

## 第 14 章 經濟分析

## 第14章 経済分析

### 14.1 プロジェクトコスト

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。

### 14.2 プロジェクトの便益

本プロジェクトのような環境対策プロジェクトの便益を数量的に捉えることは難しいが、ここでは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つとめた。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。

#### 14.2.1 土地価格上昇による便益

地下水の汚染により、汚染地区では飲料水をOMCOにより無料で供給しているが、重要な住民の栄養補給源のナツメヤシ等を栽培する果樹園では、ナツメヤシの品質劣化により被害を生じ、果樹園の地価が低下してきている。したがって、対策工事の実施により果樹園の地価が回復する。

対策工事の実施により地価上昇の便益が発生するが、発生のおおきさは場所により異なる。ここでは現在すでに汚染が進んでいる廃さい堆積場からDH-4までの距離にあるサガ、アージャ、ベイダをコミュニティ・グループ1とし、今後対策がなされなければ汚染が発生すると予想されるDH-4からオマーン湾方面にあるクシシェット・アル・ミル、ミシャル・ア・シドゥール、シラー、ファラージ・アル・スークをコミュニティ・グループ2として、それぞれの地価上昇の便益を算定した。推定の前提は以下のとおりである。

- 1) 各コミュニティの果樹園の面積は現地にて推計した。
- 2) 現在の地価はソハール開発庁 (Sohar Development Office)、不動産屋、住民のアンケートから総合的に判断して決定した。ちなみにソハールにおいてはオマーン湾近辺の果樹園の地価は約3~5 R.O./m<sup>2</sup>、国道沿いの地価は8-10R.O./m<sup>2</sup>と推定された。対象地域の地価は海水による地下水の塩分濃度の高い前者の地価よりもかなり低くなり、すでに地下水が汚染されているコミュニティ・グループ1では1R.O./m<sup>2</sup>、今後、汚染が発生されると予想されるコミュニティ・グループ2では1.5R.O./m<sup>2</sup>を現在のそれぞれの地価とした。
- 3) 将来も対策工事がなされない場合は汚染のすすみ具合、対策工事がなされた場合は地下水が浄化される程度により地価が変化するため、表14.1~14.2の3列と4列に示したようにそれぞれのグループの将来の地価を想定した。将来、対策工事がなされない場合の汚染

表 14.1 コミュニティ・グループ 1 の地価上昇便益

年	果樹園の 面積 (m <sup>2</sup> )	単位当たり地価 (R. 0. /m <sup>2</sup> )		地価の総額 (R. 0.)		地価の 差額 (R. 0.)	年当たりの 地価の増額 (R. 0.)	年当たりの 地価の増額 (US\$)
		対策工事を 実施しない	対策工事を 実施する	対策工事を 実施しない	対策工事を 実施する			
2002	27,400	1	1	27,400	27,400	0	0	0
2003	27,400	1	1	27,400	27,400	0	0	0
2004	27,400	1	1	27,400	27,400	0	0	0
2005	27,400	1	1	27,400	27,400	0	0	0
2006	27,400	0.5	1	13,700	27,400	13,700	2,740	7,211
2007	27,400	0.5	1	13,700	27,400	13,700	2,740	7,211
2008	27,400	0.5	1	13,700	27,400	13,700	2,740	7,211
2009	27,400	0.5	1	13,700	27,400	13,700	2,740	7,211
2010	27,400	0.5	1	13,700	27,400	13,700	2,740	7,211
2011	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2012	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2013	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2014	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2015	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2016	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2017	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2018	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2019	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2020	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816
2021	27,400	0	1.5	0	41,100	41,100	4,110	10,816

表 14.2 コミュニティ・グループ 2 の地価上昇便益

年	果樹園の面積 (m <sup>2</sup> )	単位当たり地価 (R. O. /m <sup>2</sup> )		地価の総額 (R. O. )		地価の差額 (R. O. )	年当たりの地価の増額 (R. O. )	年当たりの地価の増額 (US\$)
		対策工事を 実施しない	対策工事を 実施する	対策工事を 実施しない	対策工事を 実施する			
2002	12,400	1.5	1.5	18,600	18,600	0	0	0
2003	12,400	1.5	1.5	18,600	18,600	0	0	0
2004	12,400	1.5	1.5	18,600	18,600	0	0	0
2005	12,400	1.5	1.5	18,600	18,600	0	0	0
2006	12,400	1	1.5	12,400	18,600	6,200	1,240	3,263
2007	12,400	1	1.5	12,400	18,600	6,200	1,240	3,263
2008	12,400	1	1.5	12,400	18,600	6,200	1,240	3,263
2009	12,400	1	1.5	12,400	18,600	6,200	1,240	3,263
2010	12,400	1	1.5	12,400	18,600	6,200	1,240	3,263
2011	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2012	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2013	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2014	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2015	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2016	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2017	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2018	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2019	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2020	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789
2021	12,400	0.5	2	6,200	24,800	18,600	3,720	9,789

のすすみ具合、対策工事がなされた場合の浄化の程度は図 7.8~7.10 に示されている。対策がなされた場合となされない場合の地価の差が便益として計上されるが、この便益は上記の表の最右欄にドル表示で示されている。

#### 14.2.2 山羊の頭数の増加による便益

十数年前には山羊の頭数は現在より遙かに多く、1世帯あたり多いところでは100頭を超す山羊が飼われていた。現在では地下水の汚染が進み十分な飲み水が確保できず、山羊の飼育頭数は遙かに減少しており、1世帯あたり平均わずか20~30頭となっている。将来、地下水の塩分濃度が低下すれば山羊の頭数は徐々に増加すると予想される。ここでも推定は上記のコミュニティ・

グループ1およびコミュニティ・グループ2のもとでなされた。

推定的前提は以下のとおりである。

- 1) 現在の山羊の頭数はコミュニティごとに現地でカウントしたものである。
- 2) 将来の山羊の頭数はコミュニティ・グループ1においては、対策が実施されない場合は汚染がますます激しくなるため、20年後には半数に減少するが、逆に対策が実施されれば1.5倍に増加すると仮定した。コミュニティ・グループ2においては、汚染の拡散状況が激しくないため、最終的には現在の4分の3に減少するが、対策が実施されると地下水は急激に塩分が低下するため頭数は2倍に増えると仮定された。この仮定は汚染のシミュレーション結果並びに住民へのインタビュー結果をもとに行われた。これらの予測は表14.3および14.4の2列、3列に示されている。この便益は上記の表の最右欄にドル表示で示されている。

表 14.3 コミュニティ・グループ1の山羊の頭数増加便益

年	山羊の飼育数		1頭当たり の山羊の 値段 (R.0./頭)	山羊の総価値額 (R.0.)Price of Goats			価値増加 額 (R.0.)	価値増加 額 (US\$)
	対策工事を 実施しない	対策工事を 実施する		対策工事を 実施しない	対策工事を 実施する	価値額の差		
2002	450	450	30	13,500	13,500	0	0	0
2003	450	450	30	13,500	13,500	0	0	0
2004	450	450	30	13,500	13,500	0	0	0
2005	450	450	30	13,500	13,500	0	0	0
2006	431	450	30	12,928	13,500	572	572	1,506
2007	413	450	30	12,380	13,500	1,120	548	1,442
2008	395	450	30	11,855	13,500	1,645	525	1,381
2009	378	450	30	11,352	13,500	2,148	503	1,323
2010	362	450	30	10,871	13,500	2,629	481	1,267
2011	347	467	30	10,410	14,007	3,597	968	2,547
2012	332	484	30	9,969	14,533	4,564	967	2,545
2013	318	503	30	9,546	15,079	5,533	968	2,548
2014	305	521	30	9,141	15,645	6,503	971	2,555
2015	292	541	30	8,754	16,232	7,478	975	2,566
2016	279	561	30	8,383	16,842	8,459	981	2,581
2017	268	582	30	8,027	17,474	9,447	988	2,599
2018	256	604	30	7,687	18,130	10,443	996	2,622
2019	245	627	30	7,361	18,811	11,450	1,007	2,649
2020	235	651	30	7,049	19,517	12,468	1,018	2,680
2021	225	675	30	6,750	20,250	13,500	1,032	2,715

表 14.4 コミュニティ・グループ 2 の山羊の頭数増加便益

年	山羊の飼育数		1頭当たり の山羊の 値段 (R. O. /頭)	山羊の総価値額 (R. O.)			価値増加 額 (R. O.)	価値増加 額 (US\$)
	対策工事を 施さない	対策工事を 実施する		対策工事を 実施しない	対策工事を 実施する	価値額の差		
2002	640	640	30	19,200	19,200	0	0	0
2003	640	640	30	19,200	19,200	0	0	0
2004	640	640	30	19,200	19,200	0	0	0
2005	640	640	30	19,200	19,200	0	0	0
2006	640	694	30	19,200	20,822	1,622	1,622	4,268
2007	640	753	30	19,200	22,581	3,381	1,759	4,629
2008	640	816	30	19,200	24,488	5,288	1,907	5,020
2009	640	885	30	19,200	26,557	7,357	2,069	5,444
2010	640	960	30	19,200	28,800	9,600	2,243	5,903
2011	640	988	30	19,200	29,641	10,441	841	2,212
2012	640	1017	30	19,200	30,506	11,306	865	2,277
2013	640	1047	30	19,200	31,396	12,196	890	2,343
2014	640	1077	30	19,200	32,312	13,112	916	2,411
2015	640	1109	30	19,200	33,255	14,055	943	2,482
2016	480	1141	30	14,400	34,226	19,826	5,771	15,186
2017	480	1174	30	14,400	35,225	20,825	999	2,629
2018	480	1208	30	14,400	36,253	21,853	1,028	2,705
2019	480	1244	30	14,400	37,311	22,911	1,058	2,784
2020	480	1280	30	14,400	38,400	24,000	1,089	2,866

### 14.2.3 OMCO による飲料水の供給コストの節約便益

OMCO は現在汚染されたコミュニティの世帯に飲料水を無料で供給している。飲料水が供給されているコミュニティはコミュニティ・グループ 1 とコミュニティ・グループ 2 の中のミシャル・ア・シドゥールである。この飲料水が供給されているコミュニティはたとえ将来対策事業が実施されても、地下水は飲料に適するほどにはならないため（経済計算期間中）、飲料水の供給は続けなければならない。しかし、対策事業が実施されなければコミュニティ・グループ 2 への無料供給が必要になると予想される。対策事業が実施されればこの無料供給は必要でなくなる故に、この節約が対策事業実施の便益として計上可能となる。

推定的前提は以下のとおりである。

- 1) 将来、無料供給が必要とされる世帯数は 57 世帯とカウントされた。
- 2) 1 世帯あたりの年間の供給量は現在の供給量と同じと仮定し約 96.1m<sup>3</sup>/年とした (OMCO 提供データによる)。
- 3) OMCO が飲料水を供給するのに要するコストは現在の供給コストと同じとし 2.9R. 0. /m<sup>3</sup> とした (OMCO 提供データによる)。

算定された便益は表 14.5 の最右欄に示されている。

表 14.5 OMCO による無料飲料水供給コストの節約額

年	世帯数 (世帯)	1 世帯当 り飲料水供 給量 (m <sup>3</sup> )	1 立方メー トル当 たり の供給コス ト (R. 0. /m <sup>3</sup> )	総供給コスト (R. 0.)	総供給コスト (US \$)
2002	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0
2004	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0
2007	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0
2011	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2012	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2013	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2014	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2015	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2016	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2017	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2018	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2019	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2020	43	96.1	2.9	11,984	31,536
2021	43	96.1	2.9	11,984	31,536

#### 14.2.4 支払い意志額の推計

対象地域は種々の鉱石の埋蔵が予想されるばかりではなく、そのユニークな地質・地形でも世界的に知られている。したがって、この地は十分その存在価値を有しており、この地域を汚染に

任せ見捨てることは避けるべきである。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。この調査はこの地を見捨てないために環境対策費用としていくら支払う用意があるかをアンケート調査により調べた。

調査は対象地域に隣接するソハール市とオマーンの代表として首都のマスカット市の住民に対して行われた。調査はソハール市においては 183 人、マスカット市においては 191 人に対して行われた。調査票を回収した結果、学生、主婦、失業者、無効サンプル等を除いた有職者のソハール市の 150 票、マスカット市の 159 票を有効票として分析を行った。

## (1) 分析理論

### a. 質問方法

CVM における質問方法には自由回答方式、付値ゲーム方式、支払カード方式、二肢選択方式とがあるが、① 回答者が答えやすい、② バイアスが比較的少ない、③ 現在のところ最良と考えられている、二肢選択方式を採用した。

この方式は最初にある金額を回答者に提示し YES か NO で回答してもらい、Yes と答えた人にはそれよりも高い金額を再提示する。また、No と回答した人にはそれよりも低い金額を再提示する。その再提示金額に対し Yes か No で再度答えるという 2 段階にわたり回答してもらう方法である。

### b. パラメトリック・モデルまたはノンパラメトリック・モデル

この方式によって得られた回答者からの支払意志額から平均支払意志額を推定しなければならないが、この推定には「値付けが高くなればなるほど、その値付けをする人がだんだん減少する」という性質を特定の分布関数に当てはめるパラメトリック・モデルと分布関数を仮定しないノンパラメトリック・モデルとがあるが、ここでは母集団平均値や中央値を 1 つの数値として求めることができるパラメトリック・モデルで分析を行った。

### c. 分布関数

このパラメトリック・モデルではロジスティック分布を仮定する方法やワイブル分布を仮定する方法があるが、経済理論のランダム効用モデルに立脚した、CVM では最も標準的なロジスティック分布を仮定して、支払い意志額の平均値を求めた。なお、ワイブル分布による分析は調査によって得られたデータとの適合性が高いと経験的に言われているが、関数の設定に関する理論的背景がなく、なぜ、確率的な分布関数が用いられるかに関する説明が明確になっていない。理論的展開は以下のとおりである。

### d. 理論式

ある環境状態が  $Q^0$  から  $Q^1$  へと悪化するとき、回答者の効用  $U$  が、



$$U = V(Q, M) + \varepsilon$$

で表せるとする。ここで M は所得、 $\varepsilon$  は確率的な誤差項とする。環境保全対策を実施するために T R. O. の提示額に対して賛成と回答する確率は、

$$\begin{aligned} \Pr [\text{Yes}] &= \Pr [U(Q^0, M-T) > U(Q^1, M)] \\ &= \Pr [U(Q^0, M-T) - U(Q^1, M) > \varepsilon^1 - \varepsilon^0] \\ &= 1-G [T] \end{aligned}$$

ここで  $\varepsilon^1$ 、 $\varepsilon^0$  がガンベル分布に従うと仮定すれば、独立な二つのガンベル分布の差はロジスティック分布となるため、上式は以下のように書き換えられる。

$$\Pr [\text{Yes}] = [1 + e^{- (U(Q^0, M-T) - U(Q^1, M))}]^{-1}$$

ここでは二肢選択であるから最初に T という提示額を示し、賛成と答えた人にはより高い TU という金額を提示する。他方、反対と答えた人には低い提示額 TL を示す。回答は Yes - Yes, Yes - No, No - Yes, No - No の 4 種類の組み合わせとなるので、それぞれの回答が得られる確率は、

$$\begin{aligned} \Pr [\text{Yes} - \text{Yes}] &= 1 - G(TU) = P^{YY} \\ \Pr [\text{Yes} - \text{No}] &= G(TU) - G(T) = P^{YN} \\ \Pr [\text{No} - \text{Yes}] &= G(T) - G(TL) = P^{NY} \\ \Pr [\text{No} - \text{No}] &= G(TL) = P^{NN} \end{aligned}$$

ここで観察可能な効用関数の差である  $U(Q^0, M-T) - U(Q^1, M)$  を  $a - b \log T$  という対数線形モデルで特定化すると、最尤法によりパラメータ a と b を推定することが可能となり、このパラメータを用いて支払い意志額の平均値を求めることが可能となる。パラメータを推定する尤度関数は以下のとおりである。

$$\ln L = \sum \{DYY \ln(P^{YY}) + DYN \ln(P^{YN}) + DNY \ln(P^{NY}) + DNN \ln(P^{NN})\}$$

ここで、DYY は回答者が 2 回とも賛成と答えた時に 1、それ以外の時は 0 をとるダミー変数である。DYN は最初に賛成、次に反対、DNY の最初は反対、次に賛成、DNN は最初も次も反対と答えた時に 1 をとり、そうでないときは 0 をとるダミー変数である。

## (2) 推定結果

分析はマスカット市とソハール市とに分けて行われた。それぞれの推定結果は、マスカット市、ソハール市とも対数線形モデルの係数が負であること（提示額の対数値が高くなると回答する確率が低下することを意味するから）、暫定 t 値が高くパラメータは十分統計的に優位であること、尤度比が 0.4 以上（一般的に尤度比は 0.2~0.4 あれば良いとされている）以上と高い値を示して

いることから、推定された平均支払意志額は、使用可能と判断できる。得られたマスカット市の有職者の支払意志額は7 R.O./年、ソハール市のそれは8 R.O.と推定できた。

マスカット市のアンケート結果データは表 14.6、結果の要約は表 14.7 のとおりである。提示額と Yes 確率のグラフは図 14.1 に示してある。ソハール市の対応する図表はそれぞれ表 14.8 および表 14.9、と図 14.2 に示されている。推定された有職者の平均支払意志額を用いて推定されたマスカット市とソハール市の支払い意志額は表 14.10 と表 14.11 に示されている。ただし便益としては最初の 10 年間は大きな便益が期待できないので、計算された支払い意志額の 2 分の 1 のみを計上した。

なお、ソハール市とマスカット市の就業人口は第 6 次 5 カ年計画年度中（2001 年－2005 年）はこの計画に従い年平均 2%で増加すると仮定し、2006 年以降は伸び率は 2 分の 1 となると仮定し、将来の就業者数を予測している。なお、2001 年時点でのマスカット市におけるオマーン人の就業者数は 117,438 人、ソハール市のオマーン人の就業者数は 45,343 人である。

### 14.3 経済評価

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（表 14.12）。なお、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、オマーン国で実施されたプロジェクトの割引率が 6～10%（主として JICA プロジェクト）の範囲であること、世銀の一般的な割引率が 12%であることを勘案し、ここでは 10%を採用した。計算された各経済指標の値は表 14.12 のとおりである。コストと便益の流列は表 14.13(1)～(3) に示した。

内部収益率は、汚染対策案-A：14.0%、汚染対策案-B：29.2%、汚染対策案-C：55.2%、と 10%を超える高い値を示していること、純現在価値額が正で、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、本対策プロジェクトは十分フィージブルであると判断できる。

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。ここでは支払い意志額が受け入れられない可能性を考え、支払い意志額が 5%、10%、15%、20%、25%と減少した場合、それと同時に汚染対策コストが 5%、10%、15%上昇した場合の感度分析を行った。その結果は表 14.14 に示されているように、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、本汚染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。上記では定量的な便益についてのみ取り上げたが、対策案の実施により以下のような定性的な便益も得られる。

- 経済計算期間中の 20 年以降になっても何らの対策もなされなければ、ファラージ・アル・カバイルやマジスまで濃い塩分濃度を持つ地下水が流れ込むようになり、ここでの地下水が今以上に汚染されることになるであろう。この結果ここにあるおよそ 16km<sup>2</sup>の果樹園が果実の品質の低下等の影響を被ることになる。

表 14.6 マスカット市の提示額データ

区分	最初の提示額 (R.O.)	2回目のより高い提示額 (R.O.)	2回目のより低い提示額 (R.O.)	Yes-Yes の回答数	Yes-No の回答数	No-Yes の回答数	No-No の回答数
1	2	5	1	8	1	2	0
2	5	10	2	4	4	16	6
3	10	20	5	1	8	7	15
4	20	30	10	0	0	2	18
5	30	40	20	0	0	1	13
6	40	50	30	0	0	0	4
7	50	75	40	0	0	0	17
8	75	100	50	0	0	0	11
9	100	250	75	0	0	0	8
10	250	500	100	0	0	0	4

表 14.7 マスカット市の分析結果の要約

説明変数	パラメータ
定数項 (t-値)	3.4415 (5.824)
係数 (t-値)	- 2.2471 (- 6.959)
尤度比	0.8447
支払い意志額の平均値	6.54 R.O.

