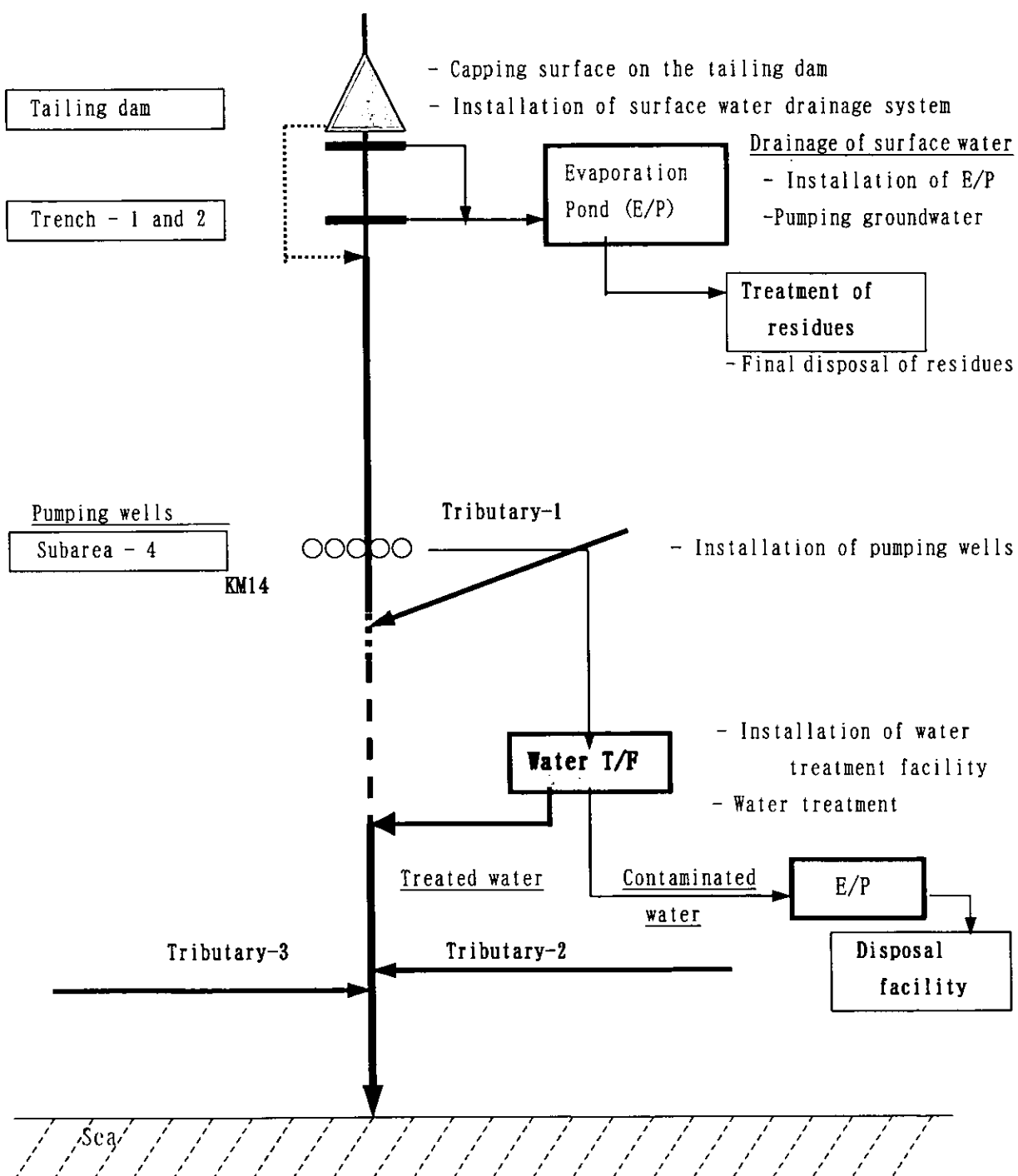
Wadi Suq



Flow of Mine Pollution Countermeasures Alternative-B in the Sohar Mine Area

図 13.7 ワジ・スーク川沿いの汚染対策案-Bの概略フロー

Wadi Suq



Flow of Mine Pollution Countermeasures Alternative-C in the Sohar Mine Area

図 13.8 ワジ・スーク川沿いの汚染対策案-C の概略フロー

第 14 章 経済分析

汚染対策案の建設コストは財務コストであるため、税金等の移転費用を 15%と想定し、建設コストの 75%を経済コストとした。毎年の維持費の経済コストも同様に計上した。

