

第5章 原料と用役

第 5 章 原料と用役

5.1 石炭

5.1.1 ジンバブエ国の石炭資源

(1) 資源量

ジンバブエ国の石炭資源の総量に関してはいくつかの調査が行われている。しかし、石炭資源の存在自体は確認されているものの、まだ十分なボーリング調査が行われておらず正確な評価ができない状況にある。従って、本調査では現地調査時に入手したデータのなかで最新の Montan Consulting社の報告に基づいて検討を行う。Table 1-5-1にまとめたごとく1983年に行われた同調査の報告によると、ジンバブエ国の石炭資源の総量は10,571百万トンである。

(2) ジンバブエ国の石炭の起源

ジンバブエ国の石炭は Permian期（二畳期：古時代の末期で 247万年前～289万年前）に生じた植物が炭化したもので、当時この地帯はGondwana大陸に属していたとみられている。起源的にはインド、オーストラリア、南米等に見られる石炭と同一と考えられる。石炭はKaroo系の地層の下から2番目の地層（Ecca層）から発見されている。この石炭は欧州等に存在する石炭に比べると年代が若く、質が劣ると言われている。

(3) 炭田の分布

ジンバブエ国において石炭の存在が判明している地域はFig. 1-5-1に示すように Zambezi河流域と Limpopo河流域およびそれに隣接する地域である。各々の炭田の推定埋蔵量と露天掘りの可能性については Table 1-5-1に示す通りである。これらの炭田の内、実際に採鉱の行われている炭田は、Wankie炭田のみであり、他は未採掘のままである。開発が計画されているのは Lubimbi炭田とSengwa炭田であるが、この計画の詳細は確定していない。

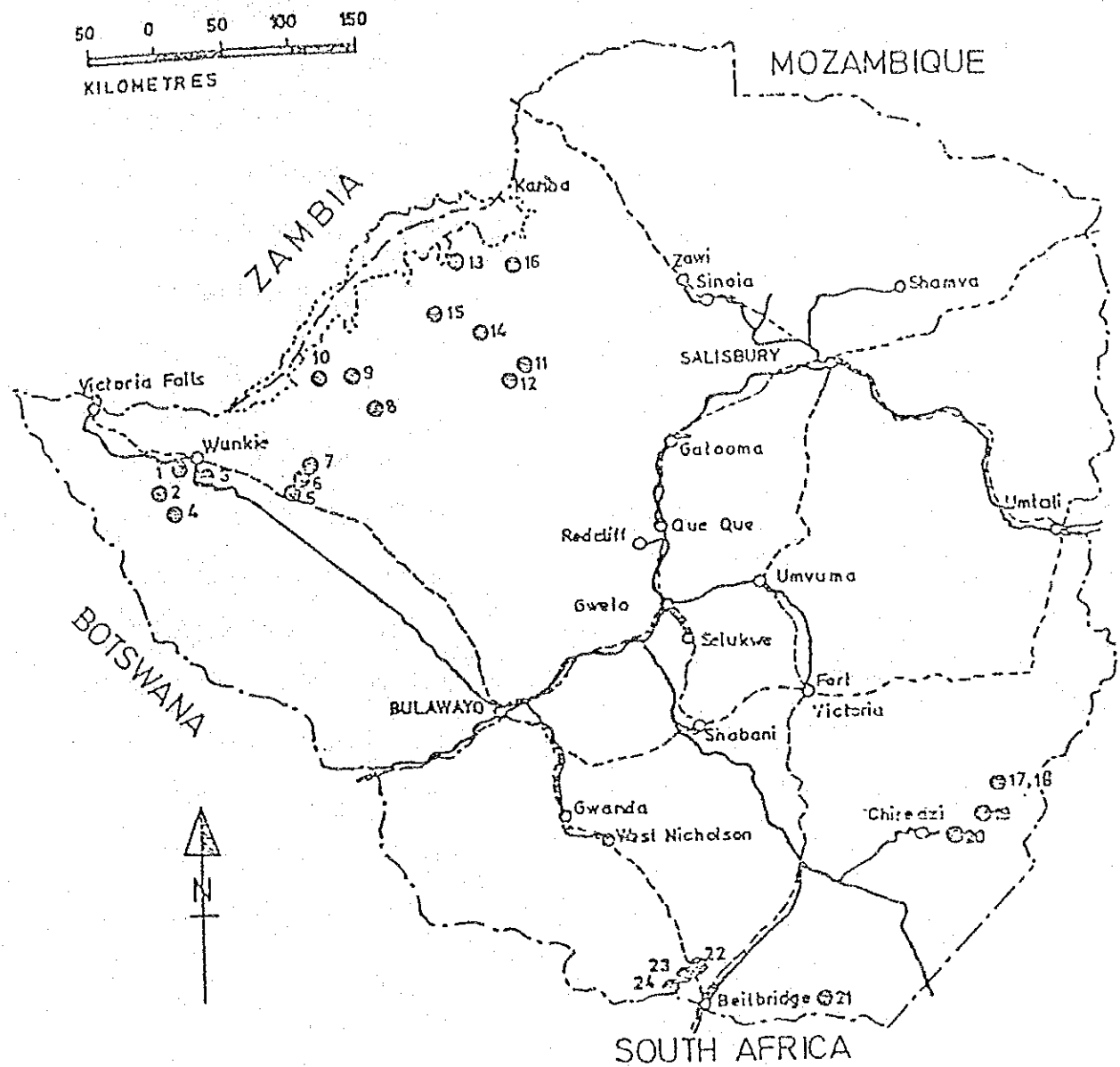
Table I-5-1 Estimation of Coal Reserve in Zimbabwe

Unit: Million T

	Probable Reserve	Opencastable Reserve
Wankie	655	324.8
Wankie western area	908	22.3
Entuba	167	65.4
Sinamatila	110	-
Dahlia	2,510	-
Hankano	127	-
Lubimbi	1,038	207.1
Lusulu	1,425	474.4
Lubu & sebungu	646	273.3
Kaoga & sessani	1,150	-
Nebiri & bari		-
Sengwa	1,038	384.3
Marowa	N.A.	-
Mkushwe*	N.A.	-
Malilongwe	N.A.	-
Bendezi	183	-
Dendere		-
Bubye	291	-
Singwesi		-
Umzingware	25	-
Massabi	102	-
Mkwesine	N.A.	196.3
Total	10,571	1,947.9

* May be same place as Mkwashine

Source : Montan Consulting '83



KEY

1 Wankie	7 Lubimbi	13 Nebiri	19 Malilongwe
2 Western Areas	8 Lusulu	14 Bari	20 Benoezi
3 Entuba	9 Lubu	15 Sengwa	21 Busye
4 Sinamatila	10 Sebuncu	16 Marowa	22 Singwesi
5 Dahlia	11 Kaonga	17 Mkushwe	23 Umzingwani
6 Hankano	12 Sessami	18 Dendera	24 Massabi

- International Boundaries
- Railways
- Main Roads
- Kariba Lake Shore Line

Fig. I-5-1 Location of Coalfields

本プロジェクトの原料としては、露天掘りによる安価な石炭のみを検討の対象とした。一方、実際に採鉱が行われているのはWankie炭田のみであるので、本プロジェクトへの石炭供給源もWankie炭田からとする。本プロジェクトが必要とする石炭量 720万トン（年間消費量を24万トン、プラントの操業期間を30年として推定）は、Wankie炭田の露天掘可能埋蔵量（32,500万トン）の2.22%にすぎない。

(4) 開発計画

上記のように実際に採鉱が行われているのはWankie炭田だけであり、他は未採掘のままであるが、LubimbiおよびSengwaの両炭田は開発が有望視されている。以下に両炭田の概要を述べる。

1) Lubimbi 炭田

本炭田は他に比べて調査が比較的良く進められており、露天掘りが確実にできる優良な鉱区がある。露天掘りの採掘可能量は20,700万トンであるが、その中の2,300万トンを確認量としている。また、この炭田は他に83,000万トンの坑内掘りによる採掘可能埋蔵量があり、合計では103,700万トンの埋蔵量がある。この炭田の特長は比較的既存の鉄道に近いことである。一方、炭質は灰分が比較的高いが、灰分の融点が1,150℃付近にあり、灰分の融点の低い石炭を必要とするガス化等の用途に適している。

2) Sengwa炭田

本炭田は比較的良質の石炭を産出するものと期待されており、ジンバブエ政府および産業界にもその開発を期待する声が聞かれる。この炭田には、10~11mの炭層があり、灰分20%以下でOverburden比7:1以下の条件での埋蔵量は2億トン、灰分17.5でOverburden比3.5:1以下の条件として1億トンの埋蔵量があるとされている。この炭田はジンバブエ中部の工業地帯(GweruおよびKwekwe地区)に近い位置にはあるが、既存の鉄道および幹線道路からはかなり離れており、炭田の開発に先立ち鉄道あるいは道路の建設が必要である。

5.1.2 Wankie炭鉱の概要

(1) 歴史と沿革

Wankie炭田はドイツ人Albert Gieseによって1894年に最初の採掘権の登記が

請求され、1899年にthe Wankie (Rhodesia) Coal, Railway and Exploration Company によって採掘が開始された。最初にBulawayoに向けて石炭が送り出されたのは1903年である。1914年には年間25万トンの石炭を採掘するようになり、以後生産量は急増して1927年には年間生産量が100万トンを越えた。最初に掘られたNo. 1 坑に加えて1927年からNo. 2 坑が生産に入り、1953年にはNo. 3 坑が生産に入った。

No. 1 坑は坑道に安全上の問題が生じたため、1958年にKaribaダムの水力発電所の完成に伴い、電力用石炭の需要が減少したのを期に閉鎖された。No. 2 坑は1972年に事故を発生し閉鎖された。一方、No. 1, 2 両坑の閉鎖による減産を補うために、露天掘りおよびNo. 4 坑の掘削が開始された。しかし、No. 4 坑は経済的理由から1981年に閉鎖されている。

以上のような経過を経て現在の石炭生産は露天掘りが中心となっており、No. 3 坑からはコークス用の高粘結炭 (Coking Coal)のみが採掘されている。露天掘りには1983年に12,800万Z\$の投資がなされ、3,500万トンのDragline等を含む新設備が投入された。この結果、Wankie炭鉱の生産能力は月産50万トンに増強された。

(2) No. 3 坑

Wankie鉱の炭層は約11mの厚さがあるが、一般に市販できる低灰分の石炭は底の方の3~4mの部分にしか存在しない。現在のところ、コークス用の石炭の需要の割合が相対的に高いので、No. 3 坑では11mの炭層の内、上部の灰分の多い層を放置して底部の高品質炭の層だけを採掘している。生産能力はコークス用石炭だけであるが月産70,000トンである。坑内へは地上から斜坑で通じており、石炭はベルトコンベアで搬出されている。

(3) 露天掘り

Wankie炭鉱の露天掘り鉱区の地層は概略Fig. 1-5-2に示すようになっている。炭層の厚みは約11mでこの上に約25mの厚さで岩石および土砂 (Overburden)がある。この炭層は均質ではなく、炭層の下部は粘結炭 (灰分9~12%、揮発分28~30%)で、上部は低品位一般炭 (灰分20~72%、揮発分15%)である。中間部は灰分15%、揮発分22%の石炭で品質は上下方向に連続的変化をしている。露天掘りを行うために、岩石・土砂を取り除く作業が必要で

ある。Fig. 1-5-3に概念を示す様に、ボーリングによって地表から穴をあけ、ここに爆薬をしかけて、岩石・土砂を破碎し、そのあと、Draglineを用いて、バスケットで土砂・岩石を移動し炭層を露出させる。次いで、上層部のSteam Coal（燃料用石炭）をパワーショベルを用いて掘り、ダンプカーに積んでベルトコンベアーへ送る。

ベルトコンベアーは現在のところ2列用意されており、1列は石炭を選炭プラントへ送る様になっており、他は石炭を火力発電所へ送るようになっている。各々のベルトコンベアーの上には個々にシュートが設けられており、どちらのシュートに荷下ろしするかによって行き先が決まる。

現在のところ上層部のSteam Coalのほぼ全量が火力発電所へ送られている。Steam Coalを採掘し尽くすと、次いで底部にある市販用高品質炭の採掘をパワーショベルで行い、ダンプカーでベルトコンベアー迄搬出して、選炭プラントへ送り、ここで選別、洗炭等が行われて市場へ送られる。

Fig. 1-5-4に現在および近い将来に露天掘りが予定されている鉱区の地図を示す。No.1、No.2、No.3、No.4の各坑の名前が示されている区域は既に採鉱の終わっている区域である。No.3坑はNo.3 North Areaの方向への拡大が予定されている。

(4) 資源量

Wankie炭田の石炭埋蔵量に関する一般的な評価は Table I-5-1に示した通りであり、露天掘り可能量は32,500万トンである。一方、WANKIE社の情報によると、露天掘りが予定されている火力発電用燃料炭（揮発分19.3%、灰分24.7%のもの迄含める）の量は17,400万トン、市販用石炭（揮発分25.7%、灰分11.7%のもの迄含める）の量は7,870万トンであり、No.3坑によるコークス用石炭（揮発分27.3%、灰分10.6%のもの迄含める）の量は6,600万トンである。以上の情報からは、露天掘りが可能な石炭の総量は31,870万トンとなり、Table I-5-1（Montan Consultingの報告）の数値と大きな差異はない。