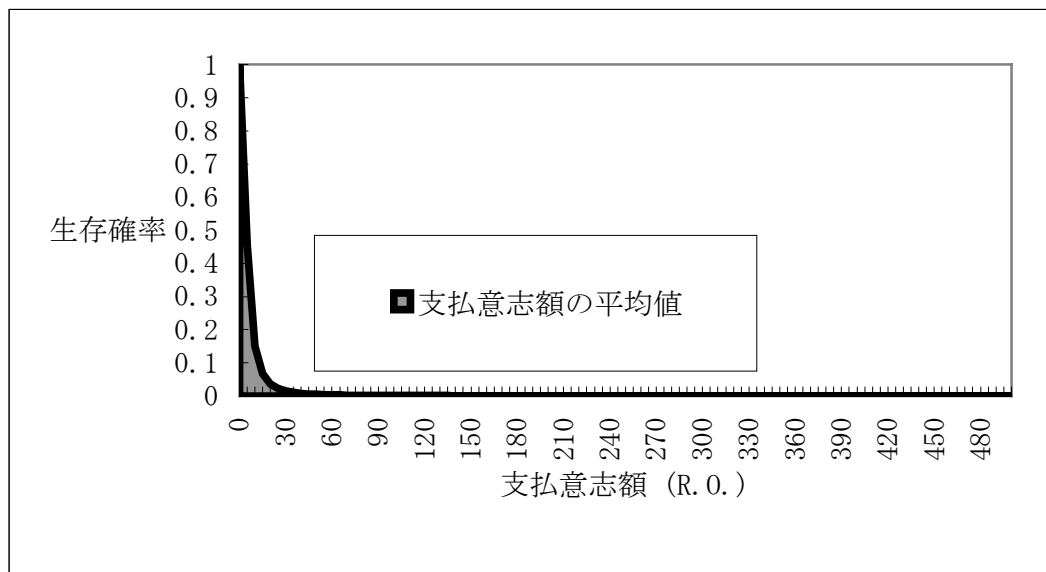


図 14.1 マスカット市の支払意志額と生存確率の関係 (受諾率曲線)

表 14.8 ソハール市の提示額データ

区分	最初の提示額 (R.O.)	2回目のより高い提示額 (R.O.)	2回目のより低い提示額 (R.O.)	Yes-Yes の回答数	Yes-No の回答数	No-Yes の回答数	No-No の回答数
1	2	5	1	10	3	2	0
2	5	10	2	3	6	5	1
3	10	20	5	1	3	7	10
4	20	30	10	0	2	7	14
5	30	40	20	0	0	1	15
6	40	50	30	0	0	0	23
7	50	75	40	0	0	0	17
8	75	100	50	0	0	0	14
9	100	250	75	0	0	0	9
10	250	500	100	0	0	0	5

表 14.9 ソハール市の分析結果の要約

説明変数	パラメータ
定数項 (t-値)	4.6287 (6.453)
係数 (t-値)	- 2.5894 (- 6.856)
尤度比	0.8769
支払い意志額の平均値	7.69 R.O.

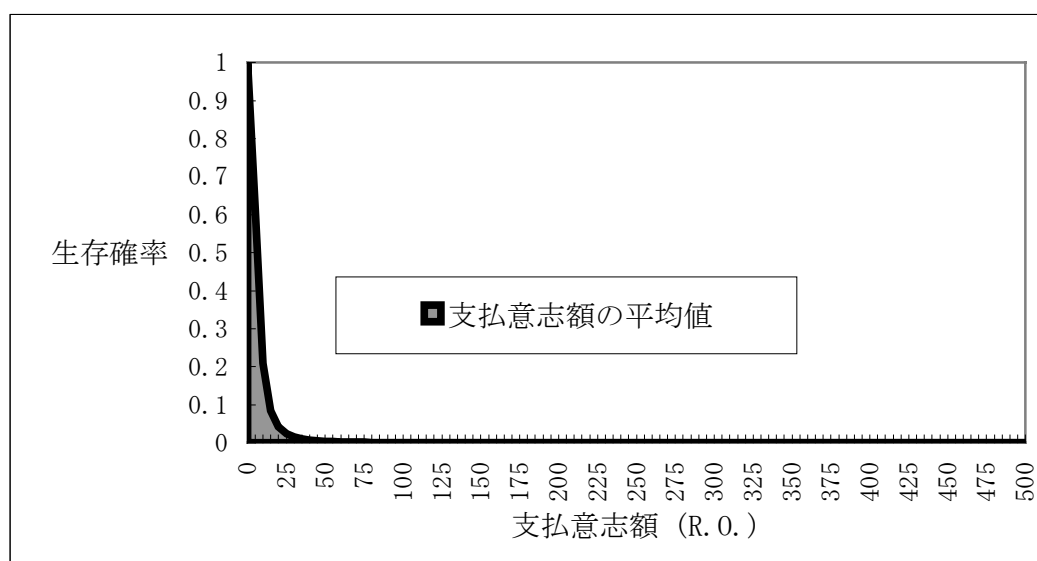


図 14.2 ソハール市の支払意志額と生存確率の関係 (受諾率曲線)

表 14.10 マスカット市の支払い意志額

年	就業者数の 増加率 (%/年)	就業者数 (人)	支払い意志額の 平均 (R.O./人)	支払い意志額の 総額 (R.O.)	支払い意志額の総額 (US\$)
2001	2.291	117,438			
2002	2.291	120,129	6.54	785,642	2,067,479
2003	2.291	122,881	6.54	803,641	2,114,845
2004	2.291	125,696	6.54	822,053	2,163,296
2005	2.291	128,576	6.54	840,886	2,212,857
2006	1.1455	130,049	6.54	850,518	2,238,206
2007	1.1455	131,538	6.54	860,261	2,263,844
2008	1.1455	133,045	6.54	870,115	2,289,777
2009	1.1455	134,569	6.54	880,082	2,316,006
2010	1.1455	136,111	6.54	890,164	2,342,536
2011	1.1455	137,670	6.54	900,360	2,369,370
2012	1.1455	139,247	6.54	910,674	2,396,511
2013	1.1455	140,842	6.54	921,106	2,423,963
2014	1.1455	142,455	6.54	931,657	2,451,729
2015	1.1455	144,087	6.54	942,329	2,479,814
2016	1.1455	145,738	6.54	953,124	2,508,220
2017	1.1455	147,407	6.54	964,042	2,536,952
2018	1.1455	149,096	6.54	975,085	2,566,013
2019	1.1455	150,803	6.54	986,254	2,595,406
2020	1.1455	152,531	6.54	997,552	2,625,137
2021	1.1455	154,278	6.54	1,008,979	2,655,208

表 14.11 ソハール市の支払い意志額

年	就業者数の 増加率 (%/年)	就業者数 (人)	支払い意志額の 平均 (R. O. /人)	支払い意志額の 総額 (R. O. )	支払い意志額の総 額 (US\$)
2001	2.291	45,343			
2002	2.291	46,381	7.69	356,672	938,612
2003	2.291	47,444	7.69	364,844	960,115
2004	2.291	48,531	7.69	373,202	982,111
2005	2.291	49,643	7.69	381,752	1,004,612
2006	1.1455	50,211	7.69	386,125	1,016,119
2007	1.1455	50,787	7.69	390,548	1,027,759
2008	1.1455	51,368	7.69	395,022	1,039,532
2009	1.1455	51,957	7.69	399,547	1,051,440
2010	1.1455	52,552	7.69	404,124	1,063,484
2011	1.1455	53,154	7.69	408,753	1,075,666
2012	1.1455	53,763	7.69	413,435	1,087,988
2013	1.1455	54,379	7.69	418,171	1,100,451
2014	1.1455	55,002	7.69	422,962	1,113,057
2015	1.1455	55,632	7.69	427,807	1,125,807
2016	1.1455	56,269	7.69	432,707	1,138,703
2017	1.1455	56,913	7.69	437,664	1,151,747
2018	1.1455	57,565	7.69	442,677	1,164,940
2019	1.1455	58,225	7.69	447,748	1,178,284
2020	1.1455	58,892	7.69	452,877	1,191,782
2021	1.1455	59,566	7.69	458,065	1,205,433

表 14.12 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

表 14.14 感度分析結果

支払い意志額とコスト	汚染対策案-A (%)			
	コスト不変	コスト5% 高	コスト10% 高	コスト15% 高
支払い意志額 不変	14.0	13.1	12.6	12.0
支払い意志額 5% 低い	13.3	12.6	11.9	11.3
支払い意志額 10% 低い	12.5	11.8	11.1	10.6
支払い意志額 15% 低い	11.7	11.0	10.4	9.8
支払い意志額 20% 低い	10.9	10.2	9.6	9.0
支払い意志額 25% 低い	10.0	9.4	8.8	8.2

- 対象地域には広大なアル・オンス自然保留地 (Al Ons Nature Reserve) があり、種々の木が植林されている。現在この木には地下水を散水しているが、塩分が濃くなるとこれらの木は確実に枯れ果ててしまうであろう。
- 水質のみならず大気への汚染も除去されると、以前たくさんいたミツバチも帰って来ることが予想される。住民は帰ってきたミツバチにより栄養の高い蜂蜜を得られるようになるであろう。
- 汚染対策が完全になされていることが知られると、今以上に観光客がやってくる可能性が高い。

表 14.13 コストと便益の流列

(1) 汚染対策案-A (単位：US\$)

年	維持管理費	地価額の上昇		山羊の頭数の増加		無料飲料水の供給コストの節約	支払い意志額		総便益	便益－コスト
		グループ 1	グループ 2	グループ 1	グループ 2		マスクット	ソハール		
2002	11,900,000	0	0	0	0	0	0	0	0	-11,900,000
2003	170,000	0	0	0	0	0	951,680	432,052	1,383,732	1,213,732
2004	170,000	0	0	0	0	0	973,483	441,950	1,415,433	1,245,433
2005	170,000	0	0	0	0	0	995,786	452,075	1,447,861	1,277,861
2006	170,000	6,489	2,937	1,356	3,841	0	1,007,193	457,254	1,479,069	1,309,069
2007	170,000	6,489	2,937	1,298	4,166	0	1,018,730	462,492	1,496,112	1,328,112
2008	170,000	6,489	2,937	1,243	4,518	0	1,030,399	467,789	1,513,376	1,343,376
2009	170,000	6,489	2,937	1,190	4,899	0	1,042,203	473,148	1,530,867	1,360,867
2010	170,000	6,489	2,937	1,140	5,313	0	1,054,141	478,568	1,548,588	1,378,588
2011	170,000	9,734	8,811	2,292	1,807	10,785	2,132,433	968,100	3,133,962	2,963,962
2012	170,000	9,734	8,811	2,291	1,855	10,785	2,156,860	979,189	3,169,525	2,999,525
2013	170,000	9,734	8,811	2,293	1,904	10,785	2,181,567	990,406	3,205,500	3,035,500
2014	170,000	9,734	8,811	2,299	1,955	10,785	2,206,556	1,001,751	3,241,892	3,071,892
2015	170,000	9,734	8,811	2,309	2,007	10,785	2,231,832	1,013,226	3,278,705	3,108,705
2016	170,000	9,734	8,811	2,323	13,428	10,785	2,257,398	1,024,833	3,327,312	3,157,312
2017	170,000	9,734	8,811	2,339	2,115	10,785	2,283,257	1,036,572	3,353,613	3,183,613
2018	170,000	9,734	8,811	2,360	2,171	10,785	2,309,411	1,048,446	3,391,718	3,161,718
2019	170,000	9,734	8,811	2,384	2,228	10,785	2,335,866	1,060,456	3,430,264	3,260,264
2020	170,000	9,734	8,811	2,412	2,287	10,785	2,362,623	1,072,603	3,469,256	3,299,256
2021	170,000	9,734	8,811	2,443	2,348	10,785	2,389,687	1,084,890	3,508,698	3,338,698



表 14.13 コストと便益の流列

(単位：US\$)

(2) 汚染対策案-B

年	維持管理費	地価額の上昇		山羊の頭数の増加		無料飲料水の供給コストの節約	支払い意志額		総便益	便益－コスト
		グループ 1	グループ 2	グループ 1	グループ 2		マスクット	ソハール		
2002	5,300,000	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,300,000
2003	102,000	0	0	0	0	0	951,680	432,052	1,383,732	1,281,732
2004	102,000	0	0	0	0	0	973,483	441,950	1,415,433	1,313,433
2005	102,000	0	0	0	0	0	995,786	452,075	1,447,861	1,345,861
2006	102,000	6,489	2,937	1,356	3,841	0	1,007,193	457,254	1,479,069	1,377,069
2007	102,000	6,489	2,937	1,298	4,166	0	1,018,730	462,492	1,496,112	1,394,112
2008	102,000	6,489	2,937	1,243	4,518	0	1,030,399	467,789	1,513,376	1,411,376
2009	102,000	6,489	2,937	1,190	4,899	0	1,042,203	473,148	1,530,867	1,428,867
2010	102,000	6,489	2,937	1,140	5,313	0	1,054,141	478,568	1,548,588	1,446,588
2011	102,000	9,734	8,811	2,292	1,807	10,785	2,132,433	968,100	3,133,962	3,031,962
2012	102,000	9,734	8,811	2,291	1,855	10,785	2,156,860	979,189	3,169,525	3,067,525
2013	102,000	9,734	8,811	2,293	1,904	10,785	2,181,567	990,406	3,205,500	3,103,500
2014	102,000	9,734	8,811	2,299	1,955	10,785	2,206,556	1,001,751	3,241,892	3,139,892
2015	102,000	9,734	8,811	2,309	2,007	10,785	2,231,832	1,013,226	3,278,705	3,176,705
2016	102,000	9,734	8,811	2,323	13,428	10,785	2,257,398	1,024,833	3,327,312	3,225,312
2017	102,000	9,734	8,811	2,339	2,115	10,785	2,283,257	1,036,572	3,353,613	3,251,613
2018	102,000	9,734	8,811	2,360	2,171	10,785	2,309,411	1,048,446	3,391,718	3,289,718
2019	102,000	9,734	8,811	2,384	2,228	10,785	2,335,866	1,060,456	3,430,264	3,328,264
2020	102,000	9,734	8,811	2,412	2,287	10,785	2,362,623	1,072,603	3,469,256	3,367,256
2021	102,000	9,734	8,811	2,443	2,348	10,785	2,389,687	1,084,890	3,508,698	3,406,698

表 14.13 コストと便益の流列

(単位：US\$)

(3) 汚染対策案-C

年	維持管理費	地価額の上昇		山羊の頭数の増加		無料飲料水の供給コストの節約	支払い意志額		総便益	便益-コスト
		グループ 1	グループ 2	グループ 1	グループ 2		マスクット	ソハール		
2002	2,500,000	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,500,000
2003	102,000	0	0	0	0	0	951,680	432,052	1,383,732	1,281,732
2004	102,000	0	0	0	0	0	973,483	441,950	1,415,433	1,313,433
2005	102,000	0	0	0	0	0	995,786	452,075	1,447,861	1,345,861
2006	102,000	6,489	2,937	1,356	3,841	0	1,007,193	457,254	1,479,069	1,377,069
2007	102,000	6,489	2,937	1,298	4,166	0	1,018,730	462,492	1,496,112	1,394,112
2008	102,000	6,489	2,937	1,243	4,518	0	1,030,399	467,789	1,513,376	1,411,376
2009	102,000	6,489	2,937	1,190	4,899	0	1,042,203	473,148	1,530,867	1,428,867
2010	102,000	6,489	2,937	1,140	5,313	0	1,054,141	478,568	1,548,588	1,446,588
2011	102,000	9,734	8,811	2,292	1,807	10,785	2,132,433	968,100	3,133,962	3,031,962
2012	102,000	9,734	8,811	2,291	1,855	10,785	2,156,860	979,189	3,169,525	3,067,525
2013	102,000	9,734	8,811	2,293	1,904	10,785	2,181,567	990,406	3,205,500	3,103,500
2014	102,000	9,734	8,811	2,299	1,955	10,785	2,206,556	1,001,751	3,241,892	3,139,892
2015	102,000	9,734	8,811	2,309	2,007	10,785	2,231,832	1,013,226	3,278,705	3,176,705
2016	102,000	9,734	8,811	2,323	13,428	10,785	2,257,398	1,024,833	3,327,312	3,225,312
2017	102,000	9,734	8,811	2,339	2,115	10,785	2,283,257	1,036,572	3,353,613	3,251,613
2018	102,000	9,734	8,811	2,360	2,171	10,785	2,309,411	1,048,446	3,391,718	3,289,718
2019	102,000	9,734	8,811	2,384	2,228	10,785	2,335,866	1,060,456	3,430,264	3,328,264
2020	102,000	9,734	8,811	2,412	2,287	10,785	2,362,623	1,072,603	3,469,256	3,367,256
2021	102,000	9,734	8,811	2,443	2,348	10,785	2,389,687	1,084,890	3,508,698	3,406,698