汚染対策案-A の場合、建設コストは 11.9 百万ドルであるから、その経済コストは 10.12 百万ドル、毎年の維持費は 20 万ドルであるから、経済コストとして 17 万ドルを計上した。

プロジェクトの便益を利用価値と非利用価値に分けて数量的把握に努めた。前者の便益として、環境改善による果樹園の土地価格の上昇、山羊の頭数の増加、OMCO の飲料水供給コストの節約を計測し、後者としては対象地区を対策なしに汚染が進むまま放置し、世界的にもユニークな地質・地形を有する土地を放棄することのないよう、この土地の存在価値を支払い意志額にて推定した。

住民あるいは国民がこの地の存在に対しどのような価値を与えているかを把握するために、仮想市場法 (CVM) により支払い意志額の調査を行った。

上記で得られたコストと便益の流列から、以下のように各経済評価指標の値が計算された。純現在価値額および費用便益比を計算する場合の割引率として、ここでは 10%を採用した (表 14.1)。

表 14.1 経済評価指標の値

(1) 汚染対策案-A

指標	値
内部収益率	14.0%
純現在価値額	US\$ 4,030,820
費用便益比	3.19

(2) 汚染対策案-B

指標	値
内部収益率	29.2%
純現在価値額	US\$ 10,558,666
費用便益比	6.68

(3) 汚染対策案-C

指標	値
内部収益率	55.2%
純現在価値額	US\$ 13,104,121
費用便益比	10.89

経済指標の値が便益やコストの変化に対しどの程度影響を受けるかを見るために感度分析を、汚染対策案-A について行った。最悪のケース (支払い意志額が 25%減少し、対策コストが 15%上昇する場合) でも、内部収益率は 8.2%と高い値が示され、本対策案が便益や価格の不確実な変化に対してもある程度頑健であると判断できる。

第 15 章 プロジェクトの実施の検討

15.1 プロジェクト資金の調達

15.1.1 負担の考え方

最も望ましい汚染対策案-A の場合で、建設コストとして 11.9 百万ドル、毎年の維持管理費として 20 万ドルが必要となる。必要最小限の対策案 C の場合で建設コストとして 2.5 百万ドル、毎年の維持管理費として 12 万ドルが必要となる。これら建設費ならびに維持管理費の負担は「汚染者負担の原則」から言えばその操業者である OMC0 に求めるのが筋ではある。しかし、OMC0 の経営の現状を考えるとこの多額の建設資金を独自で調達することは困難である。しかも、そもそも銅の製錬は政府の方針のもとで国営企業として行われてきたという経緯を考えると、OMC0 のみにその負担を強いることは公平さを欠くと思われる。

したがって、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 OMC0 に与えることが望まれる。ただ、維持管理費についてはその支払い額がそれほど大きくないこと、支払いが長期にわたること等を考えれば、基本的には OMC0 が経営努力を通じて負担するのが望ましい。

15.1.2 建設コストの調達

OMC0 が建設資金を独自に調達することが困難であるため、資金の調達先を探さなければならぬ。通常、調達先として以下の機関が考えられる。

- ① 政府からの補助金
- ② 国内銀行からの調達
- ③ 諸外国政府あるいは公的金融機関からの資金援助

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、ここ 2～3 年石油およびガスの輸出が低迷していたことによりオマーン国政府の財政も余裕がない状態であったため、すべて補助金ということは考えられないであろう。ただ、石油・ガスの輸出が上向いてきた今日では、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。補助金以外には②～③のように借入に頼らざるを得ないが、この場合、借入額、借入利率、償還期間、据置期間を十分検討し、借入先の検討を行うことが肝要である。ここでは表 15.1 の借入条件のもとで元利返済について検討を行った。