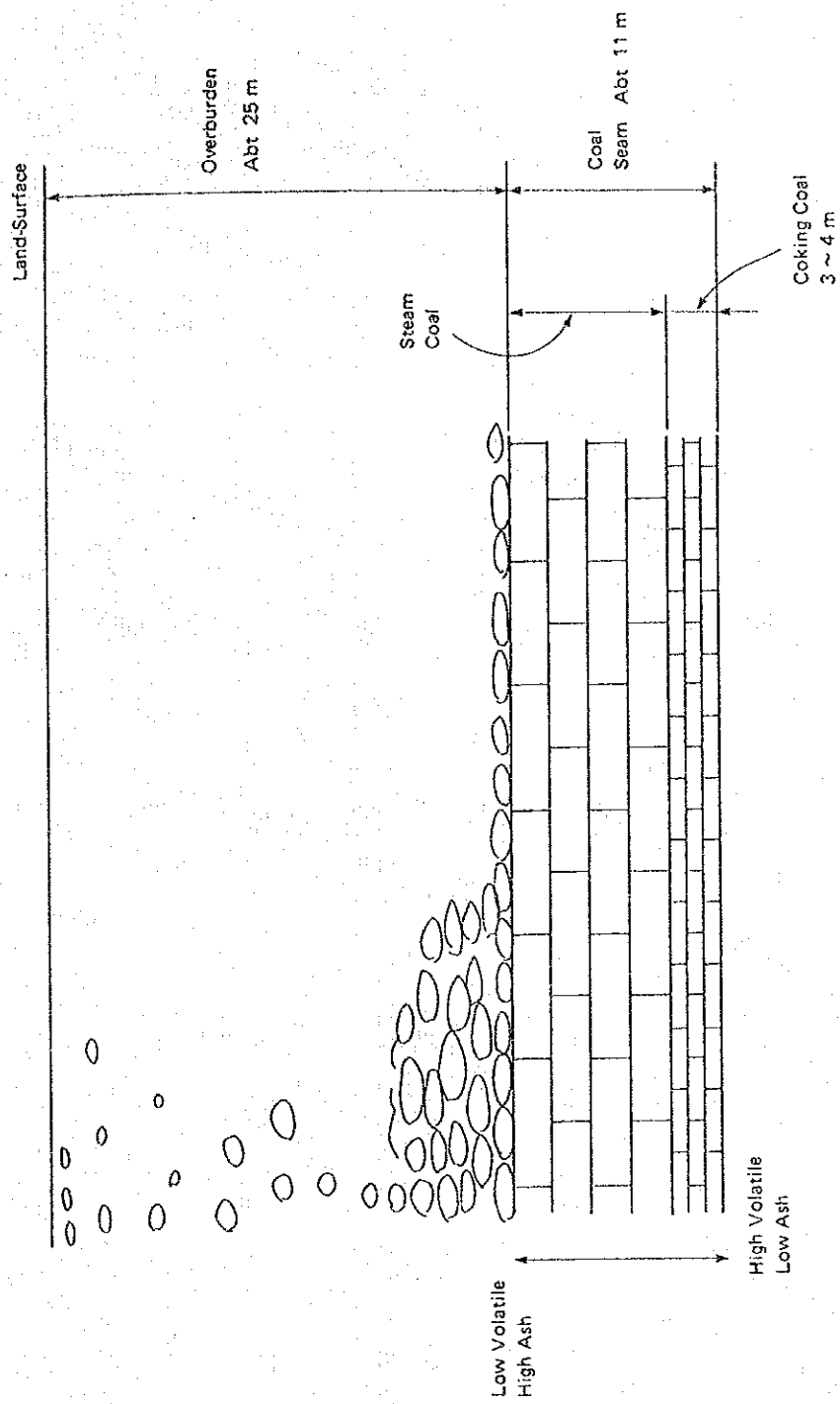


Fig. I-5-2 Coal Seam

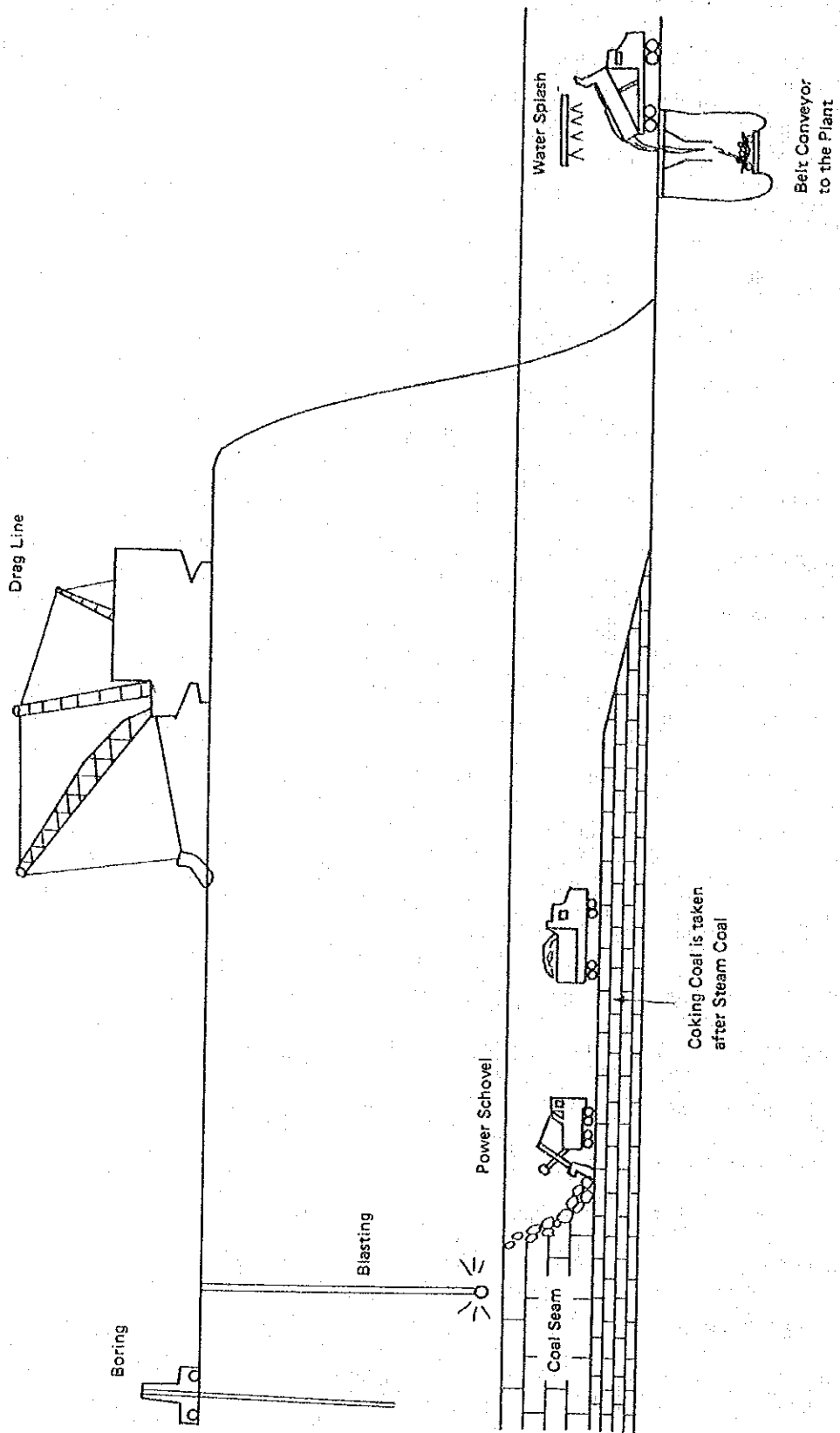


Fig. 1-5-3 System of Opencast

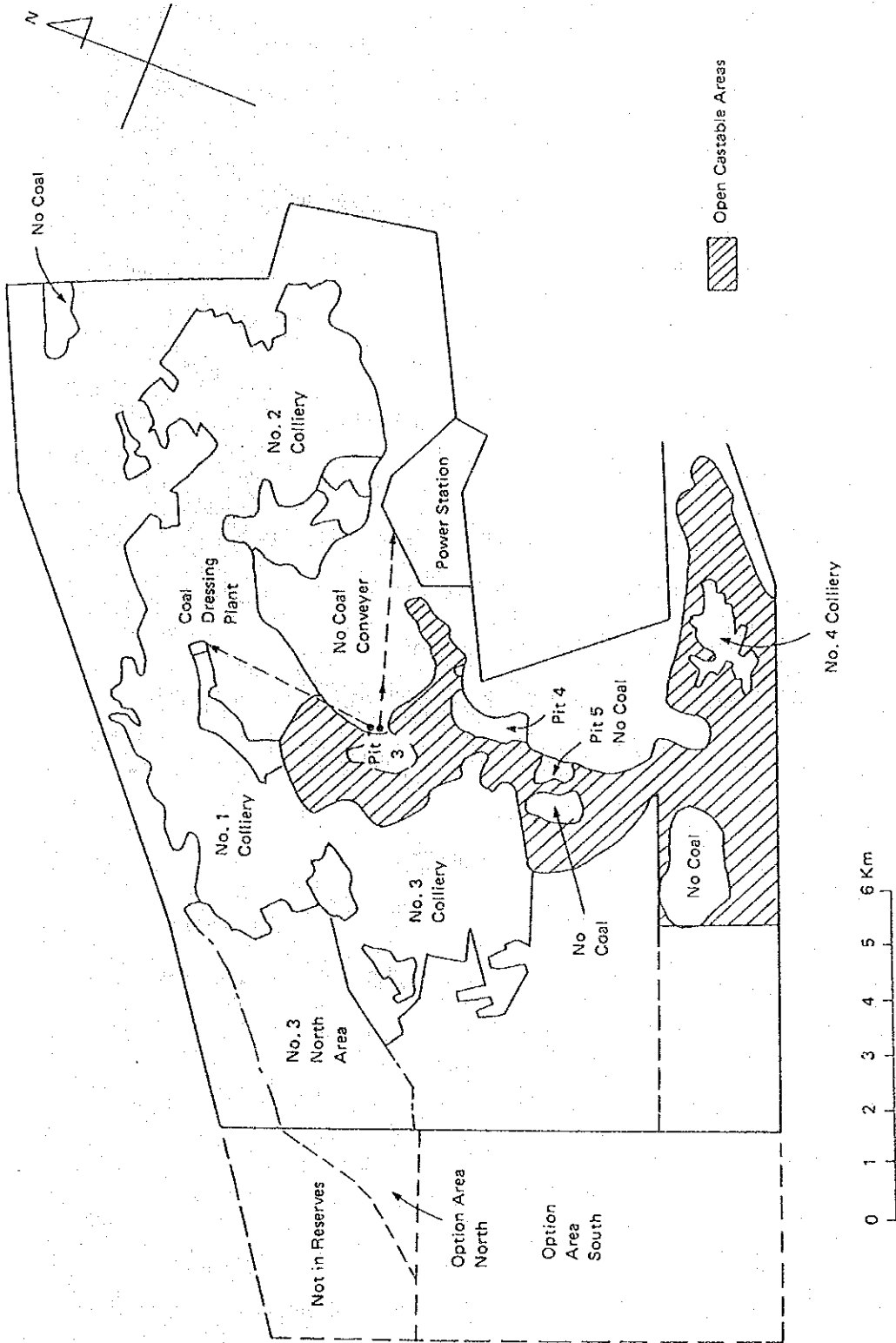


Fig. I-5-4 Wankie Colliery Opencastable Area
 (Based on an Introduction to Wankie Colliery Co, Ltd. 1983)

(5) 石炭の需要と供給

1) 石炭品質

WANKIE社では、炭層上部の低品質炭をHwange火力向け燃料炭に、炭層下部の良質炭を市販用一般に、No.3坑からの石炭を粘結炭として販売している。

市販用一般炭は未篩分け、篩分け、水洗篩分けの3種類に区分されている。
おのおのの品質は次の通りである。

① 未篩分炭 (Run of mine coal)

灰分 平均14%、最大22%

② 篩分炭 (Rounds, Cobble, Nuts, Peas, Duff) *

灰分 平均13%、最大18%

③ 洗炭、篩分炭 (Rounds, Cobble, Nuts, Peas, Duff) *

灰分 平均12%、最高15%、揮発分2%以上

注) *	Rounds	>100 (mm)
	Cobble	<100 >50(dry)、<60 >50(Wet)
	Nut	<40 >25
	Pea	<25 >10
	Duff	<10 >0.5

④ 粘結炭

灰分 9~11%、揮発分 24.5~25.5%、燐 0.1%以下

硫黄 1.5%以下

加熱膨張すること

サイズ 0.5mm以下が15~30%

⑤ 発電用炭 (ZESAとの間で下記の契約を結んでいる)

- a) 灰分 年間平均25%以下
- b) 発熱量 24.75MJ/kg (基準値)
- c) 揮発分 年間平均24.7% (DAF) 以上
- d) 水素指数 67~70
- e) 灰融点 1,250℃以上

2) 石炭需給

ジンバブエ国の石炭供給は、全量WANKIE社によって行われている。

① 石炭生産

WANKIE社の石炭は、現在では前述のように露天掘りおよびNo.3坑から生産されている。露天掘りの炭層からは市販用一般炭1に対して、ほぼ発電用燃料炭が2の割合で生産されており、この露天掘りからは、130,000T/Mの市販用石炭と260,000T/Mの発電用燃料炭が生産できるが、現状では需要がないので発電用炭は170,000~200,000T/Mの生産である。さらにNo.3坑からは、コークス用市販炭70,000T/Mを生産している。従って露天掘りおよびNo.3坑からの石炭の合計生産量は370,000~400,000T/Mである。

一方、現在のWANKIE社の石炭総生産能力は500,000T/Mとなっている。

② 石炭需要

(i) 市販用一般炭の需要

Fig. I-5-5は1985年Hwange火力発電所の運転開始前のWANKIE社の石炭生産であり、従って市販用一般炭の需要を示すものと考えられる。市販用一般炭の需要は1970年以降漸減し、1988年現在、粘結炭を合わせて市販用一般炭の需要は月20万トン、年間240万トンまで減少しており、この傾向は今後も続き、本アンモニアプロジェクトが必要とする時期においても本プロジェクト用の石炭を除けば年間240万トンの線を若干下回るのではないかと予想される。

(ii) アンモニア生産用石炭

本アンモニアプロジェクトで採用する計画のガス化炉では、各種の石炭の使用が可能と考えるが、灰分が多い場合、ガス化炉の建設および運転コストが高くなるので、露天掘りからの市販用石炭の乾燥炭級（平均灰分14%）を使用することとし、設備は灰分20%の石炭まで利用できるよう計画している。原料炭の灰分が14%の場合には、アンモニア600T/Dの生産に必要な市販用炭は約22,000T/Mである。従って本アンモニアプロジェクトが実現すると、市販用石炭の需要を満たすためには、露天掘りからの市販用炭を、現在の130,000T/Mから152,000T/Mに増産する必要がある。本アンモニアプロジェクトには次項に述べる石炭分析結果を考慮して、未篩分炭（Run of mine coal）を使用することとした。この原料炭の仕様をTable I-5-2のように定めた。



Source: Statistical Year Book 1987 Zimbabwe

Fig. I-5-5 Coal Production between 1970~1985

③ 発電用燃料炭需要

ZESAの報告によると1986/87年度のHwange発電所の石炭使用量は、130,000 T/Mであった。しかし最近では、170,000 ~ 200,000 T/Mの燃料炭がHwange火力発電所で使用され、将来この発電所の稼働率が80%程度まで上ると約260,000 T/Mの燃料炭が必要となると予想される。

現在露天掘りにより産出される石炭の発電用炭と市販一般炭の比率は、2 : 1としているので、本アンモニアプロジェクト用原料炭22,000 T/Mを増産して152,000 T/Mとすると発電用炭304,000 T/Mが増産されることになり、No. 3坑の70,000 T/Mを加えると現有能力の枠を若干はみ出すが、2 : 1の比率を若干変えて発電用炭の生産を抑えることで現有の500,000 T/Mの生産能力の範囲での生産が可能である。

Table I-5-2 Feedstock Coal for Design

Name	Run of Mine Coal	
Particle size		
50 mm pass	min. 99	wt%
Moisture as received	1.4	wt%
Proximate analysis		
Inherent moisture	1.5	wt%
Ash	13.8	wt%
Volatile matter	24.2	wt%
Fixed carbon	60.5	wt%
Gross heating value	7,090	kcal/kg
(Inherent moisture basis)		
Hardgrove grindability index	57	
Ultimate analysis (Dry basis)		
Ash	14.0	wt%
Carbon	73.0	wt%
Hydrogen	3.8	wt%
Oxygen	5.28	wt%
Nitrogen	1.5	wt%
Inflammable sulphur	2.29	wt%
Total sulphur	2.40	wt%
Non flammable sulphur	0.11	wt%
Chlorine	0.021	wt%
Ash fusion temperature	Reducing	Oxidizing
Initial deformation temperature	1,100 °C	1,320 °C
Softening temperature	1,300°C	1,350°C
Hemispherical temperature	1,320°C	1,360°C
Fluid temperature	1,330°C	1,365°C

(6) 石炭の価格

WANKIE社による石炭の販売価格は政府との協定により統制されている。但し、この協定は石炭のサイズ等の違いによる細かい価格差は規定されていない。現在の、石炭価格は Table I-5-3 に示すとおりである。品種別に区分けした石炭の厳密な意味で個々のコストを示すことはできないが、同表にはWANKIE社が計算した各々のコストを伴わせて示した。このコストには直接費の他に間接費、金利等の諸費用も割り振られて含まれている。

露天掘りの石炭のコストはOverburdenの量によって大きく影響される。現行の40~50万T/Mの生産を維持するためには、露天掘りの区域をOverburdenの大きな区域へ拡大せざるを得ない。従って、正確な予測は困難であるが今後の石炭の生産コストは確実に上昇する。

Table I-5-3 Coal Cost and Price

Unit : Z\$/T

	Cost	*Price
Power station coal for Hwange Power Station	11.84	13.41
Run of mine coal for domestic use	25.6	25
Run of mine coal for export	25.6	28
Washed coal for domestic use	28.41	29
Washed coal for export	28.41	32
Coking coal for domestic use	31.07	33
Coking coal for export	31.76	47
Metallurgic coke	112.9	130

Remark : * Price on rail at Thomson Junction except steam coal for Hwange Power Station.

燃料用石炭 (Steam Coal) と市販用石炭は同じ炭層の上・下から採炭されるので一種の Coproducts である。良質の市販用石炭は炭層底部からしか取れないので、今のところ上層部の Steam Coal の生産が過剰となっている。それ故、市販用石炭を増産するために No. 3 坑で上層部を残置したままの市販用石炭の掘だしが行われている。この状況は資源の無駄を生じさせているだけでなく、石炭の生産コストにも悪影響を与えている。WANKIE 社は 1985 年に最初の価格協定を政府との間で結んで以来、価格の変更をしていないが、この間のコスト上昇によって値上げの必要性が生じており、現在 10% 程度の値上げの交渉を行っている。

5.1.3 Wankie 炭の分析と評価

(I) 目的

このプロジェクトは Wankie 炭を原料とし、これをガス化した合成ガスを原料として、アンモニアおよびメタノールを製造する。また Wankie の粘結炭を原料としコークス炉にてコークスおよびタールを製造しこの際副生するコークス炉ガスを原料としてアンモニアを製造することである。

このためには Wankie 炭の各プロセスに対する適応性を知る事が重要であり、各種 Wankie 炭サンプルを採取し、日本国内にて分析し評価を行った。

1) 石炭ガス化原料としての評価

第 2 編第 2 章で詳述するように、このプロジェクトには Texaco 法 高圧高温ガス化法を採用するので、Texaco 法に関する適応性につき調査した。

① 石炭分析

石炭の成分、石炭灰の融点、発熱量、粉碎の難易につき調査し、ガス化原料としての適性を評価する。

② スラリー化テスト

Texaco 法では石炭を微粉碎し水スラリーとしてガス化炉に送給する。石炭の水スラリーを調製し、その性状を調査した。

③ ガス化性能予測

上記分析結果よりガス化性能を予測し、ガス化条件およびガス化計算資料を得る。

2) コークス炉原料としての評価

ジンバブエ炭を原料とした場合の、コークス炉ガス、コークス、タールの性状を知るために下記の分析を行った。

- ① 石炭の工業分析、元素分析
 - ② 乾留試験 各製品の収量、コークス強度、反応性
 - ③ コークス、タール性状
 - ④ 乾留ガス組成、発生量
- (2) 分析対象サンプル

前項 5. 1. 2 にのべた如く Wankie 炭鉱では性質の異なる各種石炭を産出しているので、この中より 10 種類のサンプルを選び分析、評価を行った。各サンプルは Table I - 5 - 4 に示す通りである。

また、WANKIE 社より入手した 1988 年 3 月～6 月の各種石炭の平均分析値を Table I - 5 - 5 および Table I - 5 - 6 に示す。

Table I-5-4. List of Coal Sample

Sample No.	Remarks
1.	Power Station Coal For Power Station
2.	Run of mine coal High Sulphur Coal
3.	Run of mine coal High Sulphur Coal
4.	Run of mine coal Low Sulphur Coal
5.	Screened coal (Peas)
6.	Washed, Screened coal (Duff)
7.	Washed, Screened coal (Duff)
8.	Washed, Screened coal (Peas)
9.	Coking Coal High Sulphur
10.	Coking Coal Low Sulphur
Blended Coal (For reference)	Blended Coking Coal (Japanese source)

Table I-5-5 Quality of Coal

Run of mine coal

	Rounds			Cobbles			N.P.D.		
	Ash	VM	CV	Ash	VM	CV	Ash	VM	CV
Hi	13.4	27.3	30.04	13.3	26.6	30.09	13.3	26.7	30.09
Lo	12.7	25.0	30.36	12.5	25.3	30.45	12.1	25.7	30.63
Ave.	13.0	26.1	30.22	12.9	25.8	30.27	12.9	26.2	30.27

Run of mine coal

	Cobbles			N.P.D.		
	Ash	VM	CV	Ash	VM	CV
Hi	13.4	29.6	30.04	13.6	30.4	29.95
Lo	12.4	28.4	30.50	12.5	29.3	30.45
Ave.	12.9	29.2	30.27	13.1	29.9	30.18

– Note –

N.P.D.: Nuts/Peas/Duff

Ash: Ash %

VM: Volatile Matter

CV: Calorific Value MJ/kg

Screened coal

	Peas			Nuts		
	Ash	VM	CV	Ash	VM	CV
Hi	14.0	26.1	29.77	13.7	26.4	29.90
Lo	13.1	25.2	30.18	12.8	25.0	30.31
Ave.	13.4	25.5	30.04	13.0	25.9	30.22

Washed and screened coal

	Cobbles			Nuts			Peas			Coking Coal		
	Ash	VM	CV	Ash	VM	CV	Ash	VM	CV	Ash	VM	CV
Hi	10.6	28.7	31.32	10.7	28.9	31.27	10.5	28.7	31.36	9.9	27.0	31.6
Lo	10.3	27.0	31.45	10.2	26.8	31.50	9.9	27.0	31.64	9.5	26.3	31.82
Ave.	10.4	28.1	31.41	10.5	28.0	31.36	10.3	28.0	31.45	9.7	26.6	31.7

Table I-5-6 Sulphur and Phosphate Content

1987/88

	Raw Coal				Z.I.S.C.O. Coking Coal		Wet Peas
	No. 3 Colliery		Opencast		S%	P%	S%
	S%	P%	S%	P%			
Hi	3.86	0.015	2.68	0.022	1.36	0.019	2.73
Lo	2.50	0.011	1.71	0.012	1.25	0.013	1.73
Ave.	3.20	0.013	2.34	0.018	1.31	0.16	2.34

1988/89

	Raw Coal				Z.I.S.C.O. Coking Coal		Wet Peas
	No. 3 Colliery		Opencast		S%	P%	S%
	S%	P%	S%	P%			
Hi	3.70	0.014	2.38	0.025	1.41	0.020	2.82
Lo	3.25	0.011	1.91	0.018	1.29	0.014	2.32
Ave.	3.43	0.013	2.18	0.022	1.35	0.017	2.48