## 第 15 章 プロジェクト実施の検討

## 第 15 章 プロジェクト実施の検討

### 15.1 プロジェクト資金の調達

#### 15.1.1 負担の考え方

本プロジェクトの実施には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 OMCO に求めるのが筋ではある。しかし、OMCO 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、OMCO 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。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 OMCO が経営努力を通じて負担するのが望ましい。経営的にどうしても負担が困難な場合は商工省を通じ、政府に補助金を申請することも考えられる。

#### 15.1.2 建設コストの調達

OMCO 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ない。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。

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

### 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。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 15.3～表 15.6 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

表15.3 国内銀行借入

ケース 1-1 (金利：8.0%、償還期間：5年、据置期間：0年) 10.0%借入	ケース 1-2 (金利：8.0%、償還期間：5年、据置期間：0年) 5.0%借入	ケース 1-3 (金利：8.0%、償還期間：5年、据置期間：0年) 3.0%借入
Year	Year	Year
Construction Cost	Construction Cost	Construction Cost
Maintenance Cost	Maintenance Cost	Maintenance Cost
Amortization	Amortization	Amortization
Interest	Interest	Interest
Amortization + Interest	Amortization + Interest	Amortization + Interest
2002	2,002	2002
2003	2,003	2003
2004	2,004	2004
2005	2,005	2005
2006	2,006	2006
2007	2,007	2007
Total	11,935,600	6,232,800
from Government	10,600,000	5,300,000
total + Subsidy	22,535,600	11,532,800

表15.4 世界銀行借入

ケース 2-1 (金利：1.2%、償還期間：20年、据置期間：5年)      ケース 2-2 (金利：1.2%、償還期間：20年、据置期間：5年)      ケース 2-3 (金利：1.2%、償還期間：20年、据置期間：5年)

10.0%借入

5.0%借入

3.0%借入

Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest	Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest	Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest
2002	10,600,000					2,002	10,600,000					2002	10,600,000				
2003		410,000			1,802,000	2,003		410,000			636,000	2003		410,000			901,000
2004		410,000			1,674,800	2,004		410,000			572,400	2004		410,000			837,400
2005		410,000			1,611,200	2,005		410,000			540,600	2005		410,000			805,600
2006		410,000			1,547,600	2,006		410,000			508,800	2006		410,000			773,800
2007		410,000	530,000	1,272,000	1,420,400	2,007		410,000	265,000	636,000	445,200	2007		410,000	176,667	424,000	600,667
2008		410,000	530,000	1,144,800	1,293,200	2,008		410,000	265,000	572,400	413,400	2008		410,000	176,667	381,600	558,267
2009		410,000	530,000	1,081,200	1,229,600	2,009		410,000	265,000	540,600	381,600	2009		410,000	176,667	360,400	537,067
2010		410,000	530,000	1,017,600	1,166,000	2,010		410,000	265,000	508,800	349,800	2010		410,000	176,667	339,200	515,867
2011		410,000	530,000	954,000	1,038,800	2,011		410,000	265,000	477,000	318,000	2011		410,000	176,667	318,000	494,667
2012		410,000	530,000	890,400	911,600	2,012		410,000	265,000	445,200	296,800	2012		410,000	176,667	296,800	473,467
2013		410,000	530,000	826,800	848,000	2,013		410,000	265,000	413,400	275,600	2013		410,000	176,667	275,600	452,267
2014		410,000	530,000	763,200	784,400	2,014		410,000	265,000	381,600	254,400	2014		410,000	176,667	254,400	431,067
2015		410,000	530,000	699,600	720,800	2,015		410,000	265,000	349,800	233,200	2015		410,000	176,667	233,200	409,867
2016		410,000	530,000	636,000	657,200	2,016		410,000	265,000	318,000	212,000	2016		410,000	176,667	212,000	388,667
2017		410,000	530,000	572,400	593,600	2,017		410,000	265,000	286,200	190,800	2017		410,000	176,667	190,800	367,467
2018		410,000	530,000	508,800	530,000	2,018		410,000	265,000	254,400	169,600	2018		410,000	176,667	169,600	346,267
2019		410,000	530,000	445,200	473,467	2,019		410,000	265,000	222,600	148,400	2019		410,000	176,667	148,400	325,067
2020		410,000	530,000	381,600	409,867	2,020		410,000	265,000	190,800	127,200	2020		410,000	176,667	127,200	303,867
2021		410,000	530,000	318,000	346,267	2,021		410,000	265,000	159,000	106,000	2021		410,000	176,667	106,000	282,667
2022		410,000	530,000	254,400	282,667	2,022		410,000	265,000	127,200	84,800	2022		410,000	176,667	84,800	261,467
2023		410,000	530,000	190,800	212,000	2,023		410,000	265,000	95,400	63,600	2023		410,000	176,667	63,600	240,267
2024		410,000	530,000	127,200	148,400	2,024		410,000	265,000	63,600	42,400	2024		410,000	176,667	42,400	219,067
2025		410,000	530,000	63,600	84,800	2,025		410,000	265,000	31,800	21,200	2025		410,000	176,667	21,200	197,867
2026		410,000	530,000	0	0	2,026		410,000	265,000	0	0	2026		410,000	176,667	0	176,667
Total					22,747,600						11,373,800						7,582,533
Subsidy from Government					10,600,000						5,300,000						7,066,667
Total + Subsidy					33,347,600						16,673,800						14,649,200

表15.5 二国間借入（標準案件）

ケース 3-1（金利：3.0%、償還期間：25年、据置期間：7年）  
 ケース 3-2（金利：3.0%、償還期間：25年、据置期間：7年）  
 ケース 3-3（金利：3.0%、償還期間：25年、据置期間：7年）

1.00%借入

5.0%借入

3.0%借入

Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest	Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest	Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest
2002	10,600,000					2,002	10,600,000					2002	10,600,000				
2003		410,000		318,000	318,000	2,003		410,000		159,000	159,000	2003		410,000		106,000	106,000
2004		410,000		318,000	318,000	2,004		410,000		159,000	159,000	2004		410,000		106,000	106,000
2005		410,000		318,000	318,000	2,005		410,000		159,000	159,000	2005		410,000		106,000	106,000
2006		410,000		318,000	318,000	2,006		410,000		159,000	159,000	2006		410,000		106,000	106,000
2007		410,000		318,000	318,000	2,007		410,000		159,000	159,000	2007		410,000		106,000	106,000
2008		410,000		318,000	318,000	2,008		410,000		159,000	159,000	2008		410,000		106,000	106,000
2009		410,000	424,000	305,280	729,280	2,009		410,000	212,000	152,640	364,640	2009		410,000	141,333	101,760	243,093
2010		410,000	424,000	292,560	716,560	2,010		410,000	212,000	146,280	358,280	2010		410,000	141,333	97,520	238,853
2011		410,000	424,000	279,840	703,840	2,011		410,000	212,000	139,920	351,920	2011		410,000	141,333	93,280	234,613
2012		410,000	424,000	267,120	691,120	2,012		410,000	212,000	133,560	345,560	2012		410,000	141,333	89,040	230,373
2013		410,000	424,000	254,400	678,400	2,013		410,000	212,000	127,200	339,200	2013		410,000	141,333	84,800	226,133
2014		410,000	424,000	241,680	665,680	2,014		410,000	212,000	120,840	332,840	2014		410,000	141,333	80,560	221,893
2015		410,000	424,000	228,960	652,960	2,015		410,000	212,000	114,480	326,480	2015		410,000	141,333	76,320	217,653
2016		410,000	424,000	216,240	640,240	2,016		410,000	212,000	108,120	320,120	2016		410,000	141,333	72,080	213,413
2017		410,000	424,000	203,520	627,520	2,017		410,000	212,000	101,760	313,760	2017		410,000	141,333	67,840	209,173
2018		410,000	424,000	190,800	614,800	2,018		410,000	212,000	95,400	307,400	2018		410,000	141,333	63,600	204,933
2019		410,000	424,000	178,080	602,080	2,019		410,000	212,000	89,040	294,040	2019		410,000	141,333	59,360	200,693
2020		410,000	424,000	165,360	589,360	2,020		410,000	212,000	82,680	294,680	2020		410,000	141,333	55,120	196,453
2021		410,000	424,000	152,640	576,640	2,021		410,000	212,000	76,320	288,320	2021		410,000	141,333	50,880	192,213
2022		410,000	424,000	139,920	563,920	2,022		410,000	212,000	69,960	281,960	2022		410,000	141,333	46,640	187,973
2023		410,000	424,000	127,200	551,200	2,023		410,000	212,000	63,600	275,600	2023		410,000	141,333	42,400	183,733
2024		410,000	424,000	114,480	538,480	2,024		410,000	212,000	57,240	269,240	2024		410,000	141,333	38,160	179,493
2025		410,000	424,000	101,760	525,760	2,025		410,000	212,000	50,880	262,880	2025		410,000	141,333	33,920	175,253
2026		410,000	424,000	89,040	513,040	2,026		410,000	212,000	44,520	256,520	2026		410,000	141,333	29,680	171,013
2027		410,000	424,000	76,320	500,320	2,027		410,000	212,000	38,160	250,160	2027		410,000	141,333	25,440	166,773
2028		410,000	424,000	63,600	487,600	2,028		410,000	212,000	31,800	243,800	2028		410,000	141,333	21,200	162,533
2029		410,000	424,000	50,880	474,880	2,029		410,000	212,000	25,440	237,440	2029		410,000	141,333	16,960	158,293
2030		410,000	424,000	38,160	462,160	2,030		410,000	212,000	19,080	231,080	2030		410,000	141,333	12,720	154,053
2031		410,000	424,000	25,440	449,440	2,031		410,000	212,000	12,720	224,720	2031		410,000	141,333	8,480	149,813
2032		410,000	424,000	12,720	436,720	2,032		410,000	212,000	6,360	218,360	2032		410,000	141,333	4,240	145,573
2033		410,000	424,000	0	424,000	2,033		410,000	212,000	0	212,000	2033		410,000	141,333	0	141,333
Total					16,324,000						8,162,000						5,441,333
Subsidy from Government					10,600,000						5,300,000						7,066,667
Total + Subsidy					26,924,000						13,462,000						12,508,000



表15.6 二国間借入 (通常環境案件)

ケース 4-1 (金利: 2.5%、償還期間: 25年、据置期間: 7年)      ケース 4-2 (金利: 2.5%、償還期間: 25年、据置期間: 7年)      ケース 4-3 (金利: 2.5%、償還期間: 25年、据置期間: 7年)  
 100%借入      50%借入      30%借入

Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest	Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest	Year	Construction Cost	Maintenance Cost	Amortization	Interest	Amortization + Interest
2002	10,600,000					2,002	10,600,000					2002	10,600,000				
2003		410,000		265,000	265,000	2,003		410,000		132,500	132,500	2003		410,000		88,333	88,333
2004		410,000		265,000	265,000	2,004		410,000		132,500	132,500	2004		410,000		88,333	88,333
2005		410,000		265,000	265,000	2,005		410,000		132,500	132,500	2005		410,000		88,333	88,333
2006		410,000		265,000	265,000	2,006		410,000		132,500	132,500	2006		410,000		88,333	88,333
2007		410,000		265,000	265,000	2,007		410,000		132,500	132,500	2007		410,000		88,333	88,333
2008		410,000		265,000	265,000	2,008		410,000		132,500	132,500	2008		410,000		88,333	88,333
2009		410,000	424,000	254,400	678,400	2,009		410,000	212,000	127,200	339,200	2009		410,000	141,333	84,800	226,133
2010		410,000	424,000	243,800	667,800	2,010		410,000	212,000	121,900	333,900	2010		410,000	141,333	81,267	222,600
2011		410,000	424,000	233,200	657,200	2,011		410,000	212,000	116,600	328,600	2011		410,000	141,333	77,733	219,067
2012		410,000	424,000	222,600	646,600	2,012		410,000	212,000	111,300	323,300	2012		410,000	141,333	74,200	215,533
2013		410,000	424,000	212,000	636,000	2,013		410,000	212,000	106,000	318,000	2013		410,000	141,333	70,667	212,000
2014		410,000	424,000	201,400	625,400	2,014		410,000	212,000	100,700	312,700	2014		410,000	141,333	67,133	208,467
2015		410,000	424,000	190,800	614,800	2,015		410,000	212,000	95,400	307,400	2015		410,000	141,333	63,600	204,933
2016		410,000	424,000	180,200	604,200	2,016		410,000	212,000	90,100	302,100	2016		410,000	141,333	60,067	201,400
2017		410,000	424,000	169,600	593,600	2,017		410,000	212,000	84,800	296,800	2017		410,000	141,333	56,533	197,867
2018		410,000	424,000	159,000	583,000	2,018		410,000	212,000	79,500	291,500	2018		410,000	141,333	53,000	194,333
2019		410,000	424,000	148,400	572,400	2,019		410,000	212,000	74,200	286,200	2019		410,000	141,333	49,467	190,800
2020		410,000	424,000	137,800	561,800	2,020		410,000	212,000	68,900	280,900	2020		410,000	141,333	45,933	187,267
2021		410,000	424,000	127,200	551,200	2,021		410,000	212,000	63,600	275,600	2021		410,000	141,333	42,400	183,733
2022		410,000	424,000	116,600	540,600	2,022		410,000	212,000	58,300	270,300	2022		410,000	141,333	38,867	180,200
2023		410,000	424,000	106,000	530,000	2,023		410,000	212,000	53,000	265,000	2023		410,000	141,333	35,333	176,667
2024		410,000	424,000	95,400	519,400	2,024		410,000	212,000	47,700	259,700	2024		410,000	141,333	31,800	173,133
2025		410,000	424,000	84,800	508,800	2,025		410,000	212,000	42,400	254,400	2025		410,000	141,333	28,267	169,600
2026		410,000	424,000	74,200	498,200	2,026		410,000	212,000	37,100	249,100	2026		410,000	141,333	24,733	166,067
2027		410,000	424,000	63,600	487,600	2,027		410,000	212,000	31,800	243,800	2027		410,000	141,333	21,200	162,533
2028		410,000	424,000	53,000	477,000	2,028		410,000	212,000	26,500	238,500	2028		410,000	141,333	17,667	159,000
2029		410,000	424,000	42,400	466,400	2,029		410,000	212,000	21,200	233,200	2029		410,000	141,333	14,133	155,467
2030		410,000	424,000	31,800	455,800	2,030		410,000	212,000	15,900	227,900	2030		410,000	141,333	10,600	151,933
2031		410,000	424,000	21,200	445,200	2,031		410,000	212,000	10,600	222,600	2031		410,000	141,333	7,067	148,400
2032		410,000	424,000	10,600	434,600	2,032		410,000	212,000	5,300	217,300	2032		410,000	141,333	3,533	144,867
2033		410,000	424,000	0	424,000	2,033		410,000	212,000	0	212,000	2033		410,000	141,333	0	141,333
Total					15,370,000						7,685,000						5,123,333
Subsidy from Government					10,600,000						5,300,000						7,066,667
Total + Subsidy					25,970,000						12,985,000						12,190,000

## 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OMCO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 Ⅰ 提言および総括

## 第 16 章 大气污染防治对策

## 第 16 章 大気汚染防止対策

### 16.1 大気汚染防止対策の選定

OMCO プラントから排出される主要な大気汚染物質は SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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。従って、本調査においてはより本質的な排出量そのものの削減を目指すものとしたが、溶剤注入法、排煙脱硫法の 2 種類について以下に記述する。

#### 16.1.1 溶剤注入法

溶剤注入法はアルカリ吸収剤を直接燃焼ガスに加え、SO<sub>2</sub> と反応させる方法である。典型的なものは石灰とその化合物を含むカルシウム吸収剤であるが、炭酸化合物が用いられる場合もある。溶剤注入法の脱硫率は 30～60% である。

#### 16.1.2 排煙脱硫法

排煙脱硫法 (FGD) には基本的に再生式と一過式の 2 種類のシステムがあり、それぞれに湿式と乾式がある。現在、90% 以上の FGD システムにおいて一過式・湿式システムが採用されている。

一過式では、安価で簡易な除塵システムを用いるが、再生式では高級な吸収剤と精密な除塵システムを通した純粋な SO<sub>2</sub> を反応させることにより、硫黄、硫酸、石膏等を生産することが可能である。再生式 FGD システムは一過式のそれと比べてイニシャルコストが大きいが、その後の廃棄物処理にかかるランニングコストは小さくなる。湿式 FGD システムにおいては、排ガス中の SO<sub>2</sub> は石灰及び石灰石の液体・固体のスラリーで効率的に吸収・除去され、SO<sub>2</sub> の除去率は 90% 以上である。

乾式 FGD システムにおいては、固体の SO<sub>2</sub> 吸収剤が用いられ、除去率は 70～90% であり、湿式に比べてイニシャルコスト、ランニングコストともに小さい。これは、動力と水の使用量が少なく、スラッジ等も発生しないためメンテナンスにかかるコストが小さくなることに起因している。しかし、湿式、乾式 (スプレー法等の半乾式も含む) FGD システムの経済性は立地条件によって大きく異なり、湿式においては石膏のような再生品についても考慮する必要がある。

現在、世界中で使用されている排煙処理技術のうち、最も多く (90% 以上) 使用されているのは湿式排煙脱硫法であり、スプレードライヤー法、溶剤注入法がそれに続く。湿式排煙脱硫法で最も多く使用されている吸収剤は石灰石で、石灰がそれに続く。これらは、吸収剤としての能力とコスト面で優れている。湿式法においては除去率が 90% 以上という非常に効果的な対策を実現することができるため、OMCO 製錬所における SO<sub>2</sub> 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。

## 16.2 基本設計

OMCO プラントに対応した FGD システムの基本設計は、OMCO から提供されたフロー・ダイアグラム及びマス・バランス・データの分析により導き出した以下のデータに基づいて行った。

- 排出速度 : 185,500 m<sup>3</sup>/hr
- SO<sub>2</sub> 放出量 : 4,416 kg/hr
- ダスト放出量 : 62.5 kg/hr を平均値として設定 (1~2 tons/day)
- その他
  - O<sub>2</sub> : 3.0 %
  - CO<sub>2</sub> : 12.0 %
  - H<sub>2</sub>O : 5.0 %
  - N<sub>2</sub> : Balance
- 排ガス圧力 : 20 mmAq と設定
- 排ガス温度 : 523 K

OMCO プラントに導入する FGD システムの基本設計として以下の 2 種類が考えられる。

- 対策案 1: SO<sub>2</sub> 除去率 90%; 現在 OMCO プラント周辺地域に適用されている SO<sub>2</sub> 環境基準 (EEC 基準 : 120 μg/m<sup>3</sup>) の達成を目的とする。
- 対策案 2: SO<sub>2</sub> 除去率 98%; 世銀ガイドラインに定められた銅製錬所の SO<sub>2</sub> 排出基準 (1,000 mg/Nm<sup>3</sup>) の達成を目的とする。