15.1.3 償還計画

汚染対策案-A の場合について、上記の借入先、借入条件のもとで、借入の割合が 100%、50% および 30% の場合の償還計画を検討し、その結果を表 15.2 にまとめた。国内銀行からの借入は、借入期間が短期であるため、借入割合が少なくても毎年度の返済額がかなりの額となる。

表 15.1 借入先と借入期間

借入先	案件のタイプ	利率	償還期間	据置期間
国内銀行	一般案件	8.0%	5年	0年
国際金融機関	標準案件	12.0%	20年	5年
外国政府借款	標準案件	3.0%	25年	7年
外国政府借款	通常環境案件	2.5%	25年	7年

30%の借入でも年間の最小元利返済額は約 79 万ドルにも達する。したがって、国内の銀行からの借款は難しく、借款を行う場合には借入期間ならびに据置期間についての交渉が非常に重要である。

当然のことであるが、借入にあたっては条件のよい諸外国政府の援助を求めるのがよいが、オマーン国のように所得の高い国においてはこのような借入は難しいと思われる。

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。表 15.2 に各機関からの返済計画の詳細を示す。

表 15.2 返済計画要約

(金額単位：US\$)

借入先		元利返済合計	年間最大返済額	年間最小返済額	最終返済年度
国内銀行	100%借入	25,240,000	2,944,800	2,374,000	2007
	50%借入	12,917,800	1,662,000	1,187,000	2007
	30%借入	12,568,000	1,108,000	791,000	2007
国際金融機関	100%借入	37,349,000	2,108,000	594,000	2026
	50%借入	18,675,000	1,009,000	297,000	2026
	30%借入	16,407,000	673,000	198,000	2026
外国政府借款 (標準)	100%借入	30,155,000	817,000	356,000	2033
	50%借入	15,077,000	408,000	178,000	2033
	30%借入	14,009,000	272,000	119,000	2033
外国政府借款 (環境)	100%借入	29,086,000	760,000	297,000	2033
	50%借入	14,543,000	380,000	148,000	2033
	30%借入	13,653,000	253,000	99,000	2033

15.2 技術面からの支援

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。オマーン国政府あるいは OMC0 いずれが対策を実施するにせよ、通常それらをオマーン国内あるいは外国のコンサルタント会社に委託することとなる。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。本対策案では、これらの業務を国内外の民間企業に発注するものとして費用計算を行った。これらの費用を節減し、かつ技術移転を受けることができる方策として、諸外国の技術援助を利用することが可能である。

また、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。

第 III 部 : 提言および総括

第 16 章 大気汚染防止対策

OMCO プラントから排出される主要な大気汚染物質は SO₂ とばいじんであり、ばいじんは Cu、Fe、Zn、As、Cd、Hg 等の重金属成分を多く含んでいる。汚染対策としては、高煙突からの排煙・拡散による大気汚染物質の着地濃度に対する対策が長い間行われてきたが、単に汚染物質を拡散させるだけのものであり、本質的な対策としては不適切である。

具体的な対策としては溶剤注入法、排煙脱硫法の 2 種類があげられるが、現在、最も多く使用されているのは湿式排煙脱硫法であり、OMCO 製錬所における SO₂ 排出削減対策としては湿式石灰-石こう FGD システムが最も適切であると考えられる。

本システムは、排ガス導入工程、SO₂ 除去工程、石灰供給工程、石こう回収工程、廃水処理工程の 5 種類の工程からなる。

大気汚染防止対策としての OMCO プラント向け湿式石灰-石こう FGD システム導入にかかる概算費用は US\$ 20,000,000 であろう。

大気汚染防止対策の有効性を評価することを目的として、OMCO プラントに湿式石灰-石こう FGD システム (SO₂ 除去率 90%) を導入した場合の大気拡散シミュレーションを実施した。シミュレーション結果、SO₂ 除去率 90% の FGD システムが導入された場合、大気環境基準遵守が対象地域全域において達成されることが明らかになった。