(3) ガス化用石炭の分析と評価

ガス化用石炭サンプルとして次の石炭を評価した。

Power Station Coal	サンプル 1
Run of mine coal (high-sulphur)	サンプル 2、3
" (low-sulphur)	サンプル 4
Screened Coal	サンプル 5
Washed and screened coal	サンプル 6、7、8

1) 石炭の分析値および評価

工業分析、総発熱量、元素分析、灰分融点、灰分組成、HGI、ボタン指数の分析結果を Table I-5-7 に示す。

① 工業分析 (Proximate Analysis)

水分：石炭化度の高い石炭程水分が少く、水分の少ない石炭程一般にスラリー化特性が良い。Wankie炭の場合 1.0～1.4%と比較的少なく、取扱上問題ない。

揮発分、固定炭素：一般に石炭化が進むと揮発分が減少し固定炭素が増加する。固定炭素／揮発分の比を燃料比と呼び、Wankie炭は燃料比 2.0～2.5で標準的な歴青炭に属する。

灰分：灰分の量はガス化反応には直接影響しない。

灰分が高いと一般にスラリー化特性が劣り、スラリー添加剤の選定が重要となる。また、灰処理設備が割高となる。

試料 1 は使用可能ではあるが好ましくない。

② 総発熱量 (GHV)

GHVは原料炭の原単位に大きく影響するがガス化反応に影響しない。このプロセスでは 6,700～7,200Kcal/kg を標準としておりWankie炭は好適である。

試料 1 は使用可能であるが原単位は悪くなる。

③ 元素分析

炭素：試料 1 を除き炭素分 82～87%で歴青炭に属する。

水素：試料 1 を除き水素分 3.7～4.6%で一般的な歴青炭に属する。

Table I-5-7 Analysis of Coal

Number of Coal	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
1. Total Moisture (Received Basis)	1.4	1.1	1.0	1.3	1.1	1.0	1.1	1.0
2. Proximate Analysis								
(1) Inherent Moisture	1.3	1.2	1.3	1.5	1.4	1.2	1.2	1.2
(2) Ash	37.2	11.1	11.9	14.4	13.8	7.5	7.0	9.1
(3) Volatile Matter	17.5	28.0	23.0	24.2	23.8	30.4	30.7	28.7
(4) Fixed Carbon	43.5	59.1	56.8	59.9	61.0	50.9	51.1	60.0
3. Gross Heating Value (Inherent Moisture Basis)	4.700	7.440	7.270	7.020	7.090	7.760	7.820	7.620
4. Hardgrove Grindability Index	78	57	57	64	60	59	60	56
5. Crucible Swelling Number	1/2	1	1 1/2	1/2	1	5 1/2	6 1/2	1 1/2
6. Ultimate Analysis (Dry Basis)								
(1) Ash	37.9	11.2	12.1	14.6	14.0	7.6	7.1	9.2
(2) Carbon	50.7	75.7	75.4	72.9	73.1	79.9	80.3	78.4
(3) Hydrogen	2.7	4.3	4.3	3.7	3.8	4.6	4.6	4.4
(4) Oxygen	6.2	6.6	4.6	5.5	5.4	4.8	5.0	5.2
(5) Nitrogen	1.1	1.6	1.5	1.6	1.5	1.7	1.6	1.5
(6) Inflammable Sulfur	1.40	2.47	2.13	1.71	2.18	1.38	1.37	1.33
(7) Total Sulfur	1.42	2.53	2.25	1.83	2.28	1.44	1.44	1.43
(8) Nonflammable Sulfur	0.02	0.11	0.12	0.12	0.10	0.06	0.07	0.10
(9) Chlorine	0.021	0.021	0.014	0.014	0.021	0.021	0.021	0.014
(10) Fluorine	0.013	0.014	0.015	0.012	0.012	0.015	0.009	0.009
7. Ash Mineral Analysis								
(1) SiO2	55.12	35.25	38.97	40.00	44.08	44.80	43.56	42.78
(2) Al2O3	30.90	21.70	22.48	23.40	21.80	28.76	28.25	27.40
(3) Fe2O3	8.00	19.00	10.10	13.70	12.50	3.30	2.70	4.92
(4) CaO	0.50	10.80	10.17	11.90	6.60	9.50	9.19	10.83
(5) MgO	0.50	0.80	1.36	1.10	0.70	0.70	1.20	1.00
(6) SO3	0.16	2.48	2.50	1.99	1.71	2.12	2.61	2.82
(7) P2O5	0.30	0.35	0.40	0.33	0.30	0.35	0.35	0.30
(8) TiO2	2.10	1.10	1.17	1.43	1.37	1.56	1.66	1.30
(9) Na2O	0.25	1.85	1.50	0.85	1.10	1.85	1.70	1.72
(10) K2O	0.70	0.38	0.40	0.30	0.30	0.50	0.53	0.55
8. Ash Fusion Temperature								
(1) Initial Deformation Temperature	RT (OT)	RT (OT)	RT (OT)	RT (OT)	RT (OT)	RT (OT)	RT (OT)	RT (OT)
(2) Softening Temperature	1.430 (1.550)	1.100 (1.320)	1.260 (1.330)	1.170 (1.310)	1.250 (1.370)	1.380 (1.400)	1.380 (1.400)	1.380 (1.410)
(3) Hemispherical Temperature	1.530 (1.600)	1.300 (1.450)	1.330 (1.340)	1.240 (1.330)	1.380 (1.400)	1.390 (1.410)	1.390 (1.410)	1.420 (1.420)
(4) Fluid Temperature	1.530 (1.605)	1.320 (1.360)	1.350 (1.350)	1.260 (1.340)	1.390 (1.410)	1.420 (1.420)	1.420 (1.420)	1.420 (1.420)
	>1.600 (>1.510)	1.330 (1.365)	1.390 (1.370)	1.310 (1.350)	1.420 (1.420)	1.420 (1.420)	1.420 (1.420)	1.420 (1.420)

RT : Reducing ; (OT) : Oxidizing

窒素：石炭ガス化反応では、窒素分の数十%がアンモニアになり、その一部はシアンになる。発生ガス中のアンモニアは下流工程で炭酸ガスと反応し重炭安、炭安となり閉塞等の原因となる。

窒素分 1.1～1.7%は標準的で特に問題はない。

硫黄：硫黄分はガス化反応で硫化水素となり脱硫設備で除去、回収される。Wankie炭は通常の石炭に比し硫黄分が多いが除去、回収の設備が大きくなるが特に問題はない。

塩素：ガス化反応後一部はスラッグと共に固体状で系外に排出され、プロセス循環水中に溶解し装置腐食の原因となる。塩素分は 140～210ppm と通常の石炭に比しやや多い。

高塩素分を考慮して設計の要あり。

④ 灰分融点

Texaco法ガス化反応は灰分融点より数十度高温で運転する。従ってF.T.が低い程ガス温度が低くなり、原料炭および酸素原単位が低くなる。また、炉間の耐火レンガの寿命も長くなる。反応炉内温度を均一に保つためには I.T./F.T.の差が少ないことが望ましい。

Wankie炭のF.T.は比較的高く特にサンプル1は 1,600℃以上で融点降下剤 CaCO₃の添加が必要である。

還元雰囲気下で CaCO₃を添加した場合の融点は次の通りである。

CaCO ₃ 添加%	サンプル1		サンプル6	
	10%	20%	10%	20%
I.T. (°C)	1,300	1,350	1,400	1,290
S.T. (°C)	1,350	1,360	1,410	1,310
H.T. (°C)	1,400	1,370	1,420	1,370
F.T. (°C)	1,500	1,400	1,440	1,380

Note : I.T. : Initial Deformation Temperature
 S.T. : Softening Temperature
 H.T. : Hemispherical Temperature
 F.T. : Fluid Temperature

⑤ 灰分組成

灰分の組成は灰分の融点と関連がある。

SiO₂、Al₂O₃ の様な酸性成分の多いものは融点が高く、Fe₂O₃、CaO、MgO、Na₂O、K₂Oなど塩基成分の多いものは融点が高い。両者の比を酸性率と呼び次式で示す。

$$\text{酸性率} = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$$

酸性率 1 では融点が低く、5 以上では 1,350°C 以上となる。

Al₂O₃、Na₂O が多いとレンガの寿命が短くなる。

Wankie 炭は酸性率が大きで融点降下剤を使用した方がよい。

⑥ H. G. I

Hardgrove Grindability Index は石炭の粉碎性を示すもので、数字の大きい程粉碎性がよい。Wankie 炭は 56~78 で一般に粉碎容易である。

⑦ ボタン指数

Crucible Swelling Number は石炭の粘結性を示す。数値が大きい程粘結性が強い。Texaco 炉の場合石炭は瞬時にガス化されるので粘結性は重要でない。サンプル 6、7 は指数大で粘結性を示している。

その他のものは 1.5~0.5 で非粘結炭である。

2) 石炭のスラリー化特性

Texaco 法ガス化炉では原料炭を微粉碎し、石炭-水スラリー状でガス化炉に供給する。スラリーの物性としては粒度分布、濃度、粘度、流動性、安定性が重要である。粒度分布については Texaco 法スラリー標準粒度分布とした。テストは次のサンプルについて実施した。

サンプル 1 Power Station Coal

サンプル 2 Unscreened Coal

サンプル 4 Unscreened Coal

サンプル 5 Screened Coal

サンプル 6 Washed Screened Coal

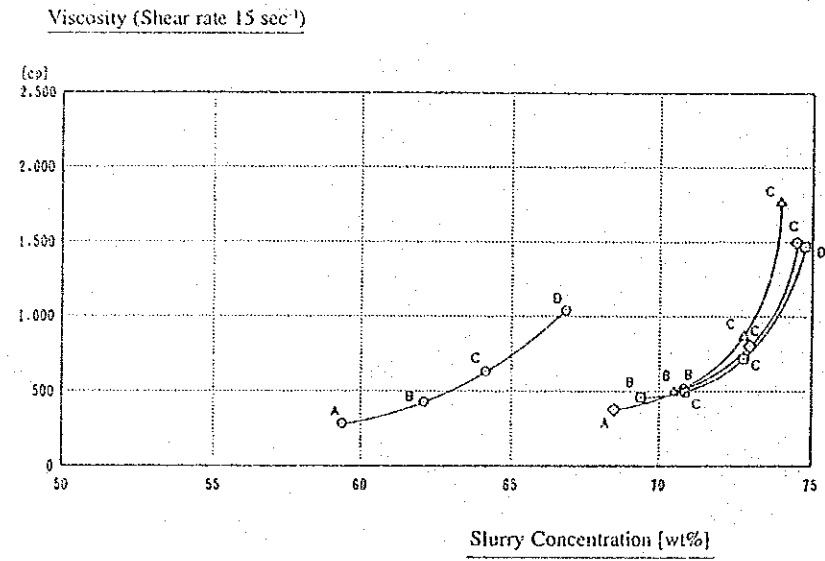
① テスト結果

(i) 粘度とスラリー濃度の関係を Fig. I-5-6

(ii) 界面活性剤コストとスラリー濃度の関係を Fig. I-5-7 に示す。界面活性剤の添加により石炭スラリーの性質は改善される。

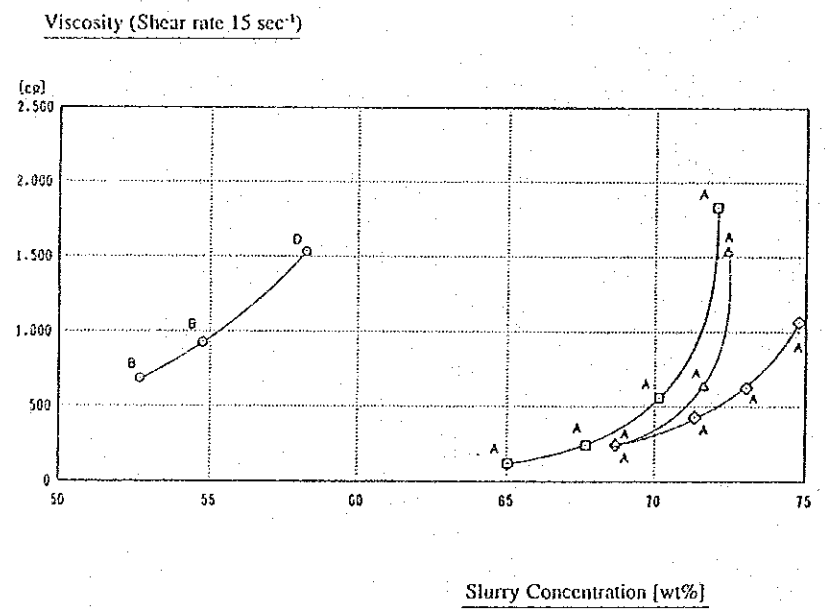
(iii) スラリー流動性について Fig. I-5-6 (粘度とスラリー濃度) に示す。

流動性は A > B > C > D の順に良好となり、A、B は実用可、C、D はスラ



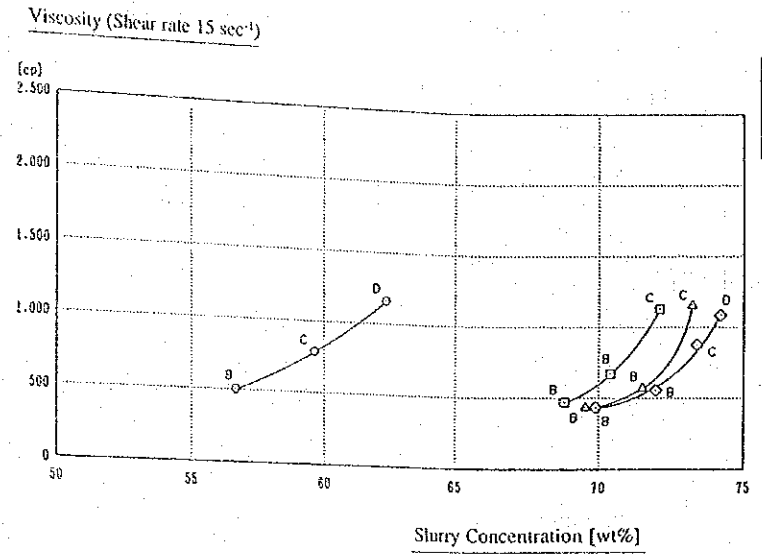
Sample No. 1

Notation	Surfactant
○	No-Additives
□	Additive (600W/T.S.)
△	Additive+NaOH (420W/T.S.)
◇	Additive+NaOH (640W/T.S.)



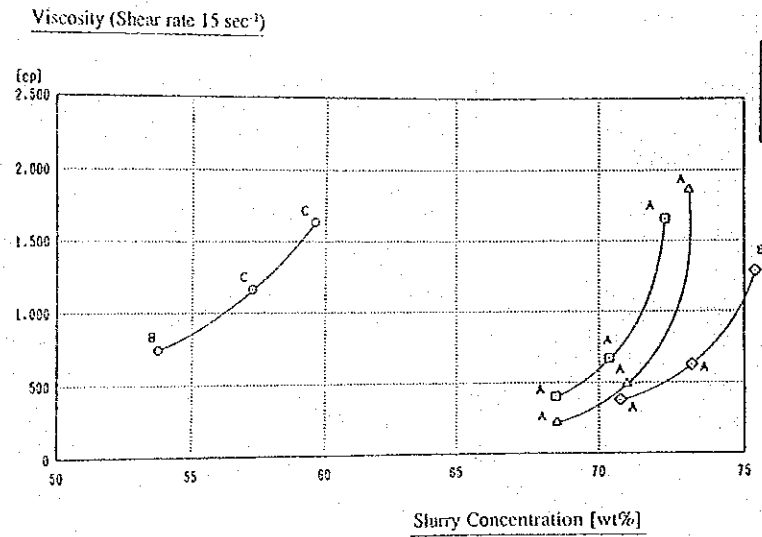
Sample No. 2

Notation	Surfactant
○	No-Additives
□	Additive (580W/T.S.)
△	Additive+NaOH (410W/T.S.)
◇	Additive+NaOH (630W/T.S.)



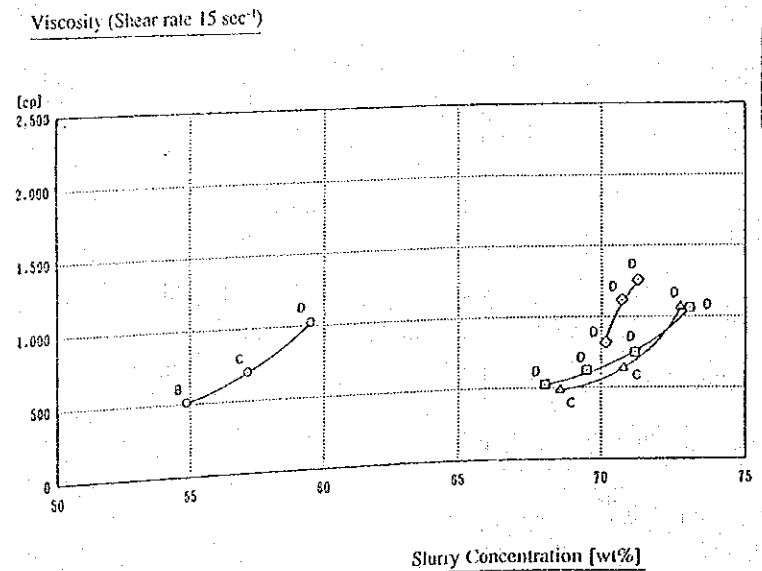
Sample No. 4

Notation	Surfactant
○	No-Additives
□	Additive (620W/T.S.)
△	Additive+NaOH (410W/T.S.)
◇	Additive+NaOH (670W/T.S.)



Sample No. 5

Notation	Surfactant
○	No-Additives
□	Additive (610W/T.S.)
△	Additive+NaOH (410W/T.S.)
◇	Additive+NaOH (660W/T.S.)



Sample No. 6

Notation	Surfactant
○	No-Additives
□	Additive (420W/T.S.)
△	Additive+NaOH (610W/T.S.)
◇	Additive+NaOH (690W/T.S.)