上記の 2 種類の対策案は、機器の仕様等の詳細な点を除けば、脱硫工程、機器、導入費用等はほとんど同じであるため、以下に両対策案について一括して説明する。以下に述べる脱硫工程、機器、導入費用等は詳細設計の実施により若干変更する可能性がある。

### 16.2.1 脱硫工程及び機器

OMCO プラント向け湿式石灰-石こう FGD システムのプロセス・フロー・ダイアグラムを図 16.1 に示す。このシステムは、排ガス導入工程、SO<sub>2</sub> 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。以下に各工程の概要及び使用機器について述べる。

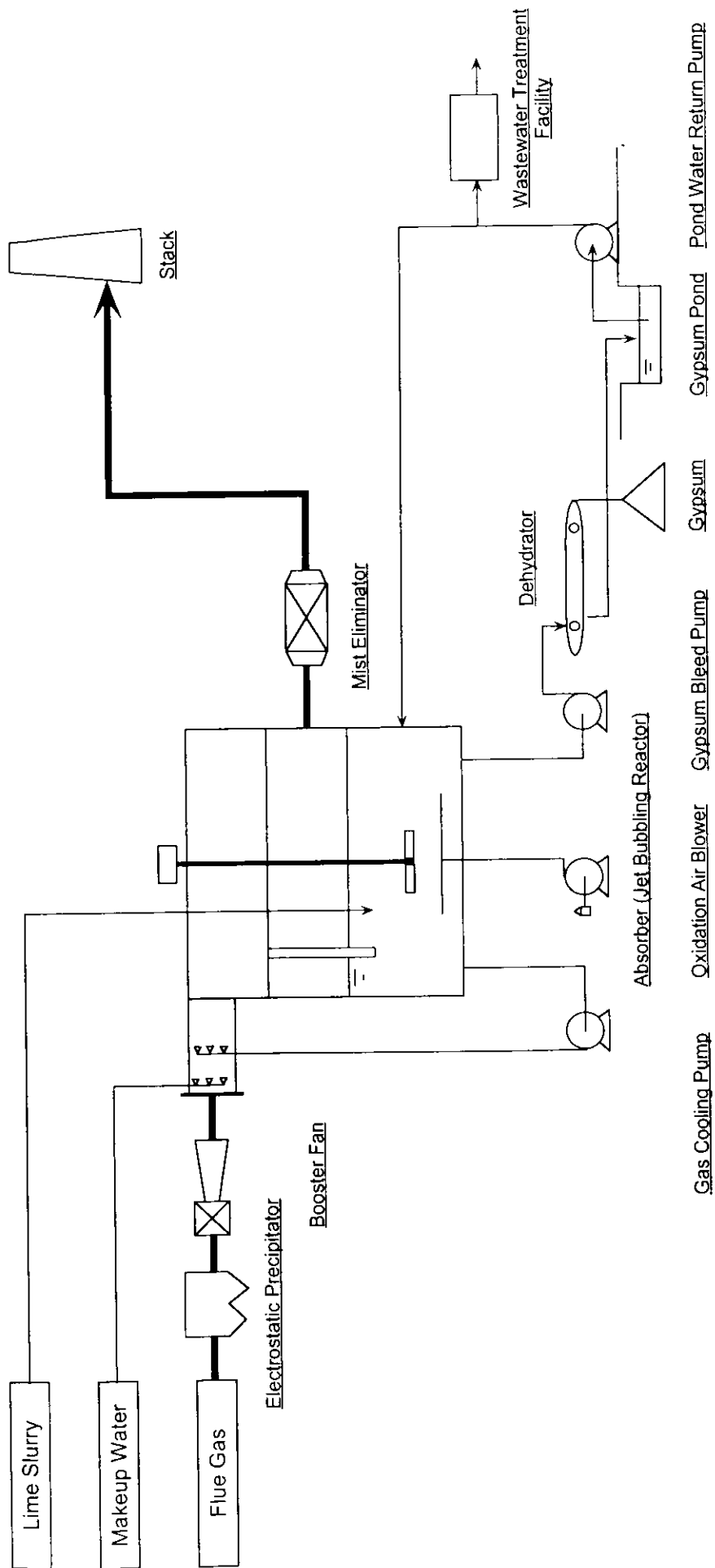


図 16.1 湿式石灰-石膏排煙脱硫法のフロー

## (1) 排ガス導入工程

### a. 工程の概要

排ガスは最初に電気集塵機に導入され、ここで90%以上のダストが除去される。電気集塵機を通過したガスは排ガスファンによってガス冷却機に送られ、飽和温度まで冷却後、SO<sub>2</sub>除去工程に送られる。

### b. 使用機器

電気集塵機、排ガスファン、ガス冷却器、ガス冷却ポンプ。

## (2) SO<sub>2</sub>除去工程

### a. 工程の概要

ガス冷却機からの排ガスは脱硫晶析槽に送られ、固形分20-30wt%の石灰-石こうスラリー及び酸化空気からなる吸収液と激しく攪拌され、SO<sub>2</sub>吸収・酸化・中和・晶析が脱硫晶析槽中で同時に行われる。SO<sub>2</sub>除去は脱硫晶析槽の気泡層で行われる。ここで排ガスは複数のチューブを通過して吸収液中に吹き込まれて気泡層を形成し、脱硫が行われる。一方、酸化・中和・晶析は脱硫晶析槽の反応層で行われる。吸収されたSO<sub>2</sub>は反応層に吹き込まれる空気及び石灰石と攪拌されて反応し、十分な滞留時間(12~18時間)の経過後、石こうとして晶析する。SO<sub>2</sub>を除去された清浄ガスはミストエリミネーターを通過し、煙突から大気中へと排出される。

### b. 使用機器

脱硫晶析槽(ジェット・バブリング・リアクター)、酸化空気ブロー、攪拌器、ミスト・エリミネーター。

## (3) 石灰石供給工程

### a. 工程の概要

空気トラック・トレーラーに入れられた石灰石は空気圧で石灰石粉サイロに送られ貯蔵される。貯蔵された石灰石粉末は石灰スラリーピットにおいて石こうろ液と調整され、SO<sub>2</sub>除去工程に供給される。

### b. 使用機器

石灰石粉サイロ、石灰スラリーピット、石灰スラリーポンプ。



#### (4) 石こう回収工程

##### a. 工程の概要

脱硫晶析槽より抜き出された石こうスラリーは、石こう脱水機で脱水され、石こうとろ液に分離される。分離された石こうは貯蔵施設に保存される。一方、ろ液の一部は除去工程に返送されプロセス水として利用され、残りは廃水処理施設へと送られる。

##### b. 使用機器

石こう脱水機、石こう脱水ポンプ、ろ液返送ポンプ。

#### (5) 排水処理工程

国内の法的要求事項等を満たすような廃水処理設備を必要に応じて設置する。

### 16.2.2 対策概算費用

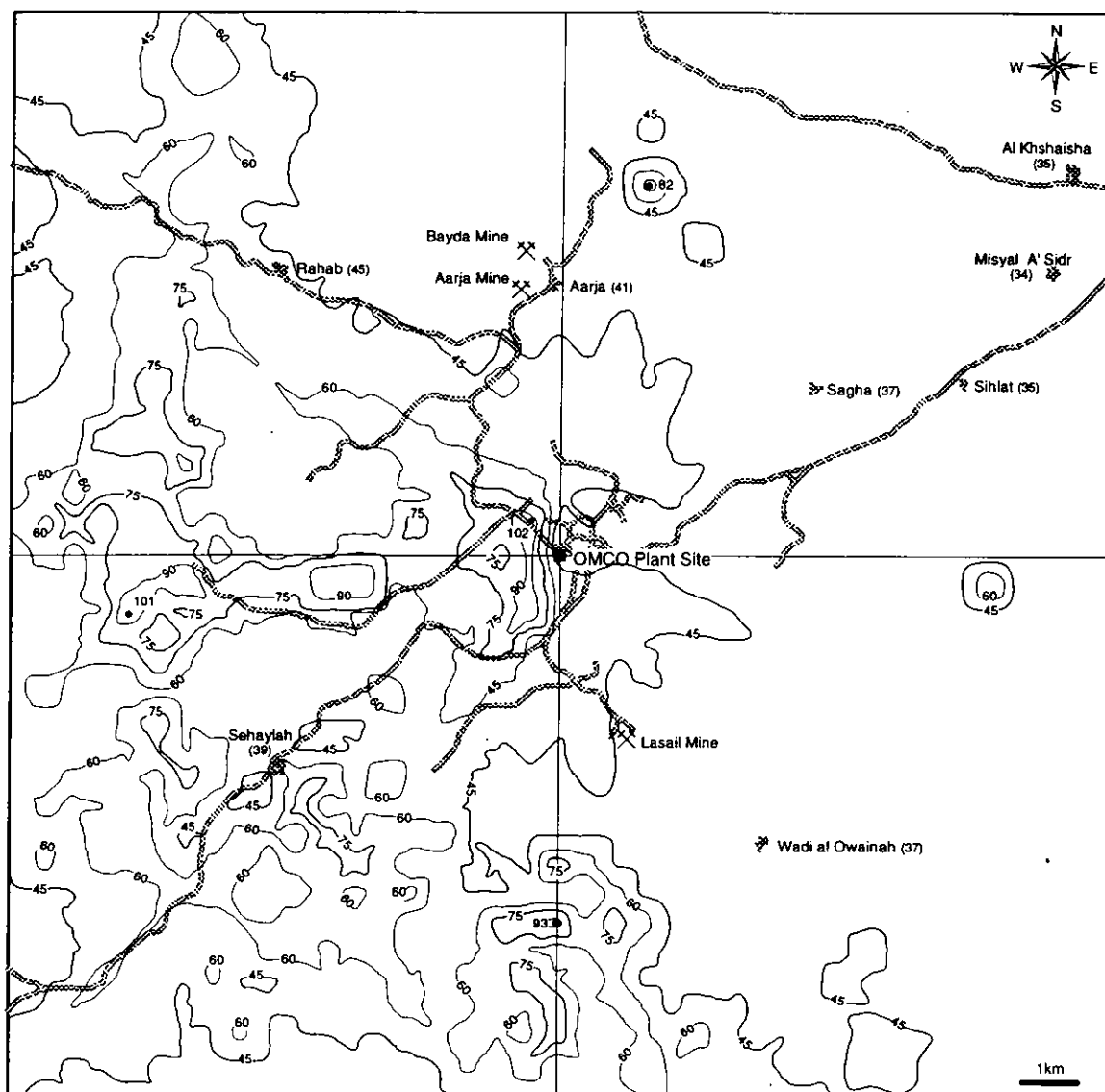
大気汚染防止対策としての OMC0 プラント向け湿式石灰-石こう FGD システム導入にかかる概算費用は US\$ 20,000,000 であろう。

### 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

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、OMC0 プラントに湿式石灰-石こう FGD システム (SO<sub>2</sub> 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。大気汚染防止対策実施前と実施後との比較を可能にするために、現況大気拡散シミュレーション実施時に用いた ISCST3 モデルを本シミュレーションにおいても採用した。OMC0 プラント向け湿式石灰-石こう FGD システムの設計に基づき、以下の SO<sub>2</sub> 排出データを大気拡散シミュレーションのインプットデータとして用いた。

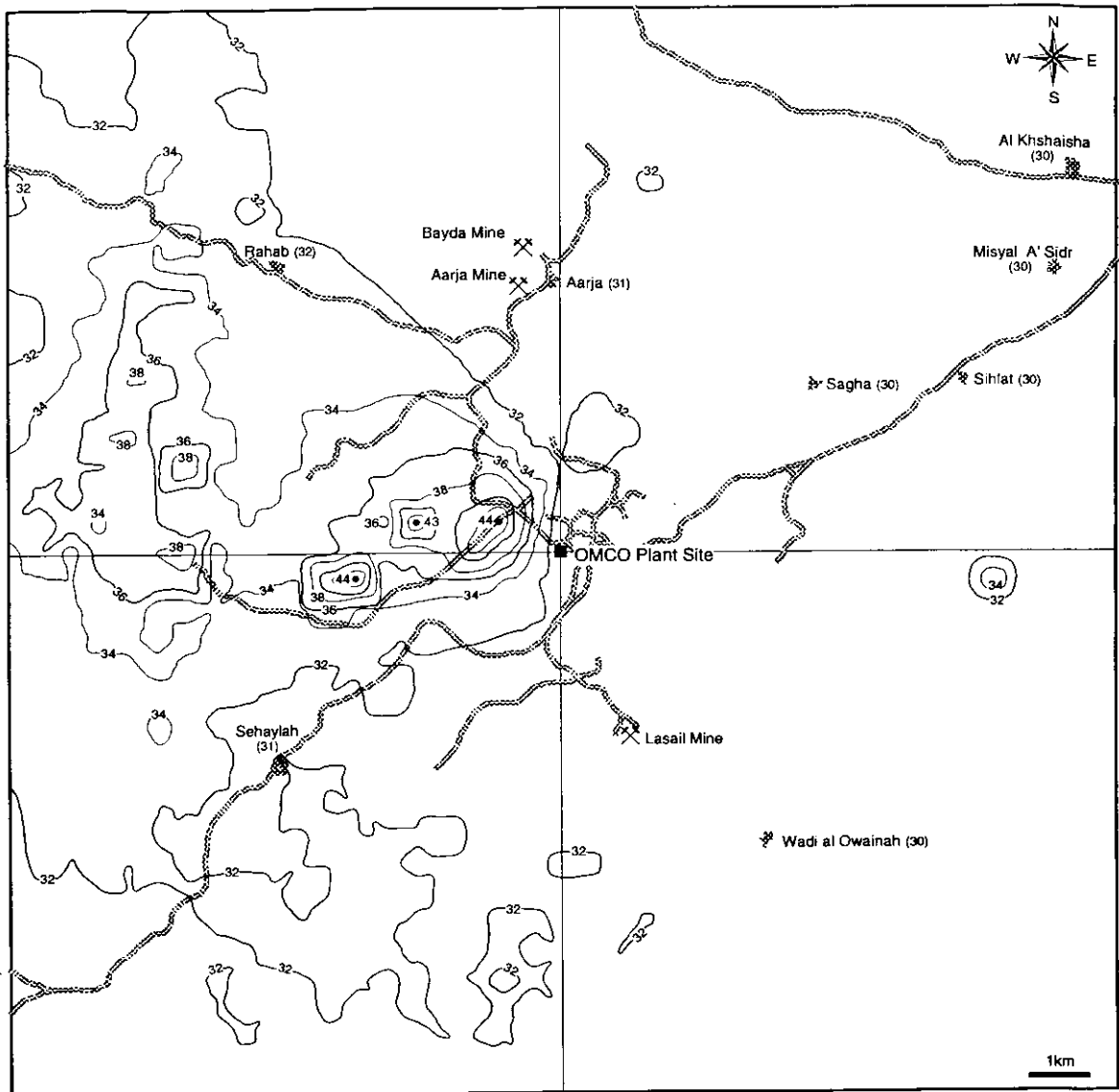
1 煙突高	: 100.85m
2 煙突内径	: 1.872m
3 排ガス排出速度	: 17.1m/sec
4 排ガス排出温度	: 363K
5 SO <sub>2</sub> 排出量	: 122.66g/sec

OMC0 プラント周囲 20km x 20km の対象地域における対策後の SO<sub>2</sub> シミュレーションの結果を図 16.2 および図 16.3 に示す。これらのシミュレーション結果から、SO<sub>2</sub> 除去率 90% の FGD システムが導入された場合、大気環境基準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。



Unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Interval between contour lines :  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
 [Stippled Area] : area exceeded the standard

図 16.2 脱硫対策後の  $\text{SO}_2$  の 24 時間最大濃度分布図



Unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 Interval between contour lines :  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 [Stippled Area] : area exceeded the standard

図 16.3 脱硫対策後の  $\text{SO}_2$  の年平均濃度分布図

## 第17章 環境モニタリング・システム

## 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

#### 17.1.1 既存の水質モニタリング・システム

第7章において述べたとおり、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、ワジ・バニ・ウマール・アル・ガルビ川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

本章では、以下のとおり水質モニタリング・システムに関する提言を行う。

- サンプルング・分析の計画策定
- モニタリング地点の選定
- 既存モニタリング井戸の改善
- モニタリング頻度の決定
- 測定および分析所における測定パラメーターの決定
- 統一的なフィールド手法の確立
- 測定および分析所分析における精度管理手法の確立
- 記録の保存方法の策定
- データの解析技術の確立

#### 17.1.2 サンプルング・分析計画の策定

水質モニタリング計画における目的は、地下水もしくは表層水の代表サンプルを採取し、分析までサンプルの物理的・化学的状态を維持することにある。サンプルング・分析計画はこの目的を達成するための重要なツールであり、モニタリング計画の目的・要素・基準・指針を定めるものである。この理由から、詳細なサンプルング・分析計画をソハール鉦山地域で水質モニタリングを行っているフィールド・分析所・管理関係者に対し作成する必要があると考えられる。サンプルング・分析計画は担当者が変わった際にモニタリング計画の均質性を保つという点でも非常に重要である。

表17.1にサンプルング・分析計画に必要な項目を示す。この項目の詳細については後ほど解説する。

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

1. Objectives of the water quality monitoring program	
2. Background information on existing conditions within the Sohar mining district	
3. Water quality management structure	
4. Site-specific parameters of concern to be monitored	
5. Location, condition, and access to monitoring points	
6. Number and frequency of samples to be collected	
7. Sampling protocol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Purging monitoring wells</li> <li>- Measuring field parameters</li> <li>- Sample collection techniques and equipment</li> <li>- Field quality controls</li> </ul>
8. Field sample pretreatment requirements	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filtration</li> <li>- Preservation</li> </ul>
9. Sample shipping requirements; Allowable holding times	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sample storage</li> <li>- Delivery method</li> </ul>
10. Sample documentation : Chain of custody requirements	
11. Laboratory testing methods	
12. Quality assurance/quality control requirements	
13. Reporting requirements	
14. Data base maintenance requirements	

### 17.1.3 モニタリング地点の選定

本節においてはワジ・スーク川およびソハール鉱山地域における水質モニタリング地点の選定に対する提言について述べる。JICAによるモニタリング井戸の新設により、現在の水質モニタリング・ネットワークはOMCOの46基の既存井戸、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から構成されている。調査地域内における水質の評価には、75地点の全てのモニタリング地点におけるデータは必ずしも必要ではなく、またコストも大きくなることから、モニタリング地点の削減を行うべきであると考えられる。