第 17 章 環境モニタリング・システム

17.1 水質モニタリング・システム

水質モニタリング・ネットワークは既に構築されている。既存の水質モニタリング・ネットワークの目的は、以下のとおりである。

- ・ワジ・スーク川等における水質汚濁物質移動のモニタリング
- ・水質汚濁物質移動の制御を目的とした対策の有効性を評価するための水質データの入手
- ・地下水流動および水質汚濁物質移動に関するモデルの向上に必要なデータの獲得
- ・汚染源を把握し、地下水処理システムを設計するために必要な地化学データの入手

水質モニタリングについて、より精度および効率の高いモニタリング手法を以下のように提言する。

- ・モニタリング・ネットワークは OMCO の既存井戸に加えて JICA による 25 基の新設井戸および 4 カ所の表層水モニタリング地点を含め 40 カ所に選定する必要がある。
- ・既存井戸における亜鉛メッキ鋼管を直径 4 インチの PVC 管に交換する必要がある。また、16 カ所の JICA 新設井戸に関しては、連続水位測定機器を設置するべきであると考えられる。
- ・モニタリング地点数の削減に加え、モニタリング頻度の減少も図るべきであると考えられる。現在行われている週もしくは月ごとのモニタリングは、水質の傾向を把握する上では必要ではないということである。ソハール鉱山地域の重要な水質変化の傾向を把握するという点においては、年 2 回のモニタリングがより適切であろうと考えられる。年 2 回のモニタリング計画においては、乾季と雨季に各 1 回モニタリングを行うべきであると考えられる。
- ・全モニタリング地点で統一した測定パラメータのリストを作成する必要がある。
- ・モニタリング活動の均質化を図るために、標準取扱法 (SOPs) が確立される必要がある。
- ・統一した精度管理・品質保証 (QA/QC) 手法がフィールド測定および分析所分析において実行される必要がある。
- ・サンプリング・分析計画においては、収集された全ての水質データの確実性、利便性、有用性を高めるために、厳密な記録保持指針を作成する必要がある。
- ・地下水モニタリング・データの解析・評価は地化学者もしくは水質データの解析に熟練した技術者によって行われる必要がある。

17.2 大気環境モニタリング・システム

MMEW は国内に環境大気および気象の常時監視測定局を設置している。ソハール鉱山地域周辺では 1 地点の監視局がある。また、OMCO では OMCO 製錬所から半径 10km 内に 10 カ所の環境大気モニタリング地点を設置している。

現在、MMEW および OMCO はソハール鉱山地域において、独自のモニタリングを行っている。環境大気モニタリングの目的を達成するためには、MMEW と OMCO はそれぞれの役割と責任を十分に果たすと同時に、相互協力体制を構築するべきであると考えられる。それについての提言は以下のとおりである。

- 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ヶ所設置する必要がある。
- ソハール鉱山地域に追加設置される国営の常時監視測定局の選定に関しては、以下の項目について考慮する必要があると考えられる。
 - 1) 排出源の条件: 煙源の位置、大気汚染物質の排出状況、気象
 - 2) レセプターの条件: 住宅地の位置、センシティブ・レセプターの位置、現在認められている大気質の状況
 - 3) 維持管理の条件: アクセスの良さ、耐久性、損傷行為への防御
 - 4) 設置場所としては Aar ja、Rahab、Suhaylah のうちいずれか 1箇所が適切である。
- モニタリング項目は、SO₂、PM₁₀、CO、NO_x、オゾンおよび鉛 の 6 種類の大気汚染物質が考えられ、特にソハール地域では SO₂ のモニタリングが最優先されるべきである。
- ソハール工業地帯の既存の常時監視測定局においては、オンライン式モニタリング・システムが採用されており、ソハール鉱山地域において新設される常時監視測定局についても同様なシステムが望ましい。
- 地域レベルでの気象状況をモニタリングする必要がある、基礎的な情報としての役割の他に、気象データは警報発令日の予測および大気拡散シミュレーション・モデルの構築に利用される。観測項目は風速、風向、気温、日射量、相対湿度、大気圧、天候、降水量からなる。
- OMCO 製錬所に煙源モニタリング・システムを導入することが必要である。実際の SO₂ 煙源モニタリングは煙源測定により実施される。
- OMCO では環境大気中の SO₂ 濃度の測定において溶液導電率法を採用しているが、MMEW の常時監視測定局で採用されている紫外線蛍光分析法に変更するべきである。
- 本調査において、位置的に卓越風の風下側にある OMCO 製錬所の南西部および西部以外の地域は排煙による影響をほとんど受けないことが明らかになった。このため、将来的な大気質モニタリング位置設定ではより小規模のモニタリング・ネットワークを設置することであり、その候補はラハブ、スハイラ、マガンが挙げられる。
- モニタリング・システムの計画において、MMEW と OMCO はともにモニタリング・データの共有を考慮するべきであると考えられる。