Fig. I-5-6 Relationship between Slurry's Viscosity and Concentration of Coal

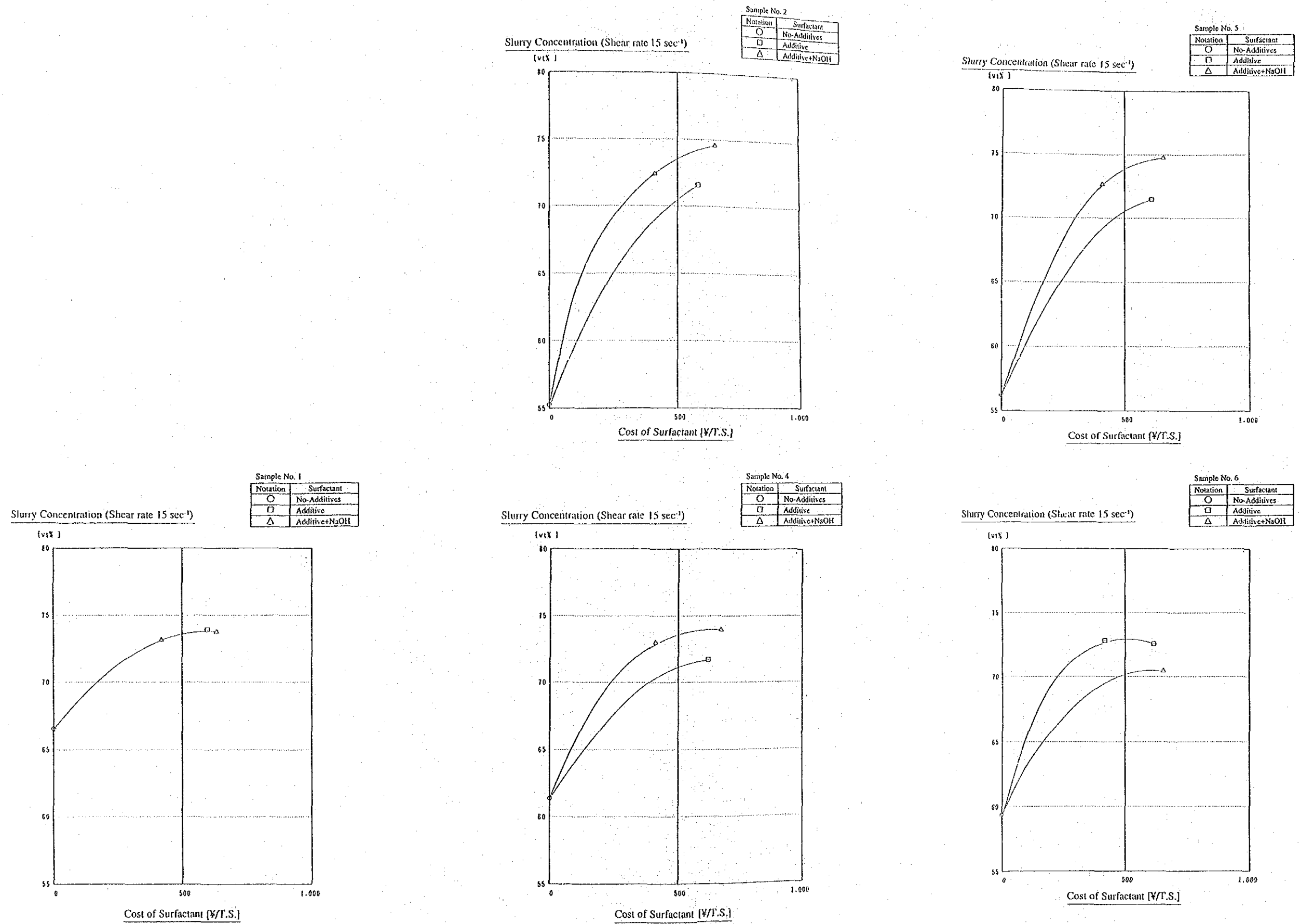


Fig. I-5-7 Relationship between Concentration of Slurry and Cost of Surfactant

リーに問題発生が予想された。

(iv) 安定性の結果を Table I-5-8 に示す。スラリーを一日および3日放置して浮水の状況を観察した。

Table I-5-8 Slurry Stability

Sample	Surfactant	Quantity of Additive (¥/T-Slurry)	1 Day After	3 Days After
No. 1	Non-Additive	—	△	×
	Additive	600	×	×
	Additive + NaOH	420	○	△
	Additive + NaOH	640	○	△
No. 2	Non-Additive	—	○	○
	Additive	580	○	○
	Additive + NaOH	410	○	△
	Additive + NaOH	650	△	×
No. 4	Non-Additive	—	○	○
	Additive	620	○	△
	Additive + NaOH	410	△	×
	Additive + NaOH	670	△	×
No. 5	Non-Additive	—	○	○
	Additive	610	○	○
	Additive + NaOH	410	△	×
	Additive + NaOH	660	○	○
No. 6	Non-Additive	—	○	△
	Additive	420	×	×
	Additive	610	×	×
	Additive + NaOH	690	×	×

Note: ○ : No segregation
 △ : Some segregation
 × : Considerable segregation

② テスト結果の評価

(i) ほとんどのWankie炭は界面活性剤+NaOHの場合に最も高濃度スラリーが得られるが、安定性、流動性とも比較的悪い。

(ii) 一般にスラリー粘度1,000cp (ずり速度 15sec⁻¹)を基準に、スラリー濃度の検討を行うが、スラリーの流動性はサンプル1、4、6が悪い。最適な流動性およびスラリー濃度を考慮する必要がある。

(iii) 添加剤のコストは 400円/T-slurryを限度とみなす。

添加剤コストを 400円/T-slurryとした場合、各サンプルのスラリー濃度は次の如くなる。

サンプルNo.	スラリー濃度
1	73% (添加剤+NaOH)
2	72% (" + ")
4	73% (" + ")
5	72.5% (" + ")
6	72.5% (添加剤)

(iv) 上記のようにスラリー濃度として72~73%と比較的高濃度が得られるが、ジンバブエ国で実施する場合には薬品代の低減を計るために、添加量を減した条件を更に検討すべきであろう。

3) 石炭ガス化用原料石炭

前項にて詳述した石炭の分析値および評価ならびに石炭のスラリー化特性の評価と、Wankie炭の販売価格を考慮して、ガス化原料としてサンプルNo.1を採用する事とした。No.2 サンプルはWankie炭製品区分にて、一般炭未篩分に属するので、No.2の分析値を参考とし、設計用石炭仕様を次の様に定めた。

設計石炭仕様

1. Ultimate Analysis (Dry basis)

(1) Carbon	: 73.0	wt%
(2) Hydrogen	: 3.8	wt%
(3) Oxygen	: 5.1	wt%
(4) Nitrogen	: 1.4	wt%
(5) Sulfur	: 2.7	wt%
(6) Ash	: 14.0	wt%

2. Proximate Analysis

- (1) Inherent Moisture : 1.5 wt%
- (2) Ash : 13.8 wt%
- (3) Volatile Matter : 24.2 wt%
- (4) Fixed Carbon : 60.5 wt%

- 3. Gross Heating Value : 7,090 kcal/kg
(Inherent Moisture Basis)

上記石炭仕様に基づき、ガス反応の条件を Table I - 5 - 9 の如く定めた。

Table I-5-9 The Results of Gasification Study

Item		Unit	Case-1
Oxygen purity		Mol%	98.0
Feed stock	Coal (Dry basis)	kg	1,000
	Oxygen (as 100%)	Nm ³	621.5
Gasification Conditions	Pressure	kg/cm ² G	65
	Temperature	°C	1,380
Estimated gas composition	H ₂	Mol%	33.97
	CO	Mol%	49.74
	CO ₂	Mol%	14.22
	H ₂ S	Mol%	0.77
	COS	Mol%	0.05
	N ₂	Mol%	0.64
	Ar	Mol%	0.55
	CH ₄	Mol%	0.06
Product gas rate (Dry gas basis)		Nm ³	2,062.5
(H ₂ +CO) gas rate		Nm ³	1,726.6
C-Conversion rate		%	97
Cold gas efficiency		%	72.8
Unit consumption 1,000 Nm ³ H ₂ +CO	Coal (Dry basis)	kg	579.2
	Oxygen (as 100%)	Nm ³	360.0

以上の検討は、Wankie炭のガス化原料として使用の可能性を検討し、概念設計を行うため石炭仕様を定めたものである。

プロジェクト実施に当っては更に原料炭につき詳細検討を行い設計条件を確定する必要がある。

(4) ジンバブエ炭のコークス炉用原料として分析と評価。

コークス炉用石炭サンプルとして次の石炭を評価した。

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| No.1 Power Station Coal | } 粘結炭との比較のため加えた |
| No.2 Run of Mine Coal | |
| No.9 Coking Coal | |
| No.10 Coking Coal | |

配合炭 コークス会社（日本）で通常配合使用されているコークス炉原料用配合炭

1) コークス用炭の分析結果

コークス用炭の評価を行うために次のテストを行なった。

- ① 揮発分、元素分析
- ② 乾留試験
- ③ コークスの反応性
- ④ コークス、タールの分析
- ⑤ 乾留ガス組成と発生量

分析結果は Table 1 - 5 - 10の通りである。

Table I-5-10 Coal Analysis (coking coal)

(1) Proximate & Ultimate Analysis (%)

Sample	Volatile matter	Ash	C	H	N	S
1	17.5	37.9	50.7	2.7	1.1	1.42
2	28.6	11.2	75.7	4.3	1.6	2.58
9	30.78	8.34	78.78	4.55	1.48	1.81
10	26.52	9.64	77.24	4.22	1.44	1.09

(2) Coking Coal Test

Sample	Yield %				Coke ash %	DI 15 ^{30*}
	Coke	Crude tar	Gas	NH ₃ aq.		
1	84.4	2.9	5.4	4.9	50.56	
2	74.7	9.3	10.9	2.7	17.96	
9	72.1	7.7	10.5	3.6	12.57	82.4
10	74.7	8.8	11.9	3.1	13.70	80.7
Blend coal	77.3	6.9	10.5	2.6	11.41	93.2

*Note Cokes strength

Reactivity

Sample	1	2	9	10	Blend coal
Reactivity	55	61	56	60	49

(3) Character of Coke & Tar

Analysis of Coke (%)

(% dry base)

Sample	Volatile matter	Ash	C	H	N	S
9	1.2	12.57	84.76	0.19	1.03	1.42
10	0.89	13.70	83.70	0.19	1.13	0.96
Blend coal	0.4	11.41	85.72	0.16	10.3	0.44

Analysis of Tar (%)

Sample	C	H	N	S
9	90.18	5.26	1.40	1.70
10	90.68	5.03	1.47	1.19
Blend coal	89.96	5.19	1.15	0.75

Sample	Solvent extraction %		Tar distillation %		
	B1	Q1	Low fraction	High fraction	Residue
9	19.91	14.64	17.8	26.3	53.2
10	17.49	12.39	11.0	28.8	56.6
Blend coal	21.32	12.03	19.3	15.8	54.1

B1 : Benzene insoluble

Q1 : Quinolin insoluble

Low fraction : Bpt ~ 182°C

High fraction : Bpt 182 ~ 295°C

Residue : Bpt 295°C ~

Composition of Coke Gas

Sample	(%)					(l/kg)
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	Gas volume
1	53.27	5.92	3.35	17.2	0.92	122.7
2	49.39	6.13	0.93	25.3	2.14	252.7
9	61.01	6.85	0.89	20.68	1.58	276.4
10	53.63	6.13	1.71	27.40	1.42	276.2
Blend coal	52.70	4.97	0.85	27.69	1.862	254.9

2) 分析結果の評価

① 元素分析

Wankieの粘結炭は灰分、硫黄分がコークス用炭として若干高目である。一般用コークスとしては使用可能である。

② 乾留試験

乾留歩止りについて見ると、No.1はコークス収量が多く、タールおよびガス収量が低い。これはNo.1は発電用炭で灰分が多いためである。Wankie粘結炭（No.9、10）を配合炭と比較するとタール、軽油、安水の収量が大で、コークス収量が低目である。

③ コークスの性状

(i) 強度 (DI 15³⁰)

Wankie炭コークスの強度は配合炭に比して劣り、準粘結炭程度の強度を示している。しかしながら強粘結炭の配合や成形コークス化により高い強度を得る事は可能である。Wankie炭単味にてコークスを製造する場合、この程度の強度では大型コークス炉（6～7 m炉、30T/ch）ではコークスを押出す時にコークスが崩れ問題を起し易い。中型炉（4 m、20T/ch）での乾留が望ましい。

(ii) コークスの成分

揮発分が配合炭に比して多いが、これはコークスの製造条件の調整で制御可能である。硫黄分が多いのでこれはコークスの販売価格に影響する。

(iii) コークスの反応性

コークスの反応性は高いので燃焼用の目的には良好である。

④ 乾留副産物の性状

(i) 副産物の収量

Wankie粘結炭はタールおよび軽油の収率が高い。したがってタールおよび軽油系の用途があれば有利である。しかしながらタール、軽油の蒸留設備の最低経済単位は年間20万トンと言われており、本プロジェクトでのタール発生量は約4万トンであるので、その実施は経済的に問題がある。

(ii) タールの性状

タールの性状は配合炭とほぼ同様であるが、硫黄分が多いために品質は劣

る。蒸留成分で高沸点分が多く、低沸点分が少ないのはフェノール類が多く炭化水素（ベンゼン類）が少ないためと思われる。

(iii) ガス組成

配合炭に比較すると炭化水素ガスが少く水素ガス分が多い。アンモニア合成原料ガスとしては好ましい。

3) 総括

- ① Wankie粘結炭はコークス炉原料炭として使用可能で、コークスの強度は製造技術により調整可能である。
- ② Wankie炭よりのコークス、タール、ガスは硫黄分が多く品質は余り良くない。しかしそれに対応する脱硫設備の設置により使用は可能である。

5.2 副原料

5.2.1 ガス洗浄液

ガス化炉中で発生するガス中には石炭中に含まれる硫黄分に起因する各種硫化物 (H_2S 、 COS 等) が含まれている。硫化物はアンモニアの合成に使用される触媒の活性を低下させるのみならず、反応塔、熱交換器、圧縮機等の腐食の原因となる。触媒の活性を維持し機器の腐食を防止するためには、ガス中の硫化物の濃度を 5 ppm 程度以下に抑える必要がある。脱硫には種々の吸収液を用いるプロセスが実用化されているが、本計画ではメタノールを洗浄液とする方法 (Rectisol Process) を採用する。メタノールは約 290T/Y 年を補給する必要がある。メタノールはジンバブエ国で生産されていないので、輸入品を充当する必要がある。

5.2.2 冷却水処理剤

本計画では後述するように、Zambezi 河の河川水を冷却水の原水として用いる。この水は比較的水質が良く、濾過以外にほとんど処理する必要がない。但し、冷却水中にインヒビターを加えて、機器内部表面の金属保護膜の生成を助長する必要がある。また、冷却水中の微生物発生防止、pH 調整および懸濁物の凝集沈降にも各種薬剤が必要となる。Table I-5-11 に本計画で必要となる冷却水処理剤を示す。

Table I-5-11 Chemicals for Treatment of Cooling Water

Application	Chemical
Inhibitor	Phosphate
Prevention of microbial growth	Sodium thiosulphate (Hypo)
pH adjustment	Slaked lime
	Caustic soda
	Calcium carbonate
	Hydrochloric acid
	Sulphuric acid
Sedimentation of suspended matter	Aluminum sulphate

冷却水の処理には上記以外にも各種の薬剤が適用可能であるが、本調査では入手の容易さを考慮して一般に広く用いられている物を選定した。尚、Table I-5-11に示した薬剤の内、ジンバブエ国で製造されているのは消石灰のみであるが、いずれも年間使用量は25kg以下である。

5.2.3 ボイラ水の処理剤

ボイラへ補給する純水を得るためには、イオン交換樹脂と、再生用に濃塩酸または硫酸および苛性ソーダが必要である。本計画の運転開始時に必要となる強酸性樹脂および強塩基性樹脂の量は各々約 200および 360リットルであり、運転開始後は年間5%程度の補充が必要である。また、復水器で凝縮し循環する水はポリッシャーを通す。ポリッシャーにもイオン交換樹脂を使用する。尚、ジンバブエ国の場合はイオン交換樹脂の確保が比較的困難であるので、所要量の100%を予備として輸入しておくことが望ましい。樹脂の再生に濃塩酸および苛性ソーダが必要である。

上記以外にもボイラで発生する蒸気の純度を保ち、ボイラ自体の腐食を防ぐためには、ボイラ水中の酸素を取り除く脱酸素剤、pHの調整を行うpH調整剤が必要である。これらの薬剤はジンバブエ国では製造されていないが、各種ボイラ用として一般に流通しており入手は容易である。

Table I-5-12にボイラ水の処理剤を示す。

Table I-5-12 Chemicals for Treatment of Boiler Water

Application	Chemical
Pure water supply	Strong acid ion exchange resin Strong base ion exchange resin
Regeneration of ion exchange resin	Hydrochloric acid Caustic soda
Deoxygenation	Hydrazine
pH adjustment	Ammonia sodium phosphates

5.3 電力

5.3.1 ジンバブエ国の電力事情

(1) 電力供給網

電力の供給は1984/1985年度まで、ZESA（電力公社）の他に、各都市（Harare、Bulawayo、Gweru、Mutare）が独自の配電網を通して行っていた。さらに、Kariba発電所とそれに連る幹線送電線はCAPCO（セントラル アフリカ電力会社）に属していたが、1986年1月24日に発効した電気法（Electric Act 1985）によって、すべての電力供給事業がZESAに統合された。

ZESAの幹線電力網は、Fig. I - 5 - 8 に示すごとく、Kariba水力発電所（666MW）、Hwange火力発電所（920MW）とHarare、BulawayoおよびMidlandの工業地帯の中心にあるSherwood開閉所を結ぶ330KVの送電線によって形成されており、安定した供給が確保されている。

この幹線電力網から外れている区域には、以下にのべるような地域がある。

Beitbridge 地区は孤立しており、この地区はESCOM（南アフリカ電力庁）からの供給を受けている。近くこの地区に安定供給のためのディーゼル発電所が建設される予定である。また、南部にあって330KV電力線の端に近いTriangleには製糖工場から出るバガスを燃料とする発電所があり、ZESAへ余剰電力を売電している。この他、Victoria Fall市とその周辺ではZESCO（ザンビア電力公社）のVictoria Fall水力発電所から電力を受けている。

本プロジェクトの工場建設候補地と電力供給網の関係を以下にまとめる。

Hwange地区は、Hwange火力発電所、Kwekwe地区はSherwood開閉所に近いため、それぞれ発電所および330KV幹線から電力の供給を受けることのできる区域に入っている。

(2) 発電設備

Hwange - I およびHwange - II の火力発電所を除けば、他の発電所はすべて20年以上前に完成した発電所である。Kariba South発電所は、建設後28年を経ているが、高い稼働率を示しており、ジンバブエの電力供給の大きな割合を占めている。Hwangeを除く他の火力発電所は老朽化していることと相俟って、平均利用可能出力が定格出力をかなり下回っている。Table I - 5 - 13にジンバブエ国の主要発電所をまとめる。