水質データの収集を効率化するために、既存のモニタリング地点の一部を含めて表 17.2 にあげられるような40カ所までモニタリング地点を削減するべきであると考えられる。

ソハール鉱山地域および鉱山下流地域での表層水および地下水のモニタリングを行う上で、これら40カ所のモニタリング地点は十分なものであると考えられる。既存のモニタリング・ネットワークから35カ所の井戸を削減することにより、コストの大幅な削減を実現するだけでなく、この40カ所のモニタリング地点は、質の高いデータを収集し、化学・水理モニタリングを行う上

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

New JICA Monitoring Wells	Surface Water Monitoring Locations	OMCO Tailings Dam Monitoring Wells	OMCO Wadi Suq Monitoring Wells	OMCO Mine Site Monitoring Wells
DH-1A and 1B	Wadi al Jizi	Plantsite Well	WS-9	Arja Well A-4
DH-2	Arja mine pool	MW-2	WS-7	Lasail Well L-1
DH-3	Lasail West	MW-6	WS-1	Lasail Well L-3
DH-4S and 4D	mine pool	MW-13		
DH-5S and 5D	Falaj al Qabail	Trench 2		
DH-6S and 6D				
DH-7S and 7D				
DH-8S and 8D				
DH-9				
DH-10				
DH-11				
DH-12S and 12D				
DH-13				
DH-14				
DH-15				
DH-16				
DH-16A and 16B				

で十分なものであると考えられる。また、抽出されたモニタリング地点におけるモニタリング・パラメーターの追加、サンプリング手法の改善等に対して節約されたコストを振り向けることにより、データの質の向上を図ることも可能になる。

#### 17.1.4 既存モニタリング井戸の改善

今回抽出された40カ所の井戸のうち、OMCOのテーリングダムの2ヶ所の井戸、MW-6およびMW-13は、質があまり良くないため、改善が必要であると考えられる。これらの井戸は亜鉛メッキ鋼管で建設されているが、金属部分の腐食が著しく、これらのモニタリング井戸における代表的な金属パラメーターのデータ収集を不可能にしている。従って、これらの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と考えられる。

これに加え、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。この連続水位測定機器の目的は、気候、住民による水消費および対策の実行による帯水層の変化を知ることにある。時系列の水位データは水理モデルの向上および有効性の評価においても有用である。

### 17.1.5 モニタリング頻度の決定

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。これもコストの削減に貢献するが、最も重要な点は、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。現実的には、抽出された井戸での年4回もしくは年2回のモニタリングで十分であり、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。

### 17.1.6 フィールド測定および分析所分析における測定パラメーターの決定

全てのモニタリング地点において、統一的な測定パラメーターのリストを作成する必要があると考えられる。表 17.3(1)～(3)に JICA チームの提案による標準化したモニタリング・パラメーターのリストを示す。このリストのうちのいくつかのモニタリング・パラメーターのいくつかのパラメーターについては、全てのモニタリング地点で測定する必要があると考えられる。

分析所分析項目として提案されたパラメーターには、汚染に関するパラメーターだけではなく、地化学的パラメーターも含まれる。今回提案されたフィールド調査項目、分析所分析項目には以下のようなものが含まれる。

#### (1) フィールド測定項目

水質および汚染に関するフィールド測定項目には以下のものが含まれる。

- pH
- 水温
- 電気伝導度
- 酸化還元電位
- 静水位

#### (2) 一般項目

一般的な水質および汚染に関する項目としては以下のものが含まれる。

- 生物化学的酸素消費量 (BOD) (廃さい堆積場の測定井戸のみ)
- 全溶解性物質 (TDS)
- 硬度
- 全酸素消費量
- 酸度 (廃さい堆積場および鉱山坑水サンプルについて)



表 17.3 ソハール鉾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)

Parameter	Units	Detection Limit	Sample Pretreatment	Preservation Method	Container	Maximum Holding Time	Objective
<b>Field Parameters</b>							
Field pH	S.I.	0.01	See Notes 1 and 2	None	Plastic or glass	NA	Measures the hydrogen ion concentration. Is a key geochemical parameter needed for interpreting other parameters.
Temperature	C.	0.1	See Note 1	None	Plastic or glass	NA	Needed for adjusting temperature dependent parameters, such as pH and EC.
Electrical Conductivity (EC)	mS/cm	0.1	See Note 1	None	Plastic or glass	NA	Gives a rough indication of salinity and TDS concentrations.
Oxidation-Reduction Potential (ORP)	mV (- or +)	0.1	See Note 1	None	Plastic or glass	NA	Measures electron activity. Is an indicator of organic and inorganic pollution and is key to interpreting other parameters.
Static Water Level	m	0.01	See Note 3	NA	NA	NA	Important for tracking hydraulic and geohydrologic trends.
<b>General Water Quality Parameters</b>							
Biochemical Oxygen Demand (BOD) See Note 4	mg/L	1	Leave no head space in bottle	Cool to 4°C.	Special 250 mL BOD bottle, if available	48 hours	Indicates organic pollution.
Chemical Oxygen Demand (COD) See Note 4	mg/L	1	Leave no head space in bottle	Cool to 4°C. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> to pH <2	Plastic or glass	28 days	Indicates chemical pollution, i.e. potential acid rock drainage.
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/L	1	None	Cool to 4°C.	Plastic or glass	28 days	Indicates the amount of dissolved minerals, such as salts and metals
Alkalinity	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	1	None	Cool to 4°C.	Plastic or glass	28 days	Indicates the capacity of water to resist changes in pH.
Acidity See Note 4	mg/L as CaCO <sub>3</sub>	1	Leave no head space in bottle	Cool to 4°C.	Plastic or glass	28 days	Indicates the potential for a sample to consume alkalinity. Is a mine pollution indicator.
Hardness	mg/L	1	None	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	28 days	Is a general water quality parameter for evaluate the suitability as drinking

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 (2)

Parameter	Units	Detection Limit	Sample Pretreatment	Preservation Method	Container	Maximum Holding Time	Objective
<b>Major Cations</b>							
Calcium	mg/L	1	See Note 4	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	28 days	Is a key parameter needed for geochemical modeling and analysis.
Magnesium	mg/L	1	See Note 4	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	28 days	Same as calcium.
Sodium	mg/L	1	None	None	Plastic or glass	28 days	Indicates possible salt pollution or seawater intrusion.
<b>Major Anions</b>							
Bicarbonate-Carbonate	mg/L	1	None	Cool to 4°C.	Plastic or glass	14 days	Is a major component of alkalinity and a key parameter for geochemical modeling and analysis.
Chloride	mg/L	10	None	None	Plastic or glass	6 months	Indicates possible salt pollution or seawater intrusion.
Fluoride	mg/L	1	None	None	Plastic or glass	28 days	Indicates possible mining pollution.
Nitrate - Nitrite	mg/L as N	1	None	Cool to 4°C. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> to pH <2	Plastic or glass	28 days	Indicates possible agricultural or nitrate pollution.
Total Phosphorous	mg/L	1	None	Cool to 4°C. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> to pH <2	Plastic or glass	28 days	Indicates possible agricultural pollution.
Silica	mg/L	1	None	Cool to 4°C.	Plastic or glass	28 days	Needed for charge balance.
Sulfate	mg/L	10	None	Cool to 4°C.	Plastic or glass	7 days	Is a key parameter needed for geochemical modeling and analysis. May indicate industrial or mining pollution.
Sulfite	mg/L	1	Leave no head space in bottle	Cool to 4°C.	Plastic or glass	Analyze immediately	Same as sulfate.
<b>Dissolved Metals</b>							
Dissolved Aluminum	mg/L	0.1	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Arsenic	mg/L	0.001	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Dissolved Cadmium	mg/L	0.001	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Dissolved Chromium	mg/L	0.001	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.

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 (3)

Parameter	Units	Detection Limit	Sample Pretreatment	Preservation Method	Container	Maximum Holding Time	Objective
				pH <2			mining pollution.
Dissolved Copper	mg/L	0.01	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Dissolved Lead	mg/L	0.001	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Dissolved Iron	mg/L	0.1	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Dissolved Manganese	mg/L	0.1	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Mercury	mg/L	0.001	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	28 days	Indicates possible industrial or mining pollution.
Dissolved Nickel	mg/L	0.001	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Dissolved Silver	mg/L	0.001	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.
Dissolved Zinc	mg/L	0.1	See Note 5	Cool to 4°C. HNO <sub>3</sub> to pH <2	Plastic or glass	6 months	Indicates possible industrial or mining pollution.

Notes:

1. Purge well until pH and temperature readings stabilize. Record stable reading as the true measurement.
2. Calibrate field pH meter twice daily by two-point calibration procedure using standard solutions of known pH and following instrument manufacturer's instructions.
3. Measure static water level first before purging well or removing any sample.
4. BOD, COD, and total acidity are recommended parameters only for the tailings dam wells.
5. For dissolved metals, filter all samples immediately on site using disposable 0.45 micron glass fiber filter cartridges and a battery powered peristaltic pump. Filter sample prior to adding acid preservatives.

### (3) カチオン類

地化学モデルの作成、汚染源の特定、水質基準との比較および水処理システムの設計において、カチオン類についてのデータの収集は非常に重要である。分析所分析項目であるカチオン類としては以下のものが含まれる。

- カルシウム
- マグネシウム
- ナトリウム

### (4) アニオン類

アニオン類は、地化学モデルの作成、汚染源の特定、水質基準との比較、および水処理システムの設計において重要であるだけでなく、ソハール鉱山地域における重要な汚染物質である。分析所分析項目であるアニオン類としては以下のものが含まれる。

- 重炭酸塩／炭酸塩
- 塩化物
- フッ化物
- 硝酸塩
- 亜硝酸塩
- リン酸塩
- 珪酸塩
- 硫酸塩
- 亜硫酸塩

### (5) 溶存金属類

地下水中の溶存金属類の分析は、それらが重要な汚染物質であるという点だけではなく、汚染源および自然的な金属供給源の指標になるという点においても重要である。「溶存金属」は地下水における汚染のレベルの指標として最も重要なパラメーターである。「全金属」はサンプル中に浮遊している可能性のある底質中の金属類についても検出するため、実際の帯水層の特徴を反映するものであるとは限らない。地下水サンプル中の底質は、井戸中の停滞水から生じる場合、井戸の掘削・建設から生じる場合がある。帯水層の特徴を正しく反映するサンプルを得るためには、採取時にサンプルをろ過することが望ましい。分析を行う金属には以下のものが含まれる。

- 1) アルミニウム
- 2) ヒ素
- 3) カドミウム
- 4) クロム
- 5) 銅
- 6) 鉄
- 7) 鉛

- 8) マンガン
- 9) 水銀
- 10) ニッケル
- 11) 銀
- 12) 亜鉛

### 17.1.7 水質サンプルの採取に関する標準取扱法の確立

サンプリングおよび分析においては、実際の地下水の水質を正しく反映するようなサンプルを採取し、サンプルの化学特性が不可逆的に変化するのを防止するような取扱いおよび輸送をすることが最も重要である。水質サンプルの採取・取扱・輸送の際の行動が水質モニタリング結果の信頼性・確実性に大きく影響を与える可能性がある。様々な関係団体によ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と考えられる。SOPsには最低限以下の基本的な項目が含まれる。

#### (1) 関係者の健康・安全リスクの認識・連絡・防止

水質モニタリング計画に参加するフィールド調査員の事故の防止は管理者にとって最も大きな問題である。このことから、SOPsはフィールド調査中に問題となる可能性のある項目について抽出する必要がある。最低限でも以下の項目についてチェックする必要がある。

- 1) 酸性尾鉱等の危険物質への暴露の防止
- 2) フィールド調査中の熱ストレスの防止・軽減
- 3) 酸性防腐剤の安全な取扱いに関する訓練
- 4) 危険な野生生物の発見および危機回避方法に関する訓練
- 5) フィールド調査員への健康・安全情報の連絡
- 6) フィールド調査前の医療機関への緊急ルートの確認

#### (2) 静水位の測定

井戸をパージングしてサンプリングをはじめる前に、全ての井戸において静水位の測定を行う必要があると考えられる。各井戸の水位は井戸のケーシングの先端に常設された同じ基準から測定される必要がある。水位はプローブの先端が水面に接触したときに可聴音を発生する電気水位計によって測定され、この水位計は0.01メートル以下の単位で測定可能であることが望ましい。

#### (3) 掘削井戸のパージング

ケーシング中の水質ではなく、地層水の水質を代表するサンプルの採取を確実にを行うため、掘削されたモニタリング井戸はサンプリング前にパージングを行う必要がある。井戸のスクリーン上のケーシング中の停滞水は地層水と自由に接触せず、ケーシング材料や大気と長期間接触しているため、異なった化学的平衡を保っている可能性があり、地層水と比べて、水温、pH、酸化

還元電位、全溶解性物質などの点で異なっている可能性がある。不適切なパージングは地下水モニタリングデータの正確性・信頼性を阻害する最も大きな要因である。全ての井戸は水温および pH が一定になるまで汲み上げ・汲み出しを行う必要がある。比較的浅い井戸に関しては人力による汲み出しでも十分であるが、JICA が設置した井戸のように深くて直径が大きいものに関しては、浸水式空気圧ポンプによる十分なパージングを行う必要があると考えられる。

#### (4) フィールド測定の実施

井戸のパージングの後、フィールド測定項目についての測定を計測機器を使って行う。表 17.3(1)に示したとおり、フィールド測定項目には pH、電気伝導度、水温、酸化還元電位が含まれる。これらのフィールド測定項目の計測はパージングとともに実施し、pH と水温が一定になったときに帯水層の状態を最もよく反映する測定値を読み、記録を行う。

#### (5) サンプリング容器の選定

モニタリングの実施に先立ち、サンプリング容器を選定し、用意しておく。表 17.3(1)～(3)に示すパラメーターの分析に用いるサンプルは、3 個の 500mL のプラスチック製のサンプリング容器に分けて採取し、分析所に運搬する。1 つにはろ過をせず防腐剤も加えないサンプルを、1 つにはろ過をせず硫酸酸性にしたサンプルを、1 つにはろ過をして硝酸酸性にしたサンプルを保存する。サンプル容器を 4℃に保つための氷を入れたクール・ボックス、適正量の酸防腐剤をフィールドに出発する前に用意しておく。防腐剤、フィルター、氷の準備はモニタリングを行う前に十分余裕をもって準備しておくことが望ましい。

#### (6) 代表的な水質サンプルの採取

全ての地下水のサンプリングは、清潔なナイロンもしくはプラスチック製のケーブルで井戸の深くまで沈めることが可能な PVC またはテフロン製の採水器で行う。サンプル採取の際には重大な失敗が起こる可能性があるため注意が必要である。攪拌・圧力の変化・大気への暴露はサンプルの pH および酸化還元電位に影響を与える可能性があり、それが金属類の沈殿もしくは鉄・マンガンとの共沈を引き起こす可能性がある。このことから、フィールド・サンプリング技術者はサンプル採取の際に過剰な攪拌・大気との混合を避けるように訓練を行う必要がある。同様に、サンプリング容器にサンプルを入れる際には空気を入れないように注意する必要がある。サンプリング容器の上部には空間が残らないようにサンプルを満たし、気泡は可能な限り取り除いておく必要がある。サンプリングを行う前に採水器は脱イオン水で 3 回洗浄し、サンプルの汚染を防ぐ。サンプリング容器は、サンプルを入れる前に、モニタリングを行う井戸もしくは表層水の水で洗浄しておく。

#### (7) サンプリング機器の洗浄

サンプリング機器は各サンプリングを行う前に洗浄を行う。無機分析のためのサンプリングをプラスチックもしくはテフロン製の採水器で行う際には、脱イオン水で3回洗浄しておく。また、定期的もしくは必要に応じて、採水器を脱イオン洗剤で洗浄し、金属や汚れの沈着を防ぐ。さらに、採水器のケーブルを洗浄し、サンプルの採取時に汚染を起こさないように注意を払う必要がある。ケーブルは汚れや水を吸着しない素材でできたものを用い、他のモニタリング井戸の水の混入による汚染を防ぐ。

#### (8) 水質サンプルのろ過

各井戸で採取された500mLのサンプリング容器の1つには、フィールドでろ過を行い浮遊コロイド状物質を除去したサンプルを封入することが望ましい。このサンプルは0.45ミクロンのグラスフィルター・ファイバー・カートリッジで12Vの車のバッテリーにつないだポンプによってろ過されたものを用いる。このサンプルにはろ過後直ちに濃硝酸を加えて保存する。ろ過を行ったサンプルは、溶存金属の測定に用いる。ろ過の前に酸を加えると、井戸の掘削や建設に伴うサンプル中の砂や泥が溶解し、サンプルが帯水層の水質を代表するものではなくなる可能性があるため、ろ過後に酸を加えるよう注意する。

#### (9) 水質サンプルの保存

採取されたサンプルの保存に際しては、ろ過を行ったサンプルについては濃硝酸、ろ過を行っていないサンプルの1つについては濃硫酸を加える。もう1つのサンプルについてはろ過も酸の添加も行わない。分析所においては各サンプリング容器の順番に合わせて酸防腐剤の薬品瓶を用意する必要がある。サンプルのpHを2以下に下げると、約5mLの酸の添加が必要である。全てのサンプルはクール・ボックスに入れ、4°Cに保つ。サンプルは分析所に運び込まれ、冷蔵庫に入れられるまでこの温度に保たれる必要がある。サンプルを低温に保つ目的はサンプルの化学特性を変化させる微生物の活動を抑制することにある。

#### (10) サンプルの輸送

サンプルは熱や日光を遮断するためにクール・ボックスに入れ、分析所まで運ぶ。サンプルには試料受け渡し書(chain-of-custody form)を添付する。この試料受け渡し書には、試料が分析所まで運搬されるまでの受け渡しを行った人による日付とサインが書き込まれる。

#### (11) サンプル採取方法の記録

詳細で正確なフィールド・モニタリングの記録は、モニタリング計画において最も重要な項目の一つである。適切なモニタリング記録無しに分析データの解析・評価を行うことは不可能である。全てのフィールド・モニタリング記録はページ番号の入った正副2冊の野帳に記録される必要がある。表17.4に各モニタリングおよびサンプリングに際して野帳に記録することが必要な最低限の情報について示す。