第 18 章 環境管理体制

18.1 水質に関する環境管理体制

水質環境管理体制の強化のための提言を以下に示す。

- ・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。現在のオマーン国の基準は世界的な基準に適合している。
- ・商工省（MCI）の下部機関である鉱物総局（DGM）は、鉱山開発プロジェクトに関して MMEW とより連携することが望ましい。
- ・不適切な有害廃棄物の処分による潜在的な地下水汚染を防止するために、水質や人の健康に対する潜在的なリスクの調査を実施し、有害廃棄物処分場建設のための国家的なシステムに関するフィージビリティ・スタディを実行する必要がある。
- ・有害物質および危険物質の流出等の緊急事に対応するための国家的なシステムを構築する必要がある。

18.2 大気に関する環境管理体制

大気質環境管理体制の強化のための提言を以下に示す。

- ・MMEW および OMCO の現況の環境管理体制および環境管理活動に対する調査結果に基づき、現況の環境管理体制の適正化・効率化に必要と思われる提言を以下に述べる。

(1) MMEW

- a. 大気環境基準の制定
- b. 国家環境大気モニタリング・ネットワークの強化
- c. 銅製錬業に対する排出基準の改善
- d. データベース・システムの構築
- e. 大気汚染防止のための財政援助および支援体制の確立
- f. 人的能力強化

(2) OMCO

- a. 人的能力強化
 - b. データベース・システムの構築
- ・上述の提言を実行するためには MMEW の人的能力強化が不可欠である。適正な人数のスタッフを配置し、研修の機会を提供する必要があると考えられる。

第 19 章 総括

19.1 結論

本調査の結論を以下に述べる。

(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 33km、平均傾斜 0.008 (1:125)、最高海拔標高 275m、流域面積 71km² 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。
- ・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。
- ・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 SO₄ 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。
- ・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 KM14 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、この高濃度の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の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。
- ・ 熔錬部門で使用された冷却水は、冷却水槽で噴霧冷却し再使用している。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 8.15S/m で高く、ワジ・スーク川に沿って減少する。
- ・ Cd、As、Pb、Cu、Zn、SO₄ 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として、汚染物質は Cd、Pb、Cu、SO₄、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³H 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。

(大気質調査)

- ・SO₂濃度の1時間平均値は0.001ppm (3 μg/m³) ~0.835ppm (2,404 μg/m³) の範囲にある。
- ・TSPの24時間平均値は49~332 μg/m³ の範囲にある。
- ・PM₁₀の24時間平均値は33~205 μg/m³ の範囲にある。
- ・降下ばいじん量は0.42~2.90ton/km²/30日の範囲にある。
- ・冬期大気質調査においては、SO₂濃度の1時間平均値は3~2,404 μg/m³ 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SO₂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120 μg/m³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。
- ・各サブエリアの汚染対策案から 1) 総合的に最善と考えられる汚染対策案-A、2) 総合的に次善と考えられる汚染対策案-B、3) 技術的に必要最小限と考えられる汚染対策案-C を選定した。
- ・汚染対策案-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。汚染対策案-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。汚染対策案-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、汚染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フィージブルであると判断できる。
- ・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 16km² 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、ミツバチ等の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。

19.2 提言

本調査の提言を以下に述べる。

(大気汚染防止対策)

- ・製錬所からの大気汚染物質は SO₂ 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 ヶ所設置する必要があり、国営常時監視測定局を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。