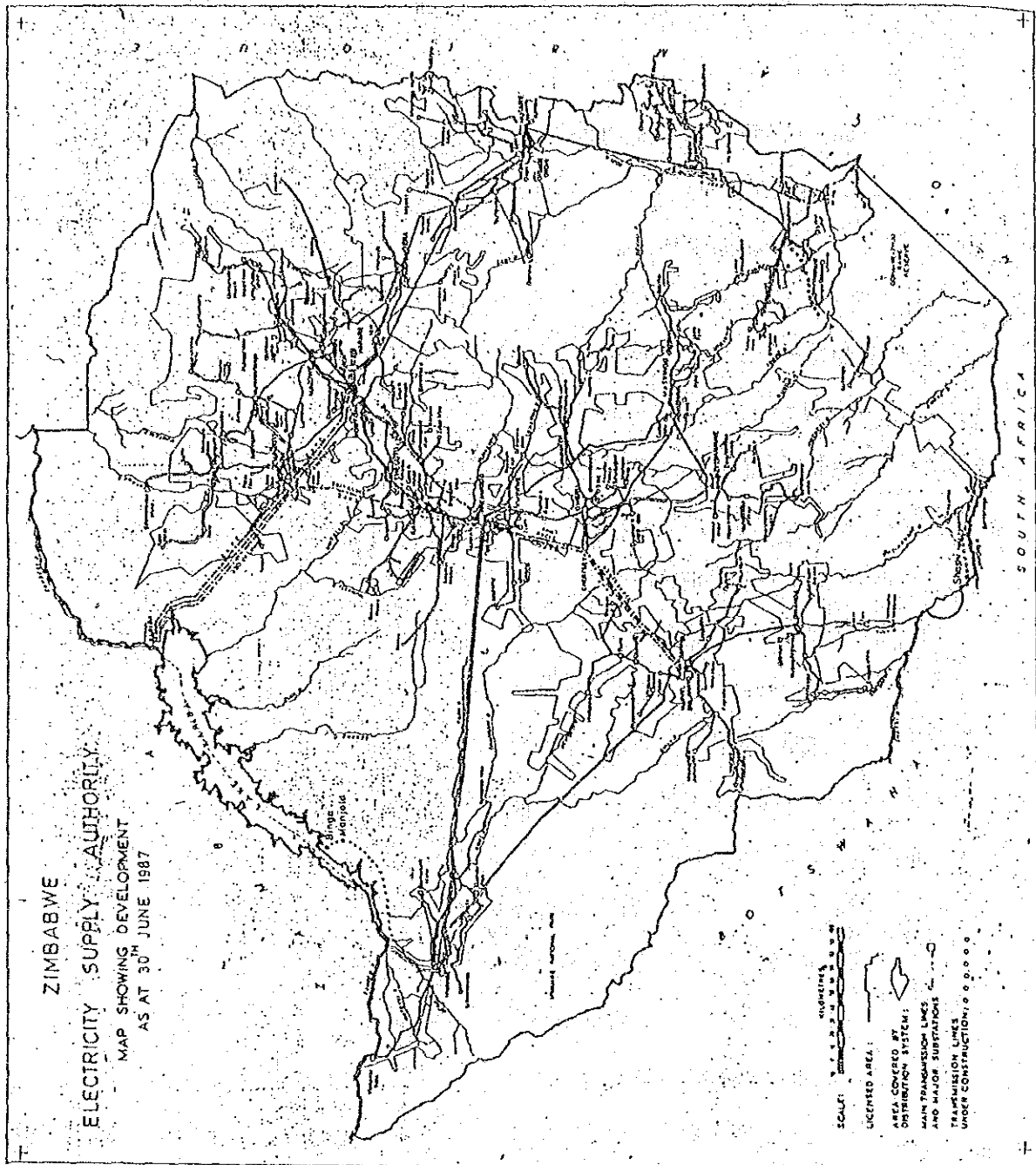


Fig. I-5-8 ZESA Network of Electricity

Table I-5-13 Power Station in Zimbabwe

Power Station	Type	Unit x Output MW	Total output MW	Start of operation
Kariba South	Hydro	6 x 111	666	1960
Hwange-I	Coal	4 x 120	480	1986
Hwange-II	Coal	2 x 220	440	1988
Munyati	Coal	2 x 60	120	Before 1966
Harare	Coal	2 x 10 2 x 20	60	ditto
Bulawayo	Coal	2 x 15 3 x 30	120	ditto
Total			1,886	

1) Kariba South発電所

Karibaダムに建てられた発電所で、南岸と北岸に2つの発電所がある。南岸にある発電所は、ZESAによって運営されている、ジンバブエ国の主力水力発電所である。北岸の発電所はザンビアに所属しており発電設備の要目は次の通りである。

発電機の数	6基
単機容量	111MW
発電電圧	18KV
回転数	167 r. p. m
流量	130 m ³ /s
水頭	93m

この発電所の発電量は1986/87年度で3,002,725,700kWhである。666MWで365日稼働した時の発電量との比で稼働率を示すと50.8%であり、この発電所が昼夜間等の負荷変動調整を行っていることが推定される。

2) Hwange発電所

第1期と第2期の2つに分けて建設が行われ第1期建設工事は1983年6月、

第2期工事は1986年12月に完了している。設備の主要目は次の通りである。第

第1期分

発電機の数	4基
単機容量	120MW
発電電圧	10.5KV
蒸気条件	8.9MPa 510℃

第2期分

発電機の数	2基
単機容量	220MW
発電電圧	17KV
蒸気条件	15.8MPa 538℃ 再熱

1986/87年度の総発電量は3,441,809,000kWhと発表されているが、総発電容量920MWをもとに365日稼働した時の発電量との比で稼働率を求めると42.7%であり、1986/87にはまだ全面稼働に達していない。

一般に火力発電所は増・減力および発・停に時間がかかるのでピークロード用には適していないので、ZESAは火力発電所であるHwange発電所をベースロード用として利用することを考えている。

3) その他の火力発電所

Kariba、Hwangeの2つの主力発電所の他にもMunyati、Harare、Bulawayoに古い火力発電所がある。しかし、これらの内Harareの発電所を除いては稼働率が低い。

Hwange火力発電所と比較して、これ等発電所の効率は低い。これは蒸気条件が低く、設備が老朽化しているためである。これ等の発電所は、送電線の故障時の緊急用としての役割が大きく期待されており整備することが計画されている。

(3) 電力需給状況

1) 電力供給実績

ジンバブエ国内の電力は、現在ZESAが独占して供給している。Table I-5-14に示す様に、電力の供給は1980-1985年の間では大きな伸びはないが、1986年以降には市営電力の編入があり、1986/87年度の電気販売量で

8,180,489,000kWhに達した。また、Table I-5-15には、セクター別の電力供給量をまとめた。この表に述べられているごとく、1985/86年度と1986/87年度との比較では農業への供給の伸びが27.5%を示す様に特に大きいのが、これは灌漑用電力に優遇策をとった結果である。

Table I-5-16は供給側からみたZESAの電力バランスを示す。近年Hwange火力発電所によって自給力を増し、ほぼその分ザンビアからの輸入を減しているが1986/87年度においてもまだかなりの輸入量がある。

Table I-5-14 Electric Supply

Unit: GWh

Year	1979/80	1980/81	1981/82	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87
ESC	4,979	5,132	5,400	5,127	5,078	5,306	—	—
Growth		3.1	5.2	-5.1	-1.0	4.5	—	—
HMED	1,248	1,323	1,390	1,433	1,367	1,360	—	—
Growth		6.0	5.1	3.1	-4.6	-0.5	—	—
BULAWAYO	653	692	751	776	778	775	—	—
Growth		6.0	8.5	3.3	0.3	-0.4	—	—
TOTAL	6,880	7,147	7,541	7,336	7,223	7,441	7,883	8,180
Growth		3.9	5.5	-2.7	-1.5	3.0	5.9	3.8

Table I-5-15 ZESA Sales of Electricity

Class of consumer	Energy sales (million kWh)			Revenue 1985/86		Revenue 1986/87	
	1985/86	1986/87	% Increase/Decrease	\$000s	Average Price cents/kWh	\$000s	Average Price cents/kWh
Mining	1,362.542	1,395.274	+2.40	66,570	4.886	69,342	4.970
Industrial	2,962.147	2,976.150	+0.54	102,300	3.456	105,900	3.558
Farming	500.942	638.824	+27.52	34,283	6.844	43,470	6.805
Municipal (1)	2,633.466	2,726.547	+3.53	104,739	3.977	121,257	4.447
Commercial and Lighting	217.657	228.283	+4.88	16,943	7.784	18,415	8.067
Domestic	208.376	215.411	+3.38	15,694	7.532	17,406	8.080
Totals	7,883.130	8,180.489	+3.77	340,529	4.320	375,790	4.594

Note 1: Sales to Harare, Bulawayo, Mutare and Gweru Municipal Electricity Undertakings.

All categories recorded growth but as mentioned earlier the minimal growth in the Industrial Sector had an adverse effect on overall growth.

Table I-5-16 ZESA Energy Balance

1985/86 Energy in kWh	Source	1986/87 Energy in kWh	
3,146,077,790 3,291,318,000	Import ex Zambia (1) Kariba entitlement	2,214,964,600 3,022,725,700	
6,437,395,790 1,863,618,000 211,367,210	Sub total Hwange power station sent out Old thermals sent out	5,237,690,300 3,441,809,000 201,777,790	
8,512,381,000 322,349,576	Interconnected System Sent Out Transmission losses (6)	8,881,277,090 354,275,065	(3)
8,190,031,424 577,191 631,410 13,966,306	Bulk supply sent out Triangle Ltd (2) ZESCO Chirundu and Victoria Falls (2) ESCOM (Beitbridge) (2)	8,527,002,025 479,621 439,780 16,937,335	(4)
8,205,206,331 322,076,823	Distribution losses (7)	8,544,858,761 364,369,873	
7,883,129,508	Total sales	8,180,488,888	

- NOTE: 1) Excess of Kariba entitlement
 2) Imports at distribution voltage
 3) Maximum demand on interconnected system 1,342.0 MW
 4) Maximum demand at bulk supply points 1,294.5 MW
 5) Load factors @ 3) 75.55%
 @ 4) 75.22%
 6) Transmission losses 3.99%
 7) Distribution losses 4.26%

2) 電力需要予測

各機関が行った電力の需要予測をTable I-5-17にまとめる。同表から判断すると1994年の電力需要は、1986/87年の8,180GWh/Yから約10,000GWh/Yに達すると予測され発電不足電力を補うためには1,564 MWの能力を必要とすると予測される。これは、既存のKariba South、Hwange-IとIIの能力合計1,586 MWに値する。

Table I-5-17 Energy Forecast

ZESA Energy Forecast

Unit: GWh

	1984/85	1989/90	1994/95
Gold mining	283.8	367.0	437.0
Base metal mining	960.8	1,129.1	1,345.0
Industrial	3,543.6	4,314.5	5,143.0
Agriculture	468.1	519.0	618.0
Commercial	571.9	680.0	807.0
Domestic metered	911.2	1,046.0	1,211.3
Domestic unmetered	296.2	343.0	406.0
Total	7,035.6	8,398.6	9,977.4

CAPC Energy Forecast

Unit: GWh

	1984/85	1989/90	1993/94
ESC	5,306	—	—
HMED	1,360	—	—
Bulawayo	775	—	—
Total	7,441	8,654	10,277
Maximum demand (MW)	1,141	1,317	1,564

CAPC Forecast for Zimbabwe as at 1st December 1984

	1984/85	1989/90	1993/94
Energy (GWh)	7,739	9,315	10,688
Maximum demand (MW)	1,187	1,418	1,627

3) 将来計画

将来の需要増加に備えZESAでは次の供給計画を立案している。

Harare、Munyatı、Bulawayoの火力発電所は老朽化しており、稼働率がかなり低下している。しかし、これらの発電所は主要都市および工業地帯に存在しており、幹線送電線のバックアップ用として重要である。従って、ZESAはその補修工事を計画しており、全体で270MW分の発電容量をこれらの発電所で確保し電力供給網の信頼性を更に向上したいとしている。

更に、将来の電力需要の増大にそなえてKariba Southの改造とその増設およびHwange発電所の第3期に相当する拡張を考えている。

これ等計画をTable I-5-18にまとめて示す。

Table I-5-18 Development Plan of Electric Power

Project	Type	Unit x Output (MW)	Planned Completion	Remarks
Kariba south modernization	Hydro	6 x 111 ↓ 6 x 125	1991	Under construction
Kariba south expansion	Hydro	2 x 180	1992	Completion of design
Hwange-III	Coal	2 x 220	1990	Study

5.3.2 Kwekwe地区の電力事情

先にFig. I-5-18に示した様に、Kwekwe地区の電力はKariba発電所とHwange発電所の双方から330KV送電線によって長距離送電され、これをSherwoodの開閉所で受電し分岐してKwekwe地区に配電している。

Sable Chemical社のあるMunyatıには古い発電所があるが、発電はほとんど行われていない。しかし、発電所に付属する開閉所は分岐点として使われており、Sable Chemical社への分岐はここからとられている。

Kwekwe地区は、製鉄、フェロ合金の精練所、肥料工場等が集中しており、すでにSherwoodの開閉所はその容量が限界に達しており、新規需要に対応するためにKadomaに新しく2×125KVAの開閉所をつくる計画が進められている。また、既設の送電線はすでに送電量が限界に達しており、ZESAによるとこの地区では10,000

kW級の電力需要の増大に対応することさえ不可能であるとされている。

しかしながら、本プロジェクトをKwekwe地区にて実施する場合には現行の電気分解による水素生産を中止することになる。電気分解を止めることになりこの地区で新たに 110,000kWの電力の余剰が生じるので、新規プロジェクトへの電力供給に問題はなく、且つ約83,000kWの余剰が生ずることになる。

この地区はKaribaおよびHwangeのどちらの主要発電所からも 350kmはなれているが、330KV 送電線による電力網で両発電所に結合されており、電力供給の信頼性は高く、SABLE社も自家発電をもっていない。

このプロジェクトによる新規工場をKwekweに新設する場合、110,000kWの電力余剰を生じ電力供給の信頼性は今まで通り保たれると予想されるので、新規工場に自家発電は必要としない。

5.3.3 Hwange地区の電力事情

Hwange地区はHwange火力発電所のできる以前はWANKIE社の自家用発電設備に大きく依存していた。しかし、1983年Hwange火力発電所が建設された後は自家用発電設備を停止し、全面的にZESAからの供給電力に依存している。

Hwange発電所の設備は先にも述べたように複数の発電機で構成されており、ボイラーその他も複数基あって供給信頼性は十分である。冷却水取水はDekaポンプステーションより行われているが、この取水管が1本しかなく、これが弱点であったが、発電所サイトにある既存の貯水池の他に更に 150,000 m³の貯水池を新設して、4日分の所要水量を貯水できる様にしており、供給信頼性を高めている。

同地区には発電所の他にはWankie炭鉱の設備があるだけであり、電力供給の信頼性を損う要素は全くない。

Hwange地区に工場を建設する場合、電力供給は安定しているので自家発電の必要はない。

5.3.4 電力価格

Table 1-5-19に1985/86年度および1986/87年度の各セクター別の電力料金の平均値を示す。表から判断すると、ジンバブエ国の電力料金は、国際的水準と比較して極めて安い。

Table I-5-19 Price of Electricity

Unit: Z\$/kWh

	1985/1986	1986/1987
Mining	0.04886	0.04970
Industrial	0.03456	0.03558
Farming	0.06844	0.06805
Municipal	0.03977	0.04447
Commercial & Lighting	0.07784	0.08067
Domestic	0.07532	0.08080
Weighted average	0.04320	0.04594

1988年10月以降の電力料金についてはすでに改訂が認可されており、その中の工業用電力料金表は以下の通りである。

定額料金	22 Z \$ / M
基本料金	18.74 Z \$ / KVA · M
	または 20.26 Z \$ / kW · M
電力量料金	6 am ~ 9 pm 1.91 Z ¢ / kWh
	その他の時間帯 1.69 Z ¢ / kWh

これを基に電力消費10,000kWで 8,000hr/Y、80,000,000kWh/Yの場合の電力料金を試算すると以下の通りとなる。

	(単位 Z \$)	
定額料金	22×12	= 264
基本料金(11,000KVAとする)	$11,000 \times 18.74 \times 12$	= 2,473,680
電力量料金	$80 \times 10^6 \times 15/24 \times 0.0191$	= 955,000
	$80 \times 10^6 \times 9/24 \times 0.0169$	= 507,000
合計		3,935,944
平均電力単位	$3,935,944 / 80 \times 10^6$	= 0.049199 (Z \$ / kWh)

従って、1986/87年の工業用電力の平均単価 0.03558 Z \$ / kWhと比較すると約38.3%の値上げに相当し、従来に比して特に大幅な値上げとなっている。

将来、電力需要が伸び、新たに火力発電所を建設して需要をまかなうとすれば、既存の火力発電所の建設コストを大幅に上回ると考えられ、さらに電力料金の値上げが必要になると考えられる。

5.4 工業用水

5.4.1 ジンバブエ国の水利用事情

ジンバブエ国の年間降雨量はほとんどの地域で 800mm 以下であり、これを越えるのは東部の山岳地帯およびモザンビーク国に近い一部の地域のみである。雨期は10月から翌年の4月までで、これ以外の時期にはアフリカ大陸の上に居据わった高気圧の影響で、ほとんど雨が降らない。従って、ほとんどの地域では半年しか農業ができない。

ジンバブエ国ではこの様な気象条件のため、雨期に得られる水を貯めておく貯水池が発達している。貯水池のほとんどは小河川の水をせき止めたものである。大規模なものとしてはMasvingoに近いKyle湖、Harareに近いRobertson、McIlwaine湖などがある。貯水池の水は主として農業用水（灌漑設備のある大規模農場に限られる）として使われ、一部は都市の上水道および工業用水の水源となっている。これらの貯水池の大部分は政府および地方公共団体が管理しているが、当然の事ながら、農業にとって水利権は非常に重要であり、農業用水を工業用に転用することは容易ではない。

5.4.2 Kwekwe地区の工業用水源

本地区においても他の地区と同様に、河川水域は貯水池の水を農業用と上水道用に共通利用している。Kwekwe地区を流れる主要河川はSebakwe河であり、その上流には東にのびてChibuの辺りの高地に迄達しており、この付近で降る雨水を運んでくる。Sebakwe河にはKwekweの近くにDutchman's poolと呼ばれる貯水池があり、更にその上流にSebakweダムがあり貯水している。このDutchman's poolには市当局が運営するポンプステーションが設置されており、日量45,000トンの水をKwekwe市へ輸送している。この水道は市営水道としてはジンバブエ最大のもので、本地区ではかなりの工場がこの水道水を利用している。また、Sebakwe河の支流の一つにKwekwe河がある、ZISCO（製鉄会社）は堰をつくって取水を行っている。しかし、この河は短く貯水ダムもないので、大量の水を取るには適していない。Kwekwe地区の河川および貯水池の位置をFig. I-5-9に示す。