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

General Information	Sample-Specific Information
<p>Date and time of all activities</p> <p>Names of field personnel</p> <p>Names of visitors or people contacted</p> <p>Description of location</p> <p>Weather conditions</p> <p>Instrument calibrations performed</p> <p>General field observations</p> <p>Deviations from SOPs, if any</p> <p>Chain-of-custody records</p>	<p>Date and time of sample collection</p> <p>Description of specific monitoring location</p> <p>Condition of monitoring location</p> <p>Well purging data</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Type of equipment used</li> <li>2) Volume of water purged</li> <li>3) Criteria or purging</li> </ol> <p>Sample collection data</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4) Sampling equipment</li> <li>5) Field identification number or code</li> </ol> <p>Field-measured parameters</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6) pH</li> <li>7) Temperature</li> <li>8) ORP</li> <li>9) EC</li> <li>10) Static water level</li> </ol> <p>Sample appearance</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>11) Sample color</li> <li>12) Turbidity</li> <li>13) Visible sediments</li> </ol> <p>Sample odors</p> <p>Sample containers</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>14) Number of containers collected</li> <li>15) Type of containers</li> <li>16) Size of containers</li> </ol> <p>Sample filtration methods used</p> <p>Preservatives used</p> <p>Decontamination procedures performed</p> <p>Quality control samples or procedures</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>17) Field blanks</li> <li>18) Trip blanks</li> <li>19) Field duplicates</li> </ol>

#### 17.1.8 フィールド測定・分析所分析における精度管理手法

採取されたデータの精度を保証することは水質モニタリング・システムにおける重要な要素で



ある。従って、統一的な精度管理・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。必要な QA/QC は、統一性を保障するためにサンプリング・分析計画中に記述される必要がある。

効果的な QA/QC は、データが正確であり、環境の状態を正確に反映していることを裏付けるだけでなく、フィールドおよび分析所で収集されたデータの解析・評価に不可欠なものである。効果的な QA/QC の実行には全てのサンプリングおよび記録方法についてフィールド技術者が十分に訓練されている必要がある。さらに、収集されたサンプルの分析には、適切な QA/QC プログラムが導入されている分析所を用いる必要がある。

最低限必要な QA/QC 手法について表 17.5 に示す。また、詳細について以下に解説する。

### (1) 機器ブランク・サンプルの収集

フィールド調査中において、最低でも 1 日 1 回は機器ブランク・サンプルを採取する必要がある。機器ブランク・サンプルの採取は、汚染されていないサンプリング機器を脱イオン水で洗浄し、洗浄水をサンプリング容器に保存することによって行う。機器ブランク・サンプルの採取の目的は、フィールド調査員が行っている清浄方法の適切性を評価することにある。脱イオン水は汚染物質を含まないため、機器が不適切な清浄操作を受けていない限りは機器ブランク・サンプルも不純物質を含まないはずである。機器ブランク・サンプルは他のサンプルと同様の方法でろ過・保存・輸送される。機器ブランク・サンプルは分析者に分からないように、あらかじめ決めておいたコード名をラベリングする。

### (2) 輸送ブランク・サンプルの採取

最低でも 1 回のフィールド・サンプリングに際して 1 サンプルの輸送ブランク・サンプルを分析所に提出する必要がある。輸送ブランク・サンプルは分析所で脱イオン水を入れ、フィールド・モニタリング中に携行したものである。輸送ブランク・サンプルの目的は、サンプルのフィールドから分析所までの輸送の間に起こる潜在的な汚染の可能性を把握することにある。輸送ブランク・サンプルは他のサンプルと同様の方法でろ過・保存・輸送される。輸送ブランク・サンプルは分析者に分からないように、あらかじめ決めておいたコード名をラベリングする。

### (3) フィールド二重取りサンプルの採取

最低でも 20 サンプルにつき 1 サンプルのフィールド二重取りサンプルを分析所に提出する必要がある。フィールド二重取りサンプルの目的は、2 つの同じサンプルに対する分析結果を比較することにより、分析所分析技術の確かさを評価することにある。フィールド二重取りサンプルの分析結果間の統計学的に大きな相違は、分析所における分析の失敗もしくは不正確さの指標になる。2 つのサンプル間の統計学的に大きな相違は偏差が、5%や 10%などのある卓越した値より大きいかどうかによって評価される。

$$\text{偏差} = \frac{\text{サンプル A の分析結果} - \text{サンプル B の分析結果}}{\text{サンプル A とサンプル B の平均値}} \times 100$$

#### (4) 分析所ブランク・サンプルの分析

分析所におけるブランク・サンプルは脱イオン水を封入した試料を実際の試料と同様に取

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

QA/QC Sample Description	Recommended Frequency	Purpose	Evaluation Method	Validation Criterion
Trip Blank Samples	1 per day	Detecting potential problems in handling and transporting samples in the field.	Presence or absence of contaminants.	No contaminants should be detected.
Equipment Blank Samples	1 per day	Detecting inadequacies in decontaminating field sampling equipment.	Presence or absence of contaminants.	No contaminants should be detected.
Field Duplicate Samples	1:20 or 5%	Checking the precision of field and laboratory methods.	Relative percent difference	Should be 5 % or less
Laboratory Duplicate Samples	1:10 or 10 %	Checking the precision of field and laboratory methods.	Relative percent difference	Should be 5 % or less
Laboratory Blank Samples	1 per sample batch	Detecting laboratory contamination.	Presence or absence of contaminants.	No contaminants should be detected.
Laboratory Spike Samples	1 per sample batch	Checking the accuracy and precision of laboratory methods.	Percent recovery	Should be between 90% and 110%.

り扱い、分析を実施する。これは分析所における汚染の可能性を検出するために実施され、分析対象となる成分が不検出である必要がある。分析所で分析される一連のサンプルにおいて、少なくとも 1 サンプルの分析所ブランク・サンプルの分析を実施する必要がある。分析所ブランク・サンプルにおいて汚染が検出された場合、その汚染源を明確にし、処置を施した後、再度全試料について分析を実施する必要がある。

## (5) 分析所二重取りサンプルの分析

フィールドと同様、分析所における二重取りサンプルは分析所において無作為に選択されたフィールド・サンプルを二等分にして用いる。分析所二重取りサンプルの目的は、分析技術の精度および再現性を自己管理することであり、その分析結果は設定された許容誤差以内に収まらなければならない。またフィールド二重取りサンプルと同様に、分析所二重取りサンプルの評価に対しても偏差が用いられる。

## (6) 分析所スパイク・サンプルの分析

スパイク・サンプルは既知の特定物質を添加したサンプルである。スパイク・サンプルは分析室での分析方法および機器の正確さおよび精度を試験するために準備されるものである。分析結果はスパイクされた物質の回収結果によって評価される。スパイク・サンプルの回収率は以下のように定義される。

$$\text{回収率} = \frac{\text{スパイク・サンプル分析結果} - \text{スパイク無しのサンプル分析結果}}{\text{添加した物質質量}} \times 100$$

## (7) 分析データの検証

フィールド測定および分析所分析のデータは QA/QC 結果を評価しデータの質を検証することが必要である。一般に分析所では QA/QC 結果を評価する訓練された要員が配置されている。QA/QC 結果を評価する要員は分析室のデータの質を維持する責任者で上級レベルの化学者であることが求められる。分析機関は依頼者に対して分析結果とともに検証手順についての報告をすることが必要である。同様にデータを受領・保持する責任者はデータベースに入力する前にデータの検証を行うことが必要である。データ管理者は QA/QC 基準を満足しないデータを見極め、問題点を報告することが必要である。

### 17.1.9 記録保持指針の作成

サンプリング・分析計画においては、ソハール鉱山地域のモニタリング計画において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。表 17.6 に記録保持に関する最低限の要求事項について述べる。

### 17.1.10 データ解析・評価技術の確立

水質データの解析および評価は長年の訓練と経験を要する非常に複雑な事項である。このため、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。ソハール鉱山地域で収集された地下水の水質データを解析する

のに適切と考えられる技術について以下に示す。

- 考察および比較のためのデータを用いた様々なタイプの表の作成
- 様々な水質パラメーターの状態を視覚的に示す等濃度線図の作成
- X-Y 図やヒストグラムを用いた問題となる物質の時系列の傾向・予測・移動
- X-Y 図やヒストグラムを用いた問題となる物質の濃度の汚染源と距離との関係、調査地域内の拡散の状況の提示
- サンプル間の類似性・非類似性の評価、すなわち複数の水源を把握し、汚染された水源と汚染されていない水源との区別を行うための3次元のダイアグラムの作成
- 汚染された水と汚染されていない水を区別し、時間的・空間的に異なるサンプルを比較するために様々な統計学的解析(水質モニタリングデータの統計解析の方法は非常に複雑で本レポートの範囲を超えるため、詳述は避ける)

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

Record Keeping Task Description	Responsible Person
1. Establish a secure program filing system in the program managers office, including both paper and electronic filing systems and indexes. Files should be organized to facilitate record location by date, subject, and author.	Assistant program manager
2. Log all field notes and trip reports into the filing system, including field books and chain of custody forms.	Field manager
3. Receive and log in all analytical testing results from the laboratories.	Senior water quality specialist
4. Validate the analytical testing results and assign appropriate qualifiers to each datum.	Senior water quality specialist
5. Check and approve data validation results.	Program manager
6. Enter qualified data into the existing water quality database.	Assistant water quality specialist
7. Check and approve data entry process.	Senior water quality specialist
8. File paper copies and electronic files containing laboratory data.	Assistant program manager
9. Prepare summary reports documenting the monitoring activities and results.	Senior water quality specialist
10. Check, approve and disseminate summary reports to other ministries and interested parties.	Program manager
11. Provide controlled access to monitoring data upon request from the public, water quality managers, and investigators.	Assistant program manager

## 17.2 大気環境モニタリング・システム

MMEW は国内に環境大気の常時監視測定局を設置している。また、OMCO 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。

### 17.2.1 大気環境モニタリング・システムの現況

#### (1) MMEW

MMEW は表 17.7 に示す環境大気および気象の監視局を設けている。ガス状物質に関する監視局は、連続分析計、電源装置、電話線、送信・受信装置から構成されるオンライン・システムで運用され、機器は空調を施した施設内に収納されている。MMEW による 1999 年のモニタリング結果を表 17.8 に示す。ソハール鉱山地域周辺での監視局としては、ソハール工業地帯に 1997 年に設置された 1 地点が存在する。この監視局におけるモニタリング項目は SO<sub>2</sub>、風速、風向、気温および湿度となっている。SO<sub>2</sub> は紫外線蛍光分析法で測定されており、1999 年の 24 時間平均の SO<sub>2</sub> 濃度は 0.024ppm～0.025ppm となっている。この濃度はオマーン国が国家環境大気基準として採用している米国環境保護庁の環境大気基準値 (0.14ppm) を十分満足している。

#### (2) OMCO

OMCO は環境 SO<sub>2</sub> 濃度の測定を以下の 10 地点で定期的に行っている。10 地点を図 17.1 に示す。

- No. 1 : Suhaylah (OMCO 南西 10km 地点)
- No. 2 : Suhaylah (OMCO 南西 8km 地点)
- No. 3 : Sagha (OMCO 北東 5km 地点)
- No. 4 : Sagha (OMCO 北東 8km 地点)
- No. 5 : Owainah (OMCO 南東 4km 地点)
- No. 6 : Owainah (OMCO 南東 8km 地点)
- No. 7 : Rahab (OMCO 北北西 4km 地点)
- No. 8 : Rahab (OMCO 北北西 8km 地点)
- No. 9 : Al Hail (OMCO 南西 4km 地点)
- No. 10 : Al Hail (OMCO 南西 8km 地点)

SO<sub>2</sub> 濃度は試料大気導入口、ガス吸収部、ガス排出口から構成される溶液導電率分析計を用いて測定されている。ガス吸収液は特級硫酸、過酸化水素および蒸留水の混合溶液であり、24 時間試料大気を吸収液に通気して SO<sub>2</sub> を吸収液中に捕集させ、導電率の変化により SO<sub>2</sub> 濃度を求める。1998 年 11 月～1999 年 10 月までのモニタリング結果は表 17.9 に示すように 11 μg/m<sup>3</sup> ～90 μg/m<sup>3</sup> となっている。この濃度は OMCO に適用されている EEC 環境大気基準値 (120 μg/m<sup>3</sup>) を満足している。

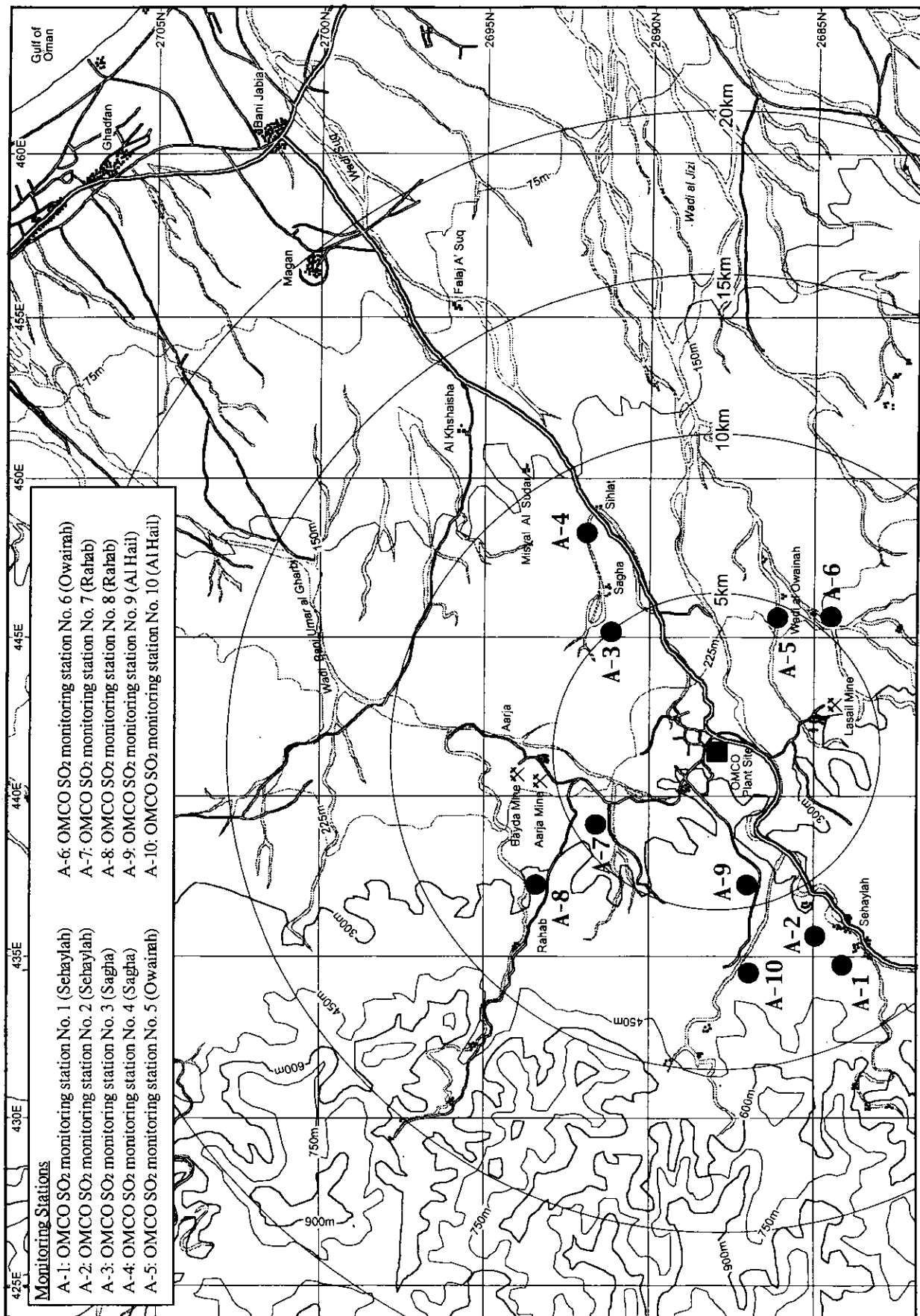


図 17.1 OMCO 環境 SO<sub>2</sub> 濃度モニタリング地点

表 17.7 MMEW の大気モニタリング項目

Station name / Location	Monitoring parameter								
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	HC	PM10	Wind speed	Wind Direc.	Air Temp.	Humidity	Others
Mina Al Fahal	X		X		X	X	X	X	O <sub>3</sub>
Rusayl Industrial Estate	X	X			X	X	X	X	
Sohar Industrial Estate	X				X	X	X	X	
PM10 Station at Ruwi				X					
PM10 Station at Rusayl Industrial Estate									
PM10 Station at Sur				X					
PM10 Station at Salalah				X					

SO <sub>2</sub> Monitor	API, U. S. A.
NO <sub>2</sub> Monitor	API, U. S. A.
HC Monitor	HC51, France
PM10 Monitor	Grasby, U. S. A.
O <sub>3</sub> Monitor	API, U. S. A.
Network System	On-Line Operation for Gaseous Parameters

表 17.8 MMEW による 1999 年大気モニタリング結果

Station Name /Location	SO <sub>2</sub> Concentration (PPB)							PM10 Concentration (μg/m <sup>3</sup> )						
	1-hour Average			24-hour Average			Annual Average	1-hour Average			24-hour Average			Annual Average
	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.		Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	
MINA AL FAHAL				24	25	24								
RUSAYL INDUSTRIAL ESTATE (R.I.E.)														
SOHAR INDUSTRIAL ESTATE				7	32	20								
PM10 STATION AT RUWI											34	178	106	
PM10 STATION AT R.I.E											38	252	145	
PM10 STATION AT SUR														
PM10 STATION AT SALALAH														

表 17.9 OMC0 による環境 SO<sub>2</sub> 濃度モニタリング結果  
(1998 年 11 月 1 日～1999 年 10 月 31 日)

(1)

SO<sub>2</sub>: μg/m<sup>3</sup>

Site No.	Site	Number of Tests														
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	10km SW/ Suhaylah	22	36	35	37	39	32	39	39	39	39	43	48	40	29	4
2	08km SW /Suhaylah	25	40	35	36	39	30	39	39	39	39	45	48	36	31	18
3	05km NE /Sagaha	29	47	34	37	37	36	39	39	43	36	47	46	39	34	21
4	08km NE/ Sagaha	31	53	31	35	37	37	38	39	43	36	45	45	40	32	5
5	04km SE /Owainah									33	39	3			11	23
6	08km SE /Owainah									33	38	3			9	6
7	04km NNW/Rahab	18	30	45	44	44	36	38	41	39	38	45	49	37	27	21
8	08km NW /Rahab	20	38	37	44	44	33	38	42	39	38	38	49	36	26	4
9	04km SW /Al Hail	22	29	53	42	38	40	39	39					30	15	
10	08km SW/ Al Hail	22	40	52	42	38	38	38	37					21	15	

(2)