Kwekwe地区は他の地区に比較して水利条件は悪くなく、Sebakwe河系の水にはまだ若干の余裕がある。しかし、今後増加するであろう一般工業用水、住民のた

めの上水道水等の需要、更には、周辺農家のための農業用水需要の増加を勘案すると、Sebakwe河系の現存貯水能力には本計画で必要とする7,200T/D級の水量に対処できるだけの余裕はない。

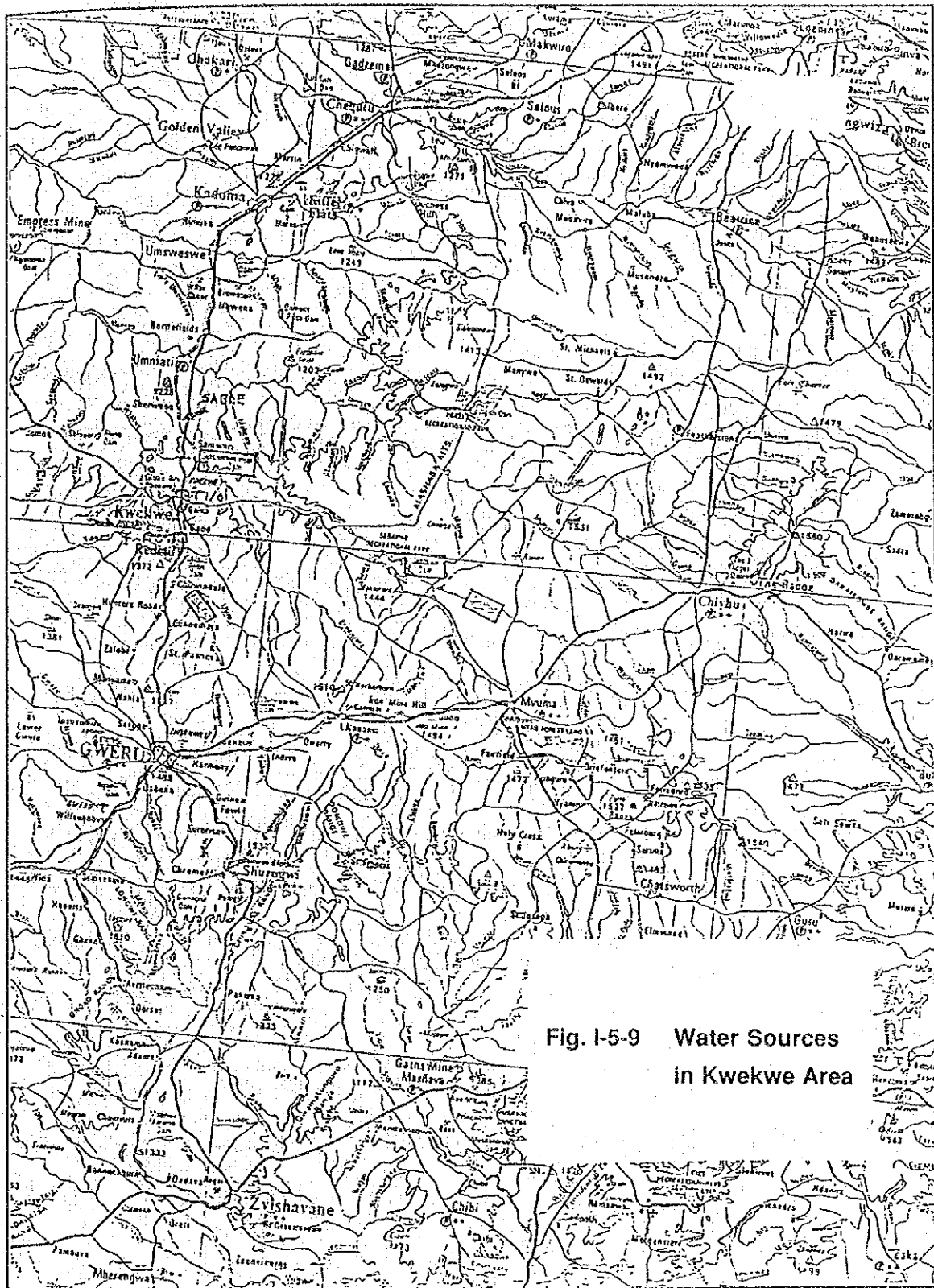


Fig. I-5-9 Water Sources
in Kwekwe Area

5.4.3 Hwange地区の工業用水源

Hwange地区はKwekwe地区と同様に乾期には降雨の少ない地域に属している。しかし、この地域は灌がい農業が発達していないので、河川をせきとめた貯水池はない。Hwange発電所およびWANKIE社では、以下の3つの方法により水を確保している

- ・Deka河に設置した堰からの取水
- ・深井戸からの取水
- ・Zambezi河に設置したポンプステーションからの取水

この内、深井戸の水は上水道用として使用され、他は工業用水源となっている。

Deka河は乾期には水量が極めて乏しくなり、本計画の水源としては適当ではない。更に、同川は火力発電所およびWANKIE社が既に水源として利用しており、本計画へ給水する余裕はない。

深井戸については、180～270mのかなり深い地点に水脈があるが、深井戸は大量の水を得る方法としては現実的ではない。

Zambezi河はアンゴラを源流とするアフリカ第3の大河であり、4,000万T/Hの水量があり、川幅は大きいところで500mを越える。この河の水量も季節によって変動するが、水量が問題となることはない。Hwange地区からZambezi河への距離はDeka河沿いのルートで約45kmである。しかし、上記のように既にポンプステーションが設置されており、送水管もHwange地区に向けて設置されているので、既設の設備に隣接してポンプステーションと送水管を設置すれば、取水が可能で、本計画の水源として利用可能である。

Fig. 1-5-10に取水関連の地名、プラントの位置、河川等を示す。

Zambezi河はジンバブエとザンビアとの国境をなしており、取水予定地点の下流には両国で共同管理を行っているKaribaダムを経てモザンビークへ流れている。従って、同河川水についてはジンバブエ、ザンビアおよびモザンビークの3国に発言権があるものと考えられるが、現在のところ河川水の利用に関する特別の制約はない。

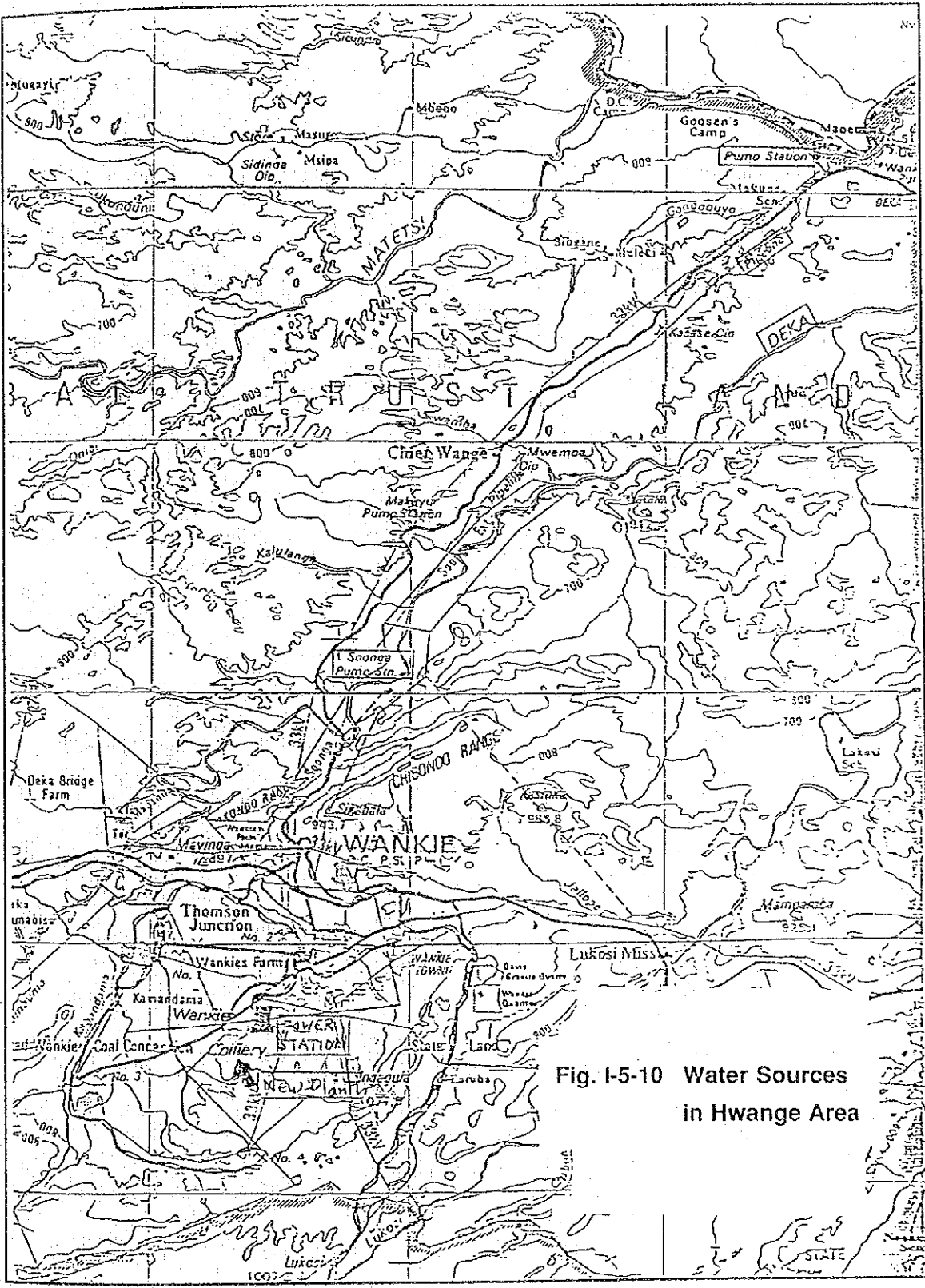


Fig. I-5-10 Water Sources in Hwange Area

5.4.4 まとめ

ジンバブエ国では5月初旬から9月末迄の期間ほとんど雨が降らないので、この期間に利用する水を貯水池で貯えている。しかし、貯水池の水は農業用、上水道用、一般工業用に供給しなければならず、本計画で必要とする大量の水を貯水池から得ることは困難である。また、伏流水は深い井戸でなければ得られず、その量も制限されている。このためKwekwe地区で所要量の工業用水を得ることは困難である。しかし、Hwange地区では国際河川である Zambezi河から約45kmの距離を送水することにより、十分な量の水を得ることが可能である。Zambezi河からの取水については特別の制約はない。

第6章 プラント サイト

第 6 章 プラント サイト

6.1 サイト候補地 (Hwange, Kwekwe) の特長

本プロジェクトのサイト候補地はHwangeとKwekwe地区とすることが、JICA調査団と工業技術省との間で確認された。

Hwange地区はこのプロジェクトの主原料である石炭を現在この国で生産している唯一の地域であり、Kwekwe地区はこのプロジェクトの主製品であるアンモニアの主たる需要地域である。

6.1.1 Hwange地区の特長

(1) Hwange地区の概況

Hwange市はこの国の北西の角にあって隣国ザンビアとの国境近くに位置しており、人口約4万人である。

Hwange市はこの国の唯一の石炭生産会社であるWANKIE社のホームタウンであり、近くには世界で最も幅の広いことで有名な Victoria Fallと、世界で有数なHwangeナショナルパークがある。

ジンバブエ国の首都Harareを発し、第2の都市Bulawayoを経てHwangeおよびVictoria Fallに至り、更にはVictoria Fallの対岸にあるザンビア国のLivingstoneを経て首都Lusakaに至る道路および鉄道のルートはジンバブエ国、ザンビア国の両国を結ぶのみならず南部アフリカ地域における最も重要な幹線の一つである。

WANKIE社は前述の通り現在この国における唯一の石炭生産会社であり、1903年の操業開始以来長年に亘って水力発電と共に、原油を産出しないこの国のエネルギー供給源としての役割を果たして来た。社会の近代化によるエネルギー消費量の増加に伴ってエネルギー源としての石炭の役割は増加の傾向にある。Hwange火力発電所が増強され、また石炭を原料とするプロジェクトが計画され具体化に近づいていることなどがこれを裏付けている。

Hwange市はWANKIE社とともに発展して来たが、上述の通り今後さらにこの国にとって政治、経済、観光等の各面から重要地域として活況を呈すると予想される。

(2) プロジェクトのサイトとしてのHwange地区情況

1) 原料供給

本プロジェクトの主原料が石炭であり、その唯一の生産会社のWANKIE社がこの地域にあるため、プロジェクトサイトとして原料供給面からはこの地区が最も有利である。

2) 製品輸送

本プロジェクトの主製品アンモニアは、この国では現在、主として肥料製造原料として消費されている。この国の肥料の需要地は主として北部(Mashonaland)であるとともに、肥料製造用アンモニアの消費地は現在Kwekweである。従って製品輸送面からは、この地域での立地はKwekwe地区に較べて不利となる。

3) 電力

電力公社(ZESA)のHwange火力発電所がサイト近くに位置しているので、電力供給を受ける面からはこの地区は最も優れた立地である。

4) 原料水

年間の約半分に相当する乾期には、ほとんど雨が降らないこの国にあっては、比較的大量の水を必要とする化学工場の立地は制約を受けることになる。しかし、この地域では、年間を通じて豊富な水流を有するZambezi河からの取水が可能であるため、渇水に対する危険性は少い。但し、立地候補地とそれから約45km離れたZambezi河の取水ポイントとの間の高度差が約250mあるため、送水のための動力費が比較的高くつくことが唯一の難点である。

5) インフラストラクチャ、その他

候補地はFig. 1-6-1に示すように新Hwange駅とBulawayo-Victoria Fall幹線道路との間の地域であるので、連絡道路および鉄道側線の取りつけは容易である。また、Hwange市街に近接しているため、学校、教会、病院、ショッピングセンターおよび福利厚生等の諸施設はHwange市のものが利用出来る利点がある。また、工場従業員の供給面および工場と地域コミュニティとの関係については、WANKIE社およびHwange火力発電所による産業基盤があり問題はないと考えられる。ただし、化学工業の基盤に乏しいことと、首都Harareから遠隔地であることを考慮すれば、化学工業に経験を有する管理者、技術者を受け入れるための住宅施設を新たに設置する必要があるだろう。

6.1.2 Kwekwe地区の特長

(1) Kwekwe地区の概況

Kwekwe市はこの国の首都Harareと第二の都市Bulawayoとの間に位置し、人口約5万人である。

Kwekwe市は製鉄工業、鋳業関連工業および化学工業と関連しながら発展して来た。特にこの国唯一の窒素肥料生産会社であるSABLE社のホームタウンである。

首都HarareからKadoma, Kwekwe, Gweruを経てBulawayoに至る地帯は地形的にはこの国の中央を連ねる“Highveld”と呼ばれるなだらかな草原地帯の一部であるが、Fig. I-6-4に見られるように歴史的には“Gold Belt”として開発され、その後製鉄、フェロクロム等の鋳業関連産業、さらに機械工業、化学工業、軽工業等この国の中核産業地帯へと発展して来た。従って、これ等を結ぶHarare、Bulawayo間の道路および鉄道はこの国の最重要幹線となっており、特に鉄道はHarare、Bulawayo間では近年電化が完成している。

SABLE社は前述の通り、1969年操業開始し、この国における唯一の窒素肥料生産会社である。操業時の方針は農業の振興に伴う肥料の需要に応じるために当時余剰気味であった豊富な水力エネルギー資源を有効利用し、かつこの国における化学工業基盤の充実をはかるものであった。そして充分その期待に応えて来ている。近年国内エネルギー消費量の増大に伴って、水電解法による窒素肥料の製造から石炭ガス化法による製造への転換が計画されつつある状況を迎えているが、Kwekwe市は今まで育てられた産業基盤をもとに今後ともこの国の産業都市としての役割を期待されることになる。

(2) プロジェクトサイトとしてのKwekwe地域の状況

1) 原料供給

本プロジェクトの主原料が石炭であり、その唯一の生産会社のWANKIE社がHwangeにあるのでプロジェクトのサイトとして原料面からはこの地区の立地はHwange地域に較べて不利である。しかし、Hwange-Kwekwe間の石炭輸送についてはこの間が国有鉄道の幹線の1つであり、しかも、現在既にWANKIE社からKwekwe近郊のRedcliffにあるZISCO社へ製鉄用コークスの製造原料として石炭を輸送している実績もあり、NRZは特に輸送上の問題はないとしている。

2) 製品輸送

本プロジェクトの主製品アンモニアの現在の消費先は SABLE社であり、また肥料の主需要地は Mashonalandであるので製品輸送面からはこの地区は最も優れている。

3) 電力

このプロジェクトに必要な電力は26,000kWであるが、ZESAに依るとこの電力量を現在の需要量に増加してこの地区で供給することには問題点がある。但し、このプロジェクトの趣旨から現在 SABLE社が水電解用電力として使用している約 100,000kWの電力が余剰となり、他の目的に使用することが可能になるのでこのプロジェクトにも供給可能であると解答を得ている。従って、このプロジェクトでは SABLE社の受変電設備の一部が利用出来るものとして計画されている。

4) 原料水

前述のごとく、この国では比較的大量の水を必要とする化学工場の立地は制約を受けるが、特にこの地域での立地はこの原水の取水可能性が最も重要な要素である。この地域には Sabakwe河およびKwekwe河があるがともに取水量に限界がある。即ち Sabakwe河にはサバクエダムおよびダッチマンズプールダムがあり、Kwekwe市周辺の住民のための生活用水、農業灌漑用水および SABLE社への工業用水が取水されている。また、Kwekwe河からは、ZISCO社への工業用水が取水されている。しかし、水・エネルギー省からは、これらの2河川からこのプロジェクト用の工業用水を取水する余力はないと言われている。

5) インフラストラクチャー、その他

候補地はFig. 1-6-3に示されるように SABLE社に隣接し、また首都HarareとKwekweを結ぶ幹線の道路および鉄道に近いので連絡道路および鉄道側線の取りつけは容易である。次に、Kwekwe市街からも近い(約20km)ので学校、教会、病院、ショッピングセンターおよび福利厚生等諸施設はKwekwe市のものが利用出来る。また、SABLE社に近いことは化学工業の基盤を有する地区での立地という利点のみならず化学工業に経験の深い SABLE社と技術情報の交換が可能であり、また SABLE社のメンテナンス施設、および教育訓練施設がそのまま利用出来るという大きい利点がある。