Site No.	Site	Arithmetic Average														
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	10km SW/ Suhaylah	35	32	46	37	25	35	38	20	36	44	20	19	11	16	29
2	08km SW/ Suhaylah	41	43	51	63	43	46	43	34	55	70	43	49	43	47	21
3	05km NE/ Sagaha	69	61	39	46	53	48	43	34	68	65	69	62	59	45	36
4	08km NE/ Sagaha	26	41	40	39	26	39	35	18	35	42	47	46	51	38	33
5	04km SE/ Owainah									62	53	48			37	24
6	08km SE/ Owainah									29	24	25			27	15
7	04km NNW/ Rahab	28	30	60	56	44	38	49	38	63	66	58	59	59	46	37
8	08km NW/ Rahab	28	32	56	36	30	26	28	15	33	30	25	26	22	18	23
9	04km SW/ Al Hail	90	57	72	66	42	59	62	50					61	52	
10	08km SW/ Al Hail	65	48	66	59	26	48	47	26					24	20	

A 1985 (MAY 1985-FEB.1986)	F 1st NOV. 1989-31st OCT.1990	K 1st NOV.1994-31st OCT.1995
B 1st NOV. 1985-31st OCT.1986	G 1st NOV. 1990-31st OCT.1991	L 1st NOV.1995-31st OCT.1996
C 1st NOV. 1986-31st OCT.1987	H 1st NOV. 1991-31st OCT.1992	M 1st NOV.1996-31st OCT.1997
D 1st NOV. 1987-31st OCT.1988	I 1st NOV. 1992-31st OCT.1993	N 1st NOV.1997-31st OCT.1998
E 1st NOV. 1988-31st OCT.1989	J 1st NOV. 1993-31st OCT.1994	O 1st NOV.1998-31st OCT.1999



## 17.2.2 大気環境モニタリング・システムに関する提言

本章においては、本調査で得られた情報に基づき、MMEW および OMCO における環境大気モニタリング・システムに関する提言について述べる。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。本章においては、各組織に対して要求される環境大気モニタリングについて以下の項目別に詳述する。

- MMEW の環境大気モニタリング・システムに関する提言
- OMCO の環境大気モニタリング・システムに関する提言
- MMEW および OMCO の環境大気モニタリング・データの効率的活用

### (1) MMEW の環境大気モニタリング・システムに関する提言

#### a. 国営常時監視測定局の新設

MMEW は国営の常時監視測定局をソハール鉱山地域に 1 ヶ所所有しているが、その測定局は OMCO 製錬所から約 30km 以上離れたソハール工業地帯に存在している。このことから、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と考えられる。本調査の結果に基づき、JICA 調査団は、下記のような国営常時監視測定局を新設することを提案する。

##### 1) モニタリング地点

モニタリング地点の位置は、環境大気モニタリングに大きな影響を及ぼす。一般に、対象とする地域における大気質を代表し、また住民の健康保護に寄与することが必要とされる。これらの要件を満たすため、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。

- i) 排出源の条件：煙源の位置、大気汚染物質の排出状況、気象
- ii) 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
- iii) 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

OMCO 製錬所周辺地域における上記の状況に関しての要約を以下に示す。

##### i) 排出源の条件

本調査の一部として、ソハール鉱山地域において ISCST3 を用いた大気拡散シミュレーションを行った。大気拡散シミュレーションの結果は、OMCO 製錬所の煙源の状態およびソハール鉱山地域に特徴的な気象条件を考慮しており、実際の排出源の状態を反映している。従って、ISCST3

による予測着地濃度は排出源の条件に対する基礎データとなる。

### ii) レセプターの条件

OMCO 製錬所の半径 10 km 以内には、シハラート、サガ、アージャ、ラハブおよびスハイラの 5ヶ所の主要な住宅地域が存在する。これらの住宅地域の人口は比較的少なく、シハラート、サガ、アージャ、ラハブの住民はそれぞれ 100 人以下であり、スハイラの住民は約 360 人である。さらに、ラハブとスハイラには学校が存在する。また、本調査の一部として 2000 年 11 月に実施された現在の大気質の状況に対するインタビュー調査においては、ソハール鉱山地域の一部の住民が呼吸困難、咳、呼吸器の問題を抱えていることが明らかになった。特にアージャ、ラハブおよびスハイラの住民（特に女性および子供）の中には、喘息や呼吸器疾患の兆候を示す人も認められた。

### iii) 維持管理の条件

維持管理の条件は、モニタリング・データの質そのものには影響を及ぼすものではないが、考慮することが必要である。ソハール鉱山地域においては、道路状況があまり良くないため、アクセスの問題は重要であると考えられる。ファラージ・アル・カバイルからの高速道路以外は住宅地域をつなぐ道路は、狭く、舗装されていない状態であるため、常時監視測定局はアクセスの良い住宅地域に設置するべきであると考えられる。しかしながら住宅地に過剰に近接した場合には、破損を受ける可能性があるため、注意が必要である。

上記のことから、設置場所として以下のいずれかの地域が適切であると考えられる。

- アージャ
- ラハブ
- スハイラ

## 2) モニタリング項目

国営の常時監視測定局におけるモニタリング項目は、国の規則および常時監視測定局の目的に基づいて選定されるべきである。

国の規則に関しては、オマーン国においては環境大気質基準は現在まで制定されていない。従って、米国における環境大気質の基準（NAAQS）がオマーン国における基準として、準用されている。NAAQS を表 17.10 に示す。NAAQS においては、SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、CO、NO<sub>x</sub>、オゾンおよび鉛の 6 種類の大気汚染物質について規定している。従って、国営の常時監視測定局においては、これら 6 種類の汚染物質についてモニタリングを行う必要があると考えられる。しかしながら、前述したように、ソハール鉱山地域において新設する国営の常時監視測定局は OMCO 製錬所からの排煙の影響をモニタリングすることを目的としている。この目的を果たすためには、これら 6 種類全ての項目について必ずしもモニタリングする必要はないと考えられる。これら 6 種類の大気汚染物質の中では、SO<sub>2</sub> が最も銅製錬との関連が強いため、OMCO 製錬所からの影響をモニタリングするためには、SO<sub>2</sub> のモニタリングが最優先されるべきであると考えられる。

表 17.10 米国における環境大気質の基準(NAAQS)

POLLUTANT	STANDARD VALUE	STANDARD TYPE*1
Carbon Monoxide (CO)		
8-hour Average	9 ppm (10 mg/m <sup>3</sup> )	Primary
1-hour Average	35 ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )	Primary
Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> )		
Annual Arithmetic Mean	0.053 ppm (100 μg/m <sup>3</sup> )	Primary & Secondary
Ozone (O <sub>3</sub> )		
1-hour Average	0.12 ppm (235 μg/m <sup>3</sup> )	Primary & Secondary
Lead (Pb)		
Quarterly Average	1.5 μg/m <sup>3</sup>	Primary & Secondary
Particulate (PM <sub>10</sub> )		
Annual Arithmetic Mean	50 μg/m <sup>3</sup>	Primary & Secondary
24-hour Average	150 μg/m <sup>3</sup>	Primary & Secondary
Sulfur Dioxide (SO <sub>2</sub> )		
Annual Arithmetic Mean	0.03 ppm (80 μg/m <sup>3</sup> )	Primary
24-hour Average	0.14 ppm (365 μg/m <sup>3</sup> )	Primary
3-hour Average	0.50 ppm (1300 μg/m <sup>3</sup> )	Secondary

### 3) モニタリング頻度

国営の常時監視測定局の目的を考慮して、連続モニタリングが適切であると考えられる。実際に、既存の常時監視測定局においては、連続モニタリングが実施されている。

### 4) モニタリング方法

ソハール工業地帯の既存の常時監視測定局においては、紫外線蛍光式 SO<sub>2</sub> モニター、発電装置、電話線、発信・受信装置で構成されるオンライン式モニタリング・システムが採用されている。環境大気中の SO<sub>2</sub> が自動的にモニタリングされ、収集されたデータはオンライン・システムにより MMEW 本部へ送信される。ソハール工業地帯において採用されているシステムは最新式であり、また MMEW がこのシステムに精通していることから、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採用されるべきであると考えられる。

#### b. 気象常時監視測定局の新設

気象状況は大気汚染物質の拡散に大きく影響するため、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と考えられる。基礎的な情報としての役割の他に、気象データは以下のように利用される。

- 警報発令日の予測：逆転層のような気象条件は地表における大気汚染物質の着地濃度の増

大をもたらす。大気汚染物質濃度が上昇した場合には、地域の住民に対し健康障害をもたらす可能性があり、住民の健康保護を目的とした警報発令を行うため、気象状況と住宅地における大気汚染物質着地濃度との相互関係を明らかにすることが必要であると考えられる。

- 大気拡散シミュレーション・モデルの構築：大気拡散シミュレーション・モデルは大気汚染物質拡散予測に対し効果的な手法である。対象地域に合わせたシミュレーション・モデルを構築するためには、地域レベルの気象データが不可欠である。

## 1) モニタリング地点

気象データは大気モニタリング・データとの相関関係において評価されるため、気象モニタリング地点は、大気常時監視測定局に近接した場所に設置されるべきであると考えられる。さらに、以下のような事項についても考慮する必要がある。

- 地形／障害物：気象データは、対象地域の代表的な気象の状態が反映されなければならない。このような理由から一般的ではない地形、あるいは障害物に近接する場所は気象常時監視測定局には不適當である。
- アクセス：維持管理を容易にするためにはアクセスの良さを確保する必要がある。
- 損傷行為に対する防御

ソハール工業地帯の常時監視測定局においては、大気質モニタリングだけではなく、気象についてのモニタリングについても実施している。このようなシステムは、大気質データと気象データとの比較解析を可能にし、また管理の面から見ても最良のシステムの一つであると考えられる。従って、気象モニタリングはソハール鉦山地域における新設の国営常時監視測定局と同一地点で実施されるべきである。

## 2) モニタリング項目

気象モニタリング項目において、風速および風向は大気汚染物質の拡散に大きな影響を及ぼすため、最も重要な項目である。さらに、大気拡散シミュレーション・モデルを構築するためには他の項目についても必要とされるため、以下の項目についてモニタリングを実施するべきであると考えられる。

- 風速
- 風向
- 気温
- 日射量
- 相対湿度
- 大気圧
- 天候
- 降水量

### 3) モニタリング頻度

気象モニタリング・データは、環境大気モニタリングの期間を通して得る必要があるため、連続モニタリングが必要であると考えられる。

### 4) モニタリング方法

気象モニタリングの方法および機器には多くの種類が存在し、データの信頼性が保証される限りどのような機器を用いても良い。気象モニタリング機器の例を表 17.11 に示す。

表 17.11 気象モニタリング機器の例

測定項目	モニタリング機器
風速	風杯型風速計、風車型風速計、風車型自記風向風速計
風向	矢羽根式風向計、風車型自記風向風速計
大気温度	白金抵抗温度計、二重管温度計、バイメタル自記温度計
日射量	熱電対列式全天日射計、バイメタル式全天日射計
相対湿度	乾湿素子式湿度計、通風乾湿計、毛髪自記式湿度計、
大気圧	フォルトン型水銀気圧計、アネロイド気圧計
天候	-
降水量	転倒升式雨量計、貯水型雨量計

## (2) OMCO 製錬所の環境大気モニタリング・システムに関する提言

### a. 煙源モニタリングの実施

OMCO 製錬所の煙突から排出される汚染物質を測定するために、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。測定された排気ガス中の SO<sub>2</sub> は、以下のような点で活用することができる。

- 汚染対策の基本データ
- 大気拡散シミュレーション・モデルの構築
- 大気汚染物質の排出量と自国および国際的な排出基準との比較・評価

実際の SO<sub>2</sub> 煙源モニタリングは煙源測定により実施される。煙源測定は、ガス流量の測定、構成成分濃度の測定および質量排出率算出の主要な 3 要素から構成されている。これらの各要素は、USEPA 法 (Appendix A of Chapter 40, subpart 60, of the Code of Federal Regulations (CFR)) で以下のように定められている。

## b. 煙道排ガス流量の測定

煙道排ガスの流量は以下の連続の方程式から算出される。

$$Q = VA$$

Q : 流量

V : 煙道排ガスの流速

A : 煙道の断面積

煙道排ガスの流速は、以下のベルヌーイの方程式を用いて、平均流速圧から算出される。

$$VP = \rho V^2 / (2g)$$

VP : 流速圧

$\rho$  : 煙道排ガス密度

V : 煙道排ガスの流速

流速圧はピトー管を用いて、煙道断面の数地点において測定される。この測定方法は平均流速圧を測定するために用いられる。煙道排ガス密度は、煙道排ガス中に存在する酸素、一酸化炭素、二酸化炭素、窒素の体積百分率から算出される。これらの成分は一般的な煙道ガスの体積の大部分を占めるため、加重平均分子量を測定するために用いられる。煙道排ガスの分子量は、標準状態においてはいかなる種類のガスでも 1 モルであれば同体積を占めるという理想気体の状態式を用いて、ガス密度に換算される。流速圧と密度を上記の式に代入し、煙道排ガス流速を算出し、さらに連続方程式に流速および煙道断面積を代入し、実際の流量を算出する。

## C. 構成成分濃度の測定

SO<sub>2</sub> 濃度は機器分析法もしくは湿式法により測定することができる。機器分析法は濃度計に煙道排ガスを吸引することにより体積濃度が求められる。一方、湿式法は既知量の煙道排ガス中の成分ガスを捕集し、捕集された成分の質量は、その後化学分析によって測定される。各測定法の概要を以下に示す。

### 1) 機器分析法 (Method 6C)

#### - 原理:

排ガス試料は煙道から連続的に採取され、その一部が紫外線、非分散型赤外線式 (NDIR) あるいは蛍光式 SO<sub>2</sub> 分析計へ導入され、SO<sub>2</sub> ガス濃度が測定される。

#### - 分析装置

- SO<sub>2</sub> 濃度計: 試料ガス流中において SO<sub>2</sub> 濃度を連続的に測定する方法として、紫外線または非分散型赤外線吸収、あるいは蛍光式濃度計が用いられる。分析装置に導入されるガス流量を制御するための手段および正確な試料流量を測定するための装置 (例えば精密ロータ・メーター、圧力ゲージ等) が備え付けられている。

- データ記録計: 測定データを記録するため、ストリップ・チャート記録計、アナログ・コン

ピューターまたはデジタル・コンピューターが必要とされる。データ記録計の分解能（すなわち解読能）はスパンの 0.5% である。また代替品として、分析装置の応答を変換するために 0.5% の解析能を有するデジタルまたはアナログ・メーターを用いてもよく、その際、読み値はサンプリング作動中等間隔で得られる。

## 2) 湿式法 (Method 6)

### - 原理:

ガス試料は煙道のサンプリング地点から採取される。硫酸ミスト（三酸化硫黄を含む）と二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ ) が分離され、 $\text{SO}_2$  がバリウム滴定法により測定される。

### - 分析手順

捕集容器内の容液を 100mL 容フラスコに移し、純水で正確に 100mL とする。この溶液中からピペットを用いて 20mL を 250mL 三角フラスコに移し、100%イソプロパノールを 80mL、およびトリン指示薬を 2~4 滴加える。0.0100 N バリウム標準液を用いて、ピンク色の終点まで滴定を行う。この操作を繰り返し、滴定量の平均値を求める。また各サンプルについて、ブランク試験も行う。繰り返しの滴定値は 1% あるいは 0.2mL 以内で一致しなければならない。

## 3) 質量排出量の算出

$\text{SO}_2$  の質量排出量は単純に  $\text{SO}_2$  濃度にガス流速を乗することにより算出される。その際、適切な単位を守ること、およびガス流量、 $\text{SO}_2$  濃度をともに乾きガスの標準状態を用いることに注意しなければならない。

### d. 環境大気モニタリング装置の改善

現在、OMCO では環境大気中の  $\text{SO}_2$  濃度の測定において、溶液導電率法を採用している。本法における最大の欠点は、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCl}$  および  $\text{NO}_2$  のような共存ガスの一部が電解液中に溶解し、導電率を変化させることにより誤差をもたらすことである。本法は一般的にこれらの共存ガス濃度が無視できるほど低いか、またはその影響を除去できる場合において採用される。ソハール鉱山地域周辺の環境大気中に含まれるこれら 4 種の共存ガスの量は明らかではないが、一般的な環境大気中には、これらのガスは多少なりとも含まれるため、OMCO のモニタリング・データの信頼性は低いと考えられる。

紫外線蛍光分析法は共存ガスによりもたらされる誤差がほとんど無い点において非常に優れている。本法は、一般的な環境大気中においては通常ほとんど含まれていない炭化水素にのみ影響を受ける。紫外線蛍光分析法は、最近非常によく普及しており、米国および日本を含む多くの国において標準法として採用されている。また、オマーン国においても、MMEW では常時監視測定局で紫外線蛍光分析法が採用されている。このような状況から、既存の溶液導電率式  $\text{SO}_2$  モニターを紫外線蛍光方式  $\text{SO}_2$  モニターに変更するべきであると考えられる。

紫外線蛍光方式  $\text{SO}_2$  モニターを導入する際、収容施設、電源設備、空調設備等を含む付帯施設および設備が必要とされるため、紫外線蛍光方式  $\text{SO}_2$  モニターの特性に適したシステムを構築す

る必要がある。

#### e. 適切な常時監視測定局とモニタリング頻度の選定

OMCO は製錬所の半径 10km 以内の 10 カ所のモニタリング地点において、定期的に SO<sub>2</sub> のモニタリングを実施しており、スハイラ、サガ、ワジ・アル・オワイナ、ラハブおよびアル・ハイルの 5 地域に各 2 地点ずつのモニタリング地点を設置している。

本調査においては、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、OMCO 製錬所から排出される排煙によりほとんど影響を受けないことが明らかになった。このため、将来的なモニタリングにおいては、より小規模のモニタリング・ネットワーク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縮小はモニタリング・コストの削減にもつながる。このことから、下記の 3 地点において大気モニタリングを実施することを提案する。

- ラハブ (A-8)
- スハイラ (A-2)
- マガン

ラハブとスハイラは OMCO 製錬所の南西部（卓越風の風下）に位置し、OMCO 製錬所から環境大気中に排出される排煙の影響をモニタリングするためのモニタリング地点として最適であると考えられる。また、OMCO 製錬所から 20km 離れたマガンは、バックグラウンド大気質モニタリング地点としての役割を果たす。

一方、OMCO は定期的に月に 1 回または 2 回の頻度でモニタリング（連続 24 時間）を実施している。大気汚染物質の拡散は風向および風速により影響を受けやすく、それらは刻々と変化するため、連続モニタリングを実施するべきであると考えられる。ソハール鉱山地域における大気拡散メカニズムを理解し、人間の健康および環境の保護のための効果的な方法を策定するためには、連続モニタリングは不可欠であると考えられる。