6.2 サイト候補地 (Hwange, Kwekwe) の比較と勧告

6.2.1 サイト候補地の比較

前節で述べたように、本プロジェクトに関してHwange地区およびKwekwe地区の2つのサイト候補地の優劣の定性的な比較をTable 1-6-1に示す。

Table 1-6-1 Site Comparison/Qualitative

	Hwange	Kwekwe
i. Location		
a) Adjacent township	○	○
b) Area availability	○	○
c) Land cost	○	○
d) Weather condition	○	○
e) Soil condition	○	○
ii. Utilities		
a) Water supply		
- Availability	○	×
- Quality	○	○
- Cost	△	×
b) Electric power		
- Availability	◎	○
- Cost	○	○
iii. Transport Infrastructure		
a) Road condition	○	○
b) Railway condition	○	○
iv. Transportation and Distribution		
a) Raw coal transportation	◎	△
b) Product ammonia distribution	△	◎
c) Product distribution (Fertilizer, Methanol, Tar)	△	○
	○	◎
v. Employee Recruiting		

Notes: ◎ Excellent
○ Adequate
△ Inadequate
× Unavailable

次に、原料および製品の輸送という観点からサイトがHwange地区とKwekwe地区の場合について比較したものをTable I-6-2に示す。即ち原料と製品の輸送費のうち変動費の比較ではKwekwe立地の方が優れている（さらに後述のごとく設備投資面からもKwekwe立地が有利である）

**Table I-6-2 Site Comparison on Transportation and Distribution Cost
(Variable Cost)**

i. Product: Ammonia 600 T/D only

	<u>Hwange</u>	<u>Kwekwe</u>	<u>Difference</u>
(1) Raw Coal	—	$600^{T/D} \times 1.2^{T/T} \times 330^{D/Y}$ $= 237,600^{T/Y}$ $14.27^{ZS/T} \times 237,600^{T/Y}$ $= 3,391^{Thousand\ ZS/Y}$	
(2) Product Ammonia	$600^{T/D} \times 330^{D/Y} = 198,000^{T/Y}$ $32.51^{ZS/T} \times 198,000^{T/Y} = 6,437^{Thousand\ ZS/Y}$	—	
Total	6,437^{Thousand ZS/Y}	3,391^{Thousand ZS/Y}	3,046^{Thousand ZS/Y}

ii. Product: Ammonia 300 T/D, Urea 525 T/D

(1) Raw Coal	—	3,391 ^{Thousand ZS/Y}	
(2) Product Ammonia	$300^{T/D} \times 330^{D/Y} = 99,000^{T/Y}$ $32.51^{ZS/T} \times 99,000^{T/Y} = 3,218^{Thousand\ ZS/Y}$	—	
(3) Product Urea	$525^{T/D} \times 330^{D/Y} = 173,250^{T/Y}$ $16.49^{ZS/T} \times 173,250^{T/Y} = 2,857^{Thousand\ ZS/Y}$	—	
Total	6,075^{Thousand ZS/Y}	3,391^{Thousand ZS/Y}	2,684^{Thousand ZS/Y}

次に、設備投資の観点からHwange地区とKwekwe地区における立地の場合について比較したものをTable I-6-3に示す。

Table I-6-3 Site Comparison on Production and Transportation Facilities

(in case of Products; Ammonia 300^{T/D} Urea 525^{T/D})

	Hwange	Kwekwe	Note
(1) Ammonia Tank Wagon	*1) ———	————	*1) 50 nos. out of existing Sable Chemical's 25.5T/ car will be utilized.
(2) Ammonia Storage Tank	2 nos. × 3,000 ^T Tank	1 no. × 3,000 ^T Tank	
(3) Transportation Facilities for Raw Coal	8 nos. × 25 ^T Dump Truck	Turning Facility for Railway Wagon	
(4) Raw Water Intake and Transfer Facilities	Nor. 350 ^{T/h} (max 400 ^{T/h}) × 45 ^{Km} × 250 ^m of Altitude Difference	*2) ——— *2) Assumed 200 ^{T/h} of Raw Water will be available through existing Sable Chemical's Plant	
(5) Cooling Water Facilities	Cooling Tower Type	Air Fin Type Heat Exchanger	
(6) Electricity Receiving Facilities	33 ^{KV} Receiving Facility From 33 ^{KV} to 6.6 ^{KV} Transformer	*3) 8.8 ^{KV} Existing Sable Chemical's Receiving Facility will be utilized.	

6.2.2 サイト候補地に関する勧告

サイト候補地としてあげられているHwange地区とKweKwe地区の比較については前節で述べた通りである。即ちKwekwe地区は化学工業の基盤もあり、製品の市場にも近く経済的観点からも優れた面があるが、化学工業にとって最も重要な要素の一つである水の供給の面で制約があり、将来迎えるかもしれないはなはだしい旱魃の場合を想定した場合、農業用水を優先して対処せざるを得ないことを考えると新設化学工場の安定操業に対して懸念を抱かざるを得ない。

一方、Hwange地区は製品の市場から遠く、経済的観点からは劣るが、当然のごとく原料石炭の供給の面から優れている上に、水は Zambezi河から直接汲み上げるため、その送水動力を必要とするものの、供給面からの信頼性は確保されている。

従って、本プロジェクトのサイト候補地としてHwange地区を推奨する。また、Hwange地区での新しい工業の立地はジンバブエ国の政策の一つである地方分散化政策に沿うことになる。

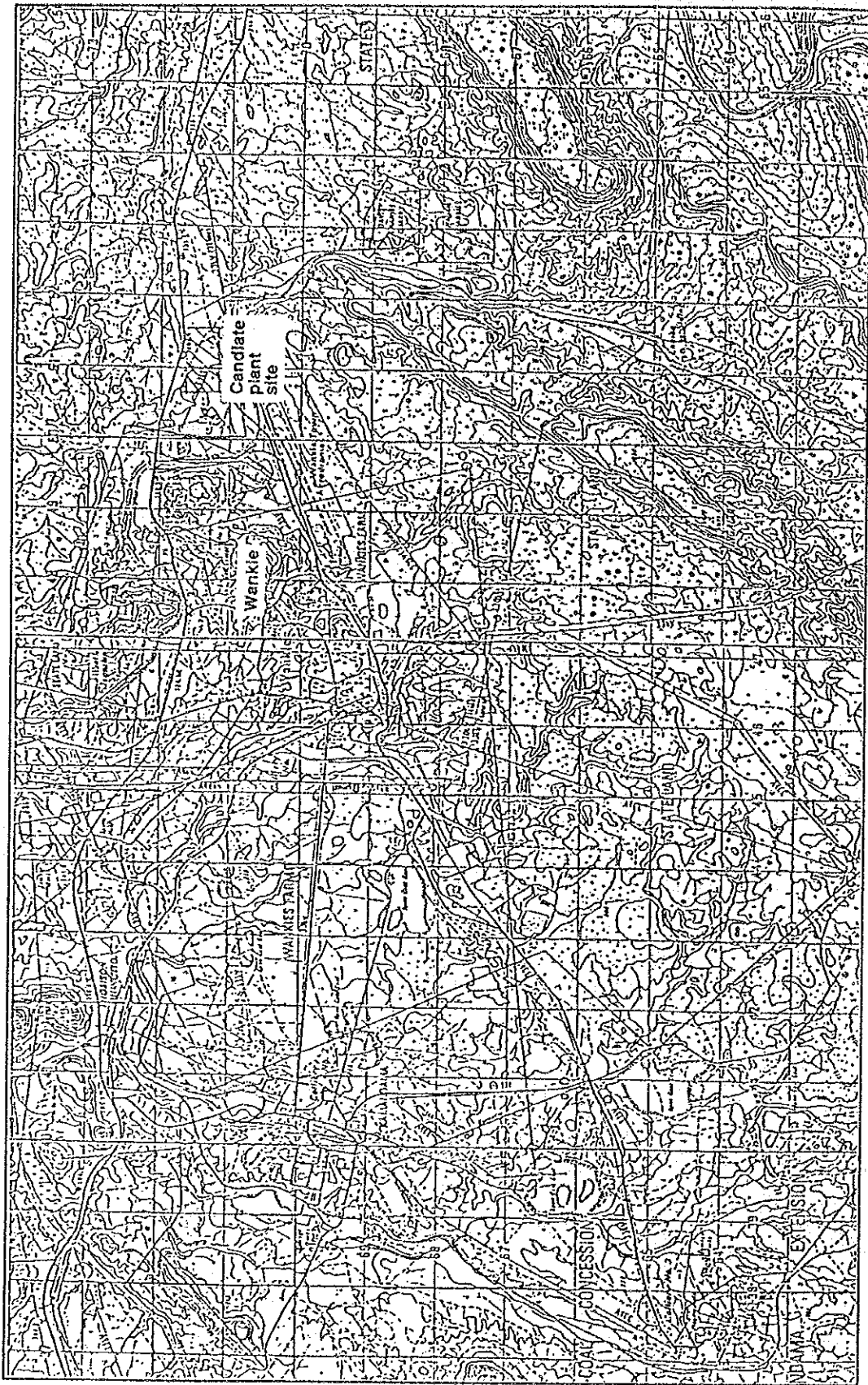


Fig. I-6-1 Candidate Plant Site In Hwange

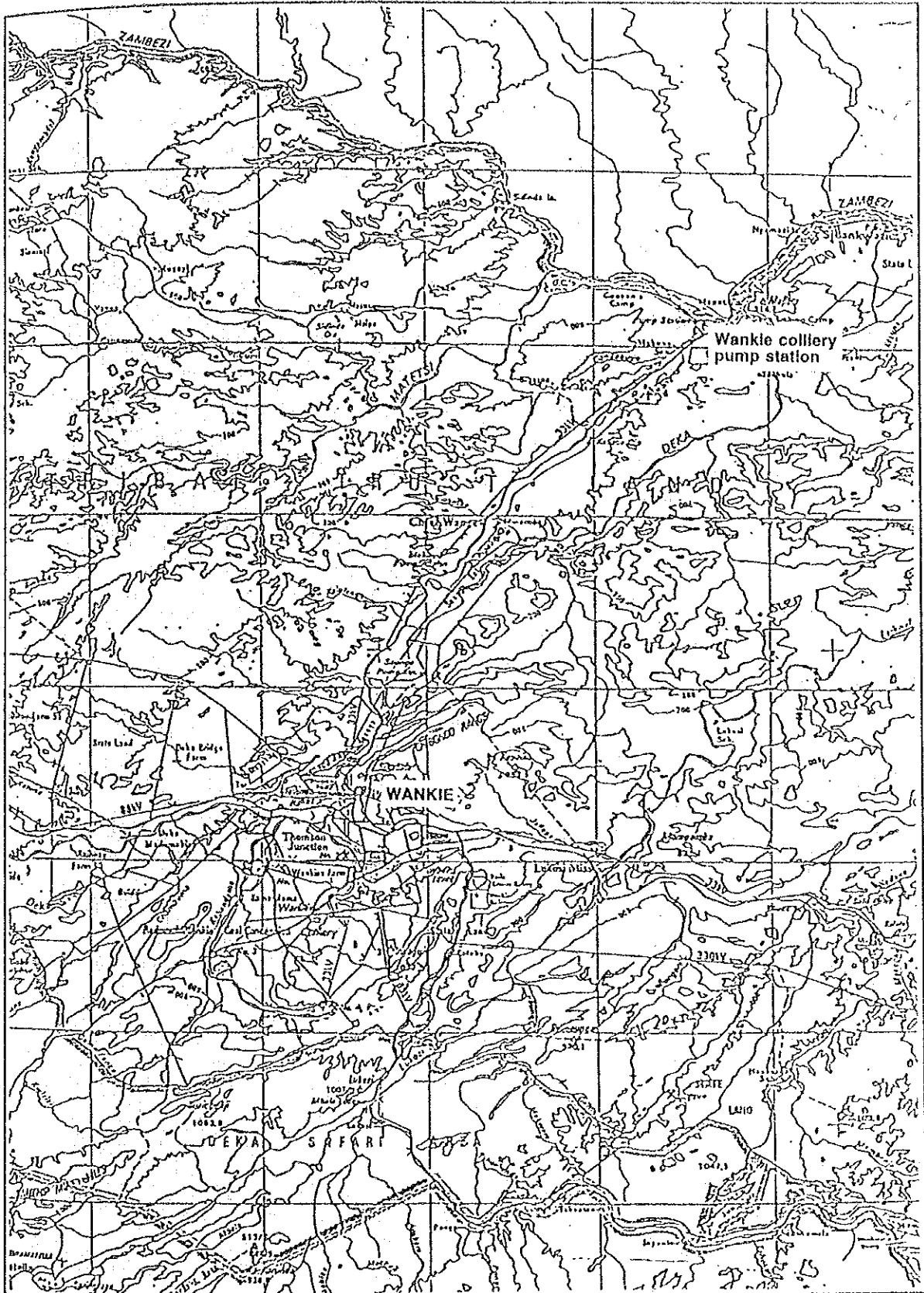
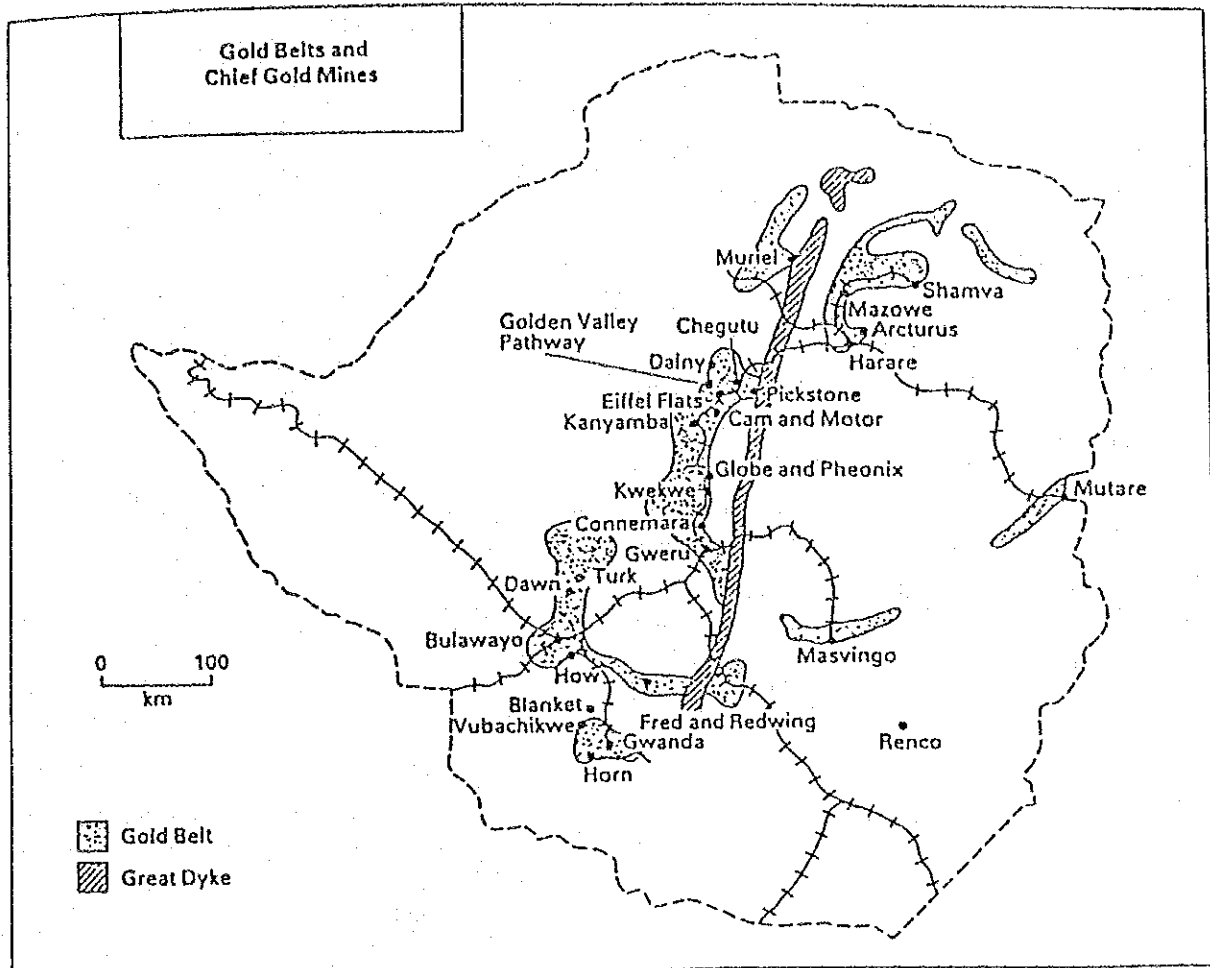


Fig. I-6-2 Candidate Plant Site and Water Intake Point in Hwange



Source: Lands and Peoples of Central Africa

Fig. I-6-4 Location of Gold Mines

第7章 セイブル ケミカル社

第 7 章 セイブル ケミカル社

7.1 SABLE社の概要

SABLE 社はジンバブエ国における唯一の窒素肥料の生産会社であり、Kwekwe 市の北方16~17km離れて、Harare-Bulawayo間の主要道路に沿って位置し、Harareからは南西約 230kmの距離にある。工場敷地は40エーカーあり、またその工場レイアウトの概要をFig. 1-7-1に示す。付近にはZISCO, OXYCOなどの大工場もあり、ジンバブエ国の大工業地帯である。SABLE 社とSABLE 社のある近辺の地図をFig. 1-7-2に示す。

7.1.1 SABLE社の歴史

1966年、ジンバブエ国は増大する窒素肥料の国内需要に応ずるため工場建設を決定し、1969年3月に硝安 22,000T/Yの能力の肥料工場を建設し、その運転を開始した。その際原料のアンモニアは、全量輸入に依存し、モザンビーク国のマプト港より鉄路輸送した。

しかし、内陸国であるジンバブエ国では、輸送費が異常に高額となり、その肥料は高価格となる。その輸送費を軽減するため、ジンバブエ国は1972年に水電解法による水素を原料として、アンモニア生産の国産化を行った。

ついで、1975年水電解設備の増強が行われて、現在に至っている。アンモニア合成設備はフランスの既設プラントを移設したもので、現在の硝安製造設備の能力にマッチしてないため、所要アンモニア量のほぼ 1/3は輸入しているのが現状である。