### (3) MMEW および OMCO のモニタリング・データの効果的活用

ここまで、MMEW および OMCO のそれぞれのモニタリング・システムに関する提言を述べた。ここでは、MMEW および OMCO により得られた環境大気モニタリング・データの活用について述べる。

MMEW における環境大気モニタリングの主な目的は、OMCO 製錬所からの排煙を監視することにある。MMEW は、排煙に関する OMCO の活動が適当でないと考えられる場合には改善を指示し、罰則を課すことができる法的権限を有する。一方、OMCO の環境大気モニタリングの主な目的は、規則に違反しないための排煙の自己監視にある。このようにモニタリングの目的が相違するため、MMEW と OMCO のモニタリングは各々において実行されるべきであるが、モニタリング・データを共有することにより、大気汚染防止対策を有効に行うことができると考えられる。大気モニタリング・データの共有は詳細な大気拡散メカニズムの解析につながり、OMCO における大気汚染防止対策の改善、MMEW における規則の検討および改訂に有効である。モニタリング・システムの計画においては、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

## 第 18 章 環境管理体制

### 18.1 水質に関する環境管理体制

#### 18.1.1 現在の水質環境基準の維持のための提言

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おり、一部のパラメーターに関する基準は米国環境保護庁（USEPA）が定めた基準よりも厳しいものとなっている。

現在定められている排水の最大許容限界値は、変更する必要がないと考えられる。この排水の最大許容限界値は技術的な条件に基づいて定められたものであり、現在使用可能な最高の廃水処理技術を用いた際に得られる水質を基準としている。より厳しい基準を達成するためには、より高度な廃水処理設備が必要であり、それらは入手不可能、もしくは入手可能であっても非常に高価である可能性が高いため、現在定められている排水の最大許容限界値をより厳しいものに変更することは現実的ではない。排水基準の数値の変更は経済的な影響を及ぼす可能性が高いため、法規制を変更する際には事前に十分に検討を行う必要がある。

同様に、飲料水基準についても変更する必要はないと考えられる。オマーン国の飲料水基準は人の健康を維持するために適切なレベルにあり、WHO の基準とも合致している。なお、この飲料水基準は現在入手可能な水処理技術により十分に達成されるレベルである。

#### 18.1.2 オマーン国における水質環境管理体制の強化のための提言

##### (1) DGM と MMEW との連携

ワジ・スーク川において行われた本調査により、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という結論が得られた。従って、MCI と MMEW との協調・協同を促進するための恒常的な連絡体制が DGM に確立されるべきであると考えられる。この連絡体制の目的は MMEW の職員と緊密な関係を持つことにより、鉱山開発プロジェクトに伴う水質その他の環境問題について適正に対処することにある。

この連絡体制は、鉱山開発プロジェクト実行時に稀少な水資源を保護し、現在ワジ・スーク川に存在するような汚染を防止するという最終目標の基に MCI および MMEW の職員が連携し合い、よりよい環境問題に対する解決策を導き出すことに貢献すると考えられる。連絡体制を担当する職員は環境プロジェクトと鉱山開発プロジェクトの両方の経験を持っていることが望ましい。

##### (2) 有害廃棄物処理施設

工業国においては、水質の保護のために、工業活動によって発生する有害廃棄物を廃棄するための処分場を設置する必要がある。オマーン国における有害廃棄物の発生・輸送・保管・処理・処分については、省令 No. 18/93 に基づく“危険廃棄物の管理における規則”において定められている。しかしながら、MMEW の職員によれば、オマーン国には有害廃棄物処理施設は存在してい

ないとのことであった。もしこれが本当ならば、オマーン国の水資源はライニング等の安全確保がなされていない処分場への有害廃棄物の不適切な処分により、危険にさらされていることになる。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・スタディーを実行する必要があると考えられる。

### (3) 緊急時の措置

オマーン国においては、企業が過去に引き起こした環境汚染に対し、その企業に浄化の義務を課す法的枠組みが存在しないことが本調査で明らかになった。ソハール鉱山地域における地下水汚染は、過去の採鉱および工業活動が環境中に有害物質を排出することにより水質に影響を与えているという例である。さらに、オマーン国の産業は石油の生産・輸送・精製に大きく依存しているため、石油その他の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と考えられる。

その例として、米国環境保護庁の定めている石油および危険物質の汚染緊急対策法（NCP）が挙げられ、オマーン国における緊急事対策のモデルを提供すると考えられる。

その NCP の目的は、現在および過去に石油もしくは有害物質の流出が起こった場合の対応策について定めることにある。この法律に定められている規定としては以下のものがあげられる。

- NCP は石油もしくは有害物質の流出に関する義務、責任、担当政府・非政府機関について明示する。CERCLA は政府機関と対応策を計画・構築するために設立された機関との協調について定めている。これらの法律は国家・地方・地域対応チームが石油および有害物質の流出に関し、段階的な対応策を策定する権利を定めている。
- NCP は石油もしくは有害物質の緊急流出に対する段階的な対応を定める。
- 段階的な対応を以下に示す。
  - 1) 第一段階：発見もしくは流出主体に対する対応策の通知
  - 2) 第二段階：流出に関する予備評価の実施
  - 3) 第三段階：流出物質の封じ込め・対策・浄化・廃棄の実施
  - 4) 第四段階：対策および浄化費用の文書記録の作成
- 石油もしくは有害物質の流出の責任主体は流出を地域もしくは州の対応センターに報告する義務があることを定めている。報告義務を怠った場合は罰則の対象となる。この法律においては、報告対象物質として数百種類の化学物質を定めている。
- NCP においては、流出が発見された場合の報告について以下のような詳細な手続きが定められている。
  - 1) 流出の評価
  - 2) 除去の時間的緊急性への対応

- 3) サイトの評価
- 4) 対策に関する調査、浄化のフィージビリティ・スタディ
- 5) サイトの浄化に関する重要事項
- 6) 浄化および自然資源の被害に対する費用の評価

- NCP は、石油もしくは有害物質の流出を評価し、米国環境保護庁に責任主体から流出の浄化に関する費用を負担させる権威を与えたという点において最も重要であると考えられる。米国においては過去数百年前の流出についてもこの法律が適用され、浄化に対して効果を発揮している。

## 18.2 大気に関する環境管理体制

### 18.2.1 大気環境管理体制の現況

#### (1) MMEW

オマーン政府は“*Regulations for Air Pollution Control from Stationary Sources*”の中で大気汚染物質に関する排出基準を定めている。本規制では銅製錬業を含む特定の作業現場から排出される飛散ダストに関する排出基準が数値として規定されており、銅製錬業に関しては以下のように規定されている。

- 全粒子状物質 : 0.200g/m<sup>3</sup>
- 銅化合物（銅として） : 0.100g/m<sup>3</sup>
- 亜鉛化合物（亜鉛として） : 0.100g/m<sup>3</sup>
- カドミウム化合物（カドミウムとして） : 0.020g/m<sup>3</sup> かつ排出量が 1.0kg/h を超えないこと
- 鉛または鉛化合物（鉛として） : 0.030g/m<sup>3</sup> かつ排出量が 3.0kg/h を超えないこと

SO<sub>2</sub>に関しては、省によって承認された「最善の実施可能な対策 (*Best Practicable Measures*)」を実施することが規定されている。しかしながら、SO<sub>2</sub>の環境大気に関する基準は未だ規定されておらず、現在のところ、米国環境保護庁の環境大気基準がオマーン国における基準値として採用されている。ただし、OMCO に対しては更に厳しい EEC の SO<sub>2</sub> 基準が適用されている。

MMEW 本部における大気・騒音公害管理部門 (*The Air & Noise Pollution Control Section*) は大気保全の全業務に関する責任を負っている。この部門は、統括責任者、5 名の大気・騒音専門員、事務員の計 7 名で構成されている。また、MMEW には 7 つの地方局があり、職員は合計 70 名程度になる。これらの地方局は大気、水質、海洋、土壌、廃棄物を含む環境問題全般を処理するための役割と機能を有し、環境全般の専門家として任命された地方局職員によって業務が遂行されている。ただし、現在のところ大気の専門家として地方局に任命されている職員は存在しない。

MMEW は OMCO や鉛蓄電池製造工場のような大気汚染源となる現存の大規模工場に対し、大気モニタリングを行うことを義務付けている。また、新施設に対しては新規計画に関する環境影響評価書 (EIA) を提出することを義務付けている。大気・騒音公害管理部門では排出源を抽出するため EIA が再検討され、その結果に基づき、新工場の建設や操業の条件としてモニタリングの場所、項目、頻度、記録の保管、報告書提出等の要求事項が決定される。MMEW はこうした工場から提出されたモニタリング報告書や国営の環境大気常時監視測定局における測定データを有しているが大気に関する年次報告書は公表されていない。MMEW は公害抑制の指導、助言、勧告をするために工場査察を行い、そこで違反が発見された場合は罰金、操業停止をも含む罰則に従って、その工場を処罰することができる。

## (2) OMC0

OMC0 は環境問題に対処するための環境管理体制を定めている。OMC0 の環境管理組織を図 18.1 に示す。

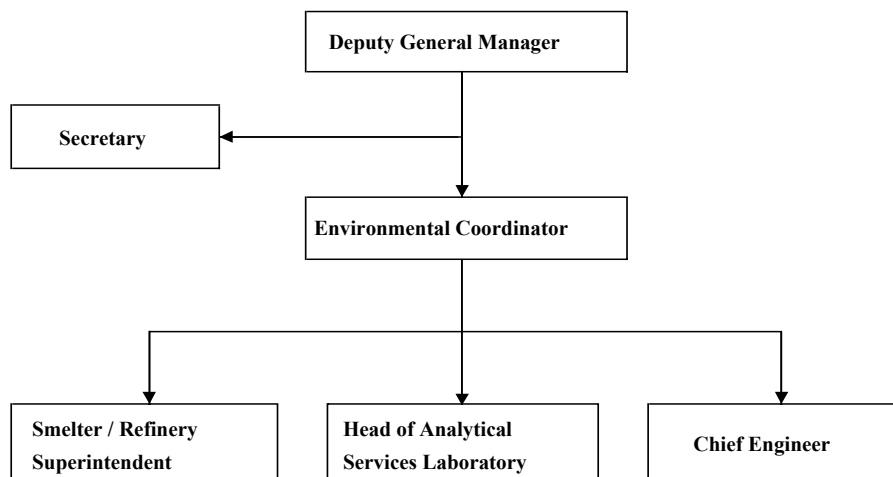


図 18.1 OMC0 における環境管理組織

各部門の役割と責任について以下に示す。

Deputy General Manager (DyGM) - OMC0 における環境管理の最高責任者であり、OMC0 が抱える環境関連事項について定める。また、OMC0 によって行われる全ての環境に関する優先事項を提示し、環境の保護・モニタリング・保全に関する問題において OMC0 を代表して交渉役を務める。

Secretary - 関連部門から提出される環境モニタリングの月次報告書を作成する。

Environmental Coordinator (EC) - EC は主として OMC0 によって行われる環境管理計画の実施における部門間の調整役を務める。また、Yanqul 地域および Sohar における地下水の定期サンプリング計画についての責任を負う。

Smelter/Refinery Superintendent (S/R Supt.) - S/R Supt. は Sohar 銅製錬所周辺における環境大気モニタリングに関して責任を負う。また、製錬所から排出される廃水の処理に関しても責任を負う。廃水は処理された後、高密度ポリエチレンで内張りされたパイプにより蒸発池に輸送され処分されている。S/R Supt. は Sohar 製錬所で取り扱われる銅精鉱中の不純物についても管理している。

Head of Analytical Services Laboratory - ソハール、ラカ、ヤンクル地域周辺における全ての水サンプルの化学分析について責任を負う。また、EC が不在の際、その職務に対し責任を負うこともある。

Chief Engineer - 主任技術者は製錬所内における工業用水の消費量・要求量の管理およびソハール鉱山・製錬所周辺の集落への飲用水の供給を担当する。また、テーリングダム地域において行われている汚染改善対策に使用するポンプ設備の運転管理に関しても責任を負う。

## 18.2.2 大気環境管理体制に関する提言

MMEW および OMC0 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) MRME

#### a. 大気環境基準の制定

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と考えられる。制定される大気環境基準は、国際的な基準から逸脱せず、なおかつ自国の環境的・社会経済的条件に適合したものである必要がある。表 18.1 に米国および日本の国家大気環境基準、世銀および WHO の大気環境ガイドラインを参考として示す。

#### b. 国家環境大気モニタリング・ネットワークの強化

現在 MMEW は全国に 7 カ所の環境大気測定局を設置している。ここで測定されている大気汚染物質の種類は少なく、各大気汚染物質に対する測定局数は最高でも 3 ヶ所である。オマーン国における環境大気の現況を十分に把握し、適切な対策を策定していくためにはより多くの環境大気測定局を設置する必要があると考えられる。参考として、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の数を表 18.2 に示す。

一方、既に述べたように、現在米国の大気環境基準がオマーン国の大気環境基準として採用されている。米国の大気環境基準においては、SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、CO、NO<sub>x</sub>、オゾンおよび鉛の 6 種類の大気汚染物質についての基準が定められているため、オマーン国の環境大気測定局においてはこれら 6 種類の大気汚染物質について測定する必要があると考えられる。既存の環境大気測定局においてはオゾンおよび鉛の測定は全く行われていないため、これらの大気汚染物質に対する測定を実施する必要があると考えられる。

表 18.1 日本、米国、世銀およびWHOの大気質基準

Pollutant <sup>*1</sup>	Averaging Time	Standard Value ( $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}^2$ )							WHO
		US		Japan	World Bank			WHO	
		Primary <sup>*3</sup>	Secondary <sup>*4</sup>		Emergency Trigger Value	Poor Air Quality	Moderate Air Quality		
Carbon Monoxide (CO)	15 minutes								100,000
	30 minutes								60,000
	1 hour	40,000							30,000
	8 hours	10,000		22,902					10,000
	24 hours			11,451					
Lead	3 months	1.5	1.5						0.5
	Annual								200
Nitrogen Dioxide (NO <sub>2</sub> )	1 hour								
	24 hours			75-112	150	>150 (95th percentile)	>150 (98th percentile)	>150 (98th percentile)	
	Annual	100	100			>200	>100		40
Ozone	1 hour	235	235	117 <sup>*5</sup>	150				
	8 hours								120
	1 hour			200					
Particulate Matter (PM <sub>10</sub> )	24 hours	150	150	100	150	>150 (95th percentile)	>150 (98th percentile)	>150 (98th percentile)	
	Annual	50	50			>100	>50		
	10 minutes								500
	1 hour			260					
Sulphur Dioxide (SO <sub>2</sub> )	3 hours		1,300						
	24 hours	365		104	150	>150 (95th percentile)	>150 (98th percentile)	>150 (98th percentile)	125
	Annual	80				>100	>80		50

\*1 "classical" or "criteria" pollutants only.

\*2 referenced or calculated to 25 °C and 760 mmHg.

\*3 standard set limit to protect public health, including the health of "sensitive" populations such as asthmatics, children, and the elderly.

\*4 standard set limits to protect public welfare, including protection against decreased visibility, damage to animals, crops, vegetation and buildings.

\*5 standard for photochemical oxidants



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

Name of Country	Number of National Ambient Air Quality Monitoring Stations
US	2,627 (Year 2000)
Japan	2,138 (Year 1998)
UK	>1,500 (Year 1998)

### c. 銅製錬業に対する排出基準の改善

オマーン政府は“Regulations for Air Pollution Control from Stationary Sources”に基づき排出基準を定めている。表 18.3 にオマーン国、世銀および日本の銅製錬業に対する排出基準の比較を示す。この比較から、オマーン国の基準値は全て世銀および日本の基準値よりもかなり緩やかなものであることが分かる。オマーン国の排出基準は国際的な基準からみて適正ではない可能性があり、MMEW は将来的にオマーン国における銅製錬業に対する排出基準をより厳しいものにする必要があるのではないかと考えられる。

また、オマーン国の銅製錬業に関する排出基準においては世銀および日本が定めている SO<sub>2</sub> に関する基準が定められていない。銅精錬業からは通常多量の SO<sub>2</sub> が発生するため、排出基準として追加する必要があると考えられる。

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

Parameter		World Bank	Japan	Oman
Sulfur Dioxide		1,000	2,247-13,107* <sup>1</sup>	-
Nitrogen Dioxide		-	205-677* <sup>2</sup>	-
Arsenic		0.5	-	-
Cadmium		0.05	1.0	20
Copper		1	-	100
Lead		0.2	30	30
Mercury		0.05	-	-
Zinc		-	-	100
Particulates	smelter	20	100-150* <sup>2</sup> (regulated as soot and dust)	200
	other source	50		

\*1 : set by area

\*2 : set by type of furnace

### d. データベース・システムの構築

MMEW は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。これに加え、国中の企業から提出された大気モニタリング・レポートを所有している。現在のところ MMEW はこれらのデータ・レポート等をレビューし、保管しているだけであるが、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、環境の現状を環境大気管理政策に有効に反映させることが可能になると考えられる。データベース・システムには以下の項目が含まれる必要があると考えられる。

- 国の環境大気測定局において測定された環境大気データ
- モニタリング・データの統計・評価
- 企業により測定された環境大気データ

データベース・システムの構築には通常多額の初期費用がかかる。しかしながら、データベース・システムによる得られる利益はデータの蓄積とともに大きくなるため、長期的な視点から見れば不可欠なものであると考えられる。

#### 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

財政援助および支援体制の確立は企業に大気汚染防止設備の設置・改善を促進する上で最も有効な方法の一つである。大気汚染防止設備は通常非常に高価であるため、企業の自助努力にのみ依存することには限界があると考えられる。従って MMEW は将来的に財政援助および支援体制を確立する必要があると考えられる。

#### f. 人的能力強化

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。

### (2) OMC0

#### a. 人的能力強化

大気環境管理体制の章で述べたように、OMC0 は排出源の測定を導入し、既存の環境大気モニタリング・システムの改善を図る必要があると考えられる。これらの実行には人的能力の向上が不可欠であるため、適正な人数を大気環境管理担当者として配置し、研修を実施する必要があると考えられる。

#### b. データベース・システムの構築

OMC0 は 1985 年から法的要求事項に基づいて大気環境モニタリングを実施しており、収集したデータを定期的に MMEW に報告している。OMC0 は現在 1985 年からのモニタリング・データを保管しているが、データベース・システムは構築されていない。データベース・システムは OMC0 製錬所周辺の環境大気の現況・傾向を把握し、環境管理計画の策定およびレビューを実施する上で非常に有効に機能するため、OMC0 はデータベース・システムの構築を行うべきであると考えられる。