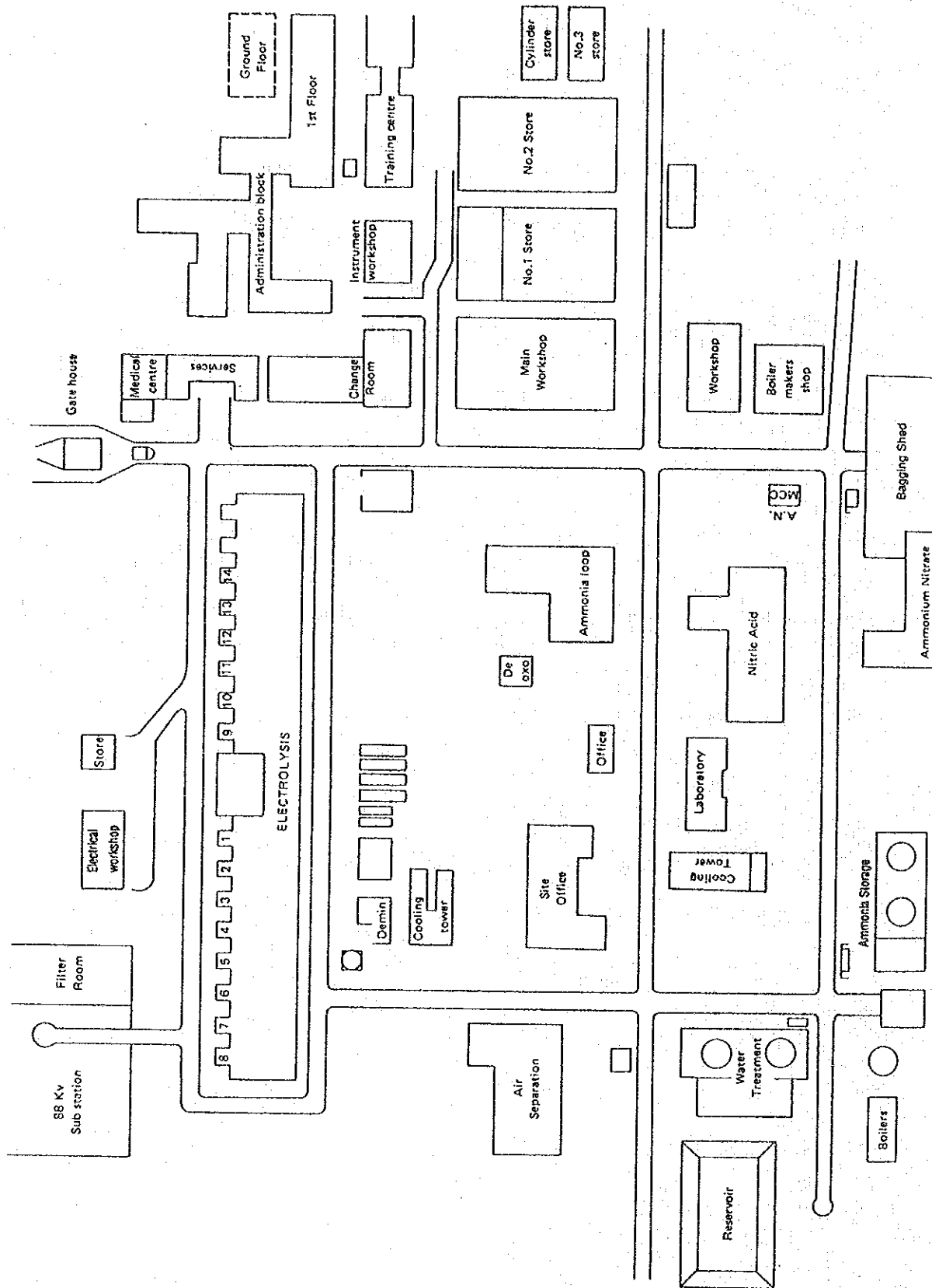


Fig. I-7-1 Layout of SABLE Plant

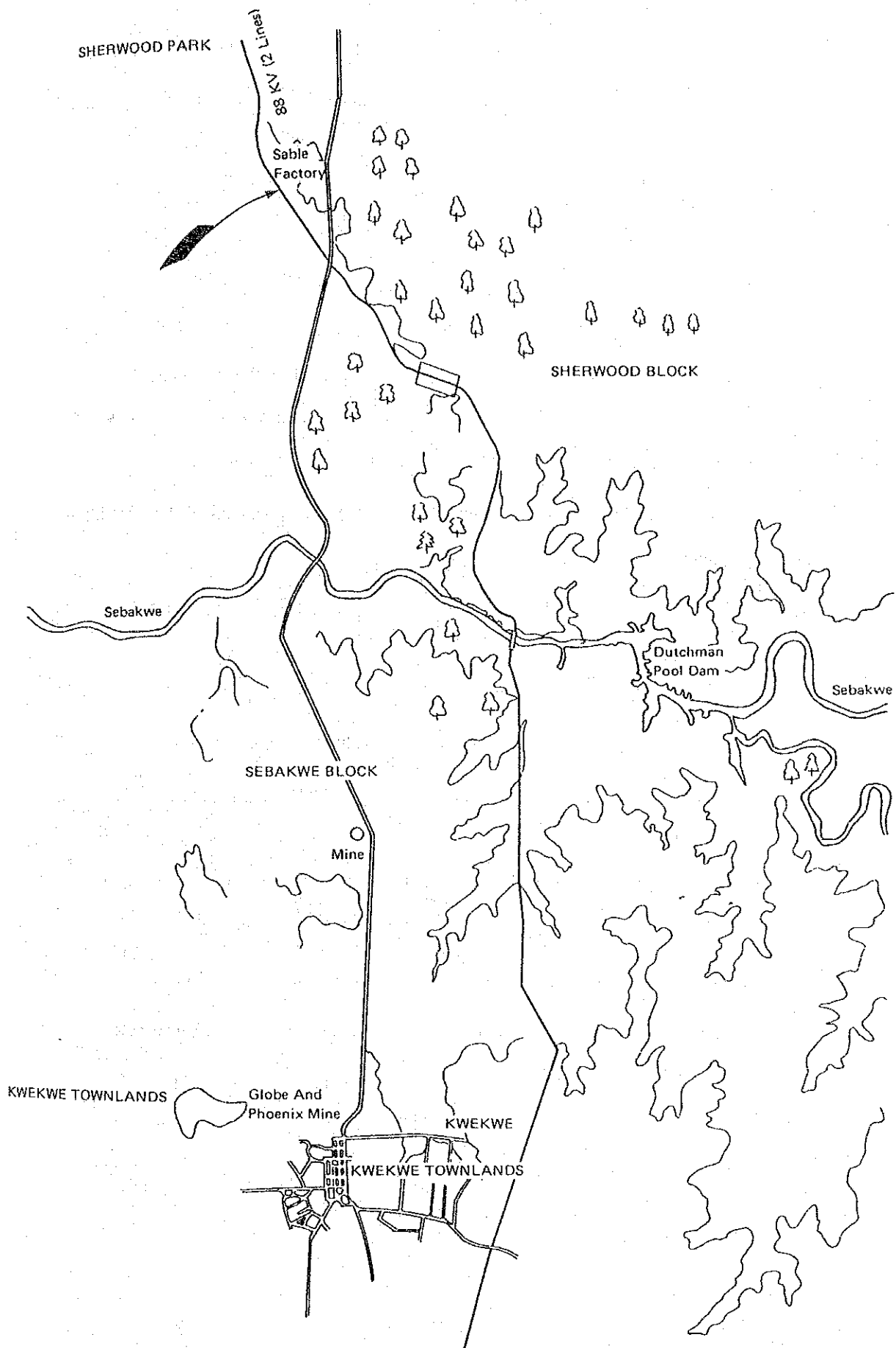


Fig. I-7-2 Location of SABLE

7.1.2 生産能力

現在の各設備の生産能力は

- ・アンモニア 70,000T/Y
- ・硝酸 (57.5%) 82,000T/Y × 2 系列 (100% HNO₃)
- ・硝安 * 215,000T/Y (34.5% N)

(注) * 15,000T/Yの鉱山爆薬用硝安を含む。

輸入アンモニアは現在マプート港が使用不能であり、また陸送日数も大変長い
ため、南アメリカ国の Richard's Bay (ダーバンの北約 300km) より陸送されて
いる。SABLE 社はこの輸入アンモニアと自社製造アンモニアを合せて、硝酸・硝
安を製造している。

このほか、近くの ZISCO社の工場へ10inchのパイプ、36kg/cm² Gの圧力で酸素
ガス 6,000 m³/hを輸送、販売している。

近年の SABLE社の生産実績、アンモニアの生産輸入実績などを Table I-7-
1に示す。

Table I-7-1 SABLE- Historical Production

	Unit : T/Y				
	1981	1982	1983	1984	1985
Ammonia Produced	72,000	74,000	72,000	70,000	n.a.
Ammonia Imported	31,274	39,696	25,887	24,800	n.a.
Ammonium Nitrate	*225,000	243,000	243,000	198,000	206,000**

Note: * Includes about 15,000 T/Y for explosive grade ammonium nitrate

** Estimate

7.1.3 設備概要

主要設備の概要を次に示す。

① 水電解槽	ルルギ式高圧水電解槽 (30bar) 14ペアー (フィルタープレス型)		
	能力	1500N ^m -H ₂ /h/ペアー 750N ^m -O ₂ /h/ペアー	
② 空気分離器	Air Liquid社	深冷式	1基
③ アンモニア合成	圧力	300kg/cm ²	
	能力	220T/D	1基
④ 硝酸設備	Grande Paroisse	単圧式	2系列
	能力	82,000T/Y×2 (100%)	
	濃度	57.5%	
⑤ 硝安設備	能力	34.5%硝安	215,000T/Y 1系列
⑥ 付属設備			
・ 受電設備	Muniati 地区で幹線より分岐され、8～9 km、88KV で送電される。		
	使用電力	Off Peak 110MW On Peak 100MW	
	供給電力は安定しており、停電・電圧降下等がない ので自家発電設備はもっていない。		
・ 取水設備	南方5～6 km離れた Sebakwe河より取水している。		
	取水能力	300,000 m ³ /M	
	通常取水量	100,000 m ³ /M	
	原水は Sebakwe河のダムの溜水で、民生用、農業用 水が優先するので、この水系より、本プロジェクト への取水は渇水期、異常渇水期には、量的、ならば びに、質的に非常に問題があると思われる。		
	原水の水質をTable I-7-2に示す。		

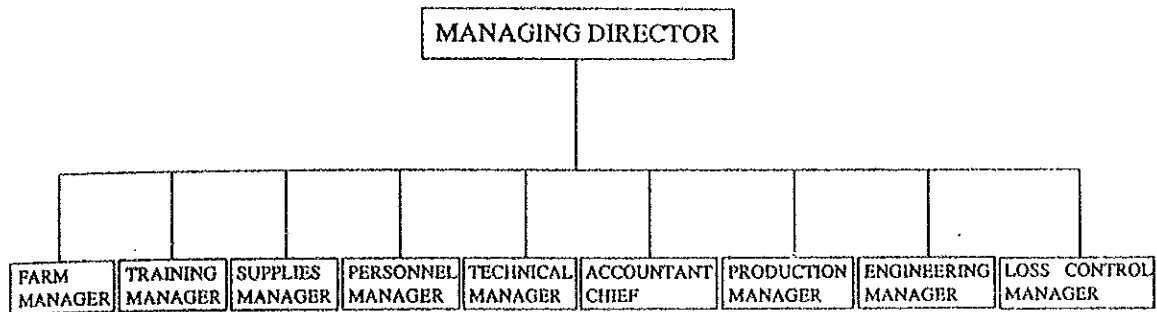
Table I-7-2 Raw Water Analysis at SABLE

Raw water		Mean	Range
pH		8.18	7.84 - 8.53
Conductivity	$\mu\text{S/cm}$	146.31	130 - 170
Silica	mg/l	14.09	6.0 - 17.0
T.D.S.	"	123.31	86 - 170
Total hard	"	71.18	60 - 95
C.A. hard	"	24.18	19 - 38
MG hard	"	47.22	39 - 63
Sulphates	"	24.86	12 - 48
Chlorides	"	8.00	5 - 11
'M' Alkalinity	"	74.80	68 - 97
Iron	"	0.36	0.25 - 0.46
Phosphates	"	1.00	0.10 - 1.90
Turbidity	%	62.26	57.41 - 70.63

Source: SABLE Laboratory's Analysis Data

7.1.4 組織および人員

現在の組織をFig. 1-7-3に示す。



Its personnel number:

Sable	601
Sebakwe Farms	15
<u>Total</u>	<u>616</u>

Fig. I-7-3 SABLE Organization and Management (July 1988)

7.1.5 生産状況の概要

現在の操業の概要を理解するため、Fig. 1-7-4に操業バランスを図示する。

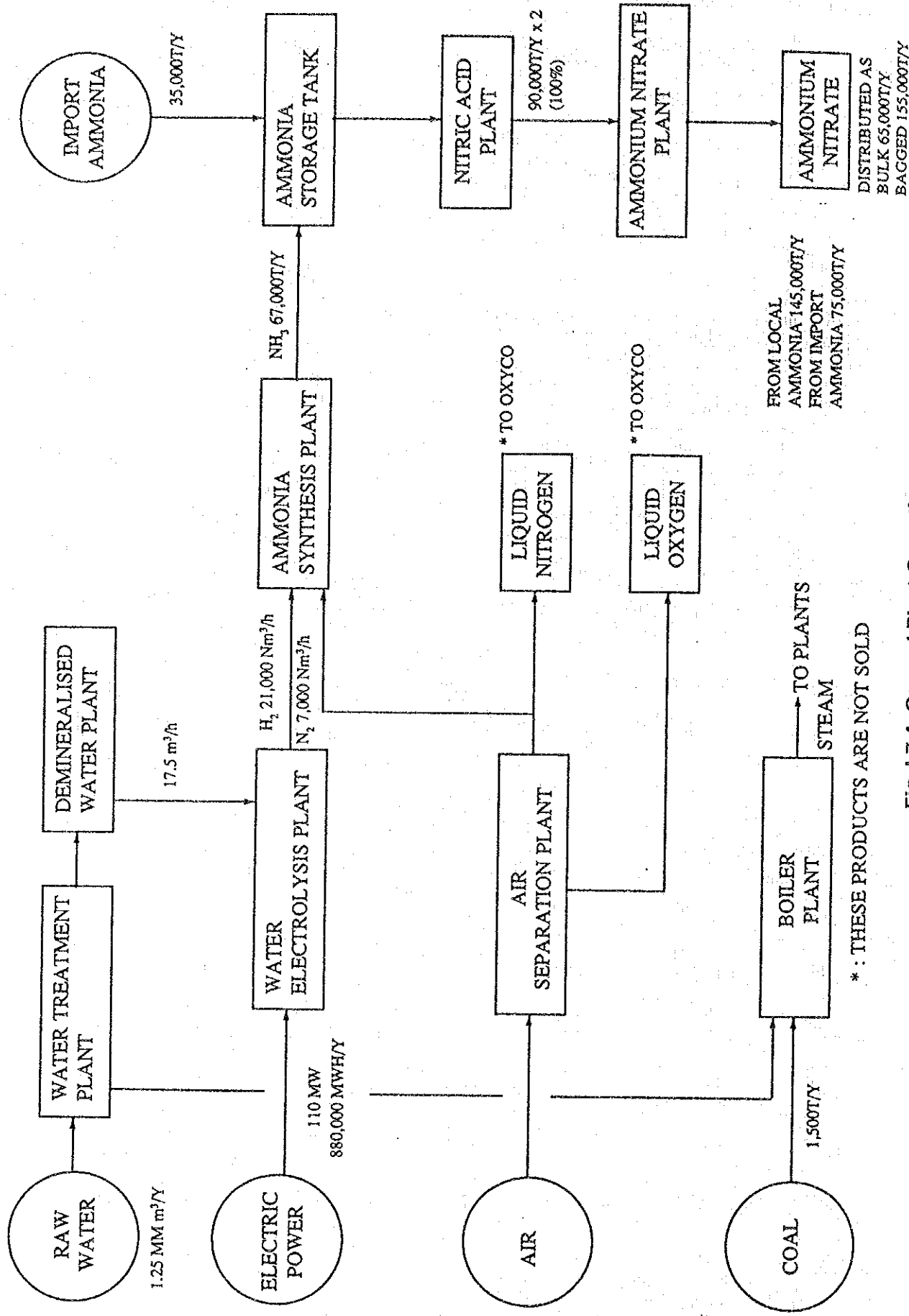


Fig. I-7-4 General Plant Operation

7.2 本プロジェクトと SABLE社との関連

7.2.1 水電解法によるアンモニア製造

ジンバブエ国における1965年以降の窒素肥料消費の著しい増加に対応して、政府は国産資源によるアンモニアの生産を計画したが、石炭を原料とするか、水電解によるかが問題となった。当時の石炭ガス化技術は化学合成原料用としては未発達の技術であり、また、当時はKariba Damの完成により600MWの水力発電が稼働を開始したが、国内需要は120MWしかないため、この豊富、かつ安価な電力を利用した水電解によるアンモニア製造が有利と判断された。

しかし、近年電力事情は大きく変化し、電力の輸入も行われている。

ジンバブエ国における電力需要状況はTable I-7-3の通りで、その電力はKARIBA SOUTH水力発電所、小型火力発電所およびザンビア(KARIBIA NORTH)水力発電所からの輸入によりまかなわれ、水力主体のため電力料金は安価に保たれていた。

しかし、1982~85および1986~90年5ヵ年計画では、1993年までに電力自給が可能になるように目標が掲げられ、ザンビアよりの輸入電力の代替と、ジンバブエ国近代化のための電力需要の増加をまかなうためHWANGE-I(4×120MW)、HWANGE-II(2×220MW)の石炭火力発電所が建設された。

Table I-7-3 Energy Balance in Zimbabwe

	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Coal (1,000 T)						
Production	3,134	2,867	2,769	3,326	3,109	3,114
Imports	-	43	38	4
Exports (incl. coke)	342	229	194	249	277	...
Electricity (GWh)						
Production of which:	4,540	4,519	4,134	4,381	4,538	5,023
thermal	532	403	529	647	1,080	1,926
hydro*	4,008	4,116	3,605	3,734	3,458	3,097
Imports	2,732	3,005	3,609	3,086	2,917	3,070
Consumption	7,272	7,524	7,743	7,467	7,455	8,093
Liquid fuels (Z\$ million)						
Imports	174.1	189.0	154.7	200.2	230.0	294.4

Note: *From Kariba South Bank

Surces: Quarterly Digest of Statistics; Stats-Flash

また今後の電力消費の増加をまかなうため、HWANGE-III(2×220MW)石炭火力、KARIBA SOUTH改造(6×111→6×125MW)水力、KARIBA SOUTH増設(2×150MW)水力が計画されている。

当初KARIBA SOUTH水力の余剰電力の有効利用を目的として計画された SABLE

社のアンモニア製造設備は、現在ジンバブエ電気消費量の約10%を消費し、電力需要を圧迫する状況となって来た。

また、石炭火力の運転により、ジンバブエ国の発電単価が上昇しアンモニアの製造原価を押し上げている。ジンバブエ工業用電力料金の推移は次の通りである。

unit: Z\$ / kWh						
1981/82	1982/83	1983/84	1984/85	1985/86	1986/87	1988
1.073	1.657	3.008	2.900	3.456	3.558	4.9196

電力料金は今後とも上昇するものと考えられる。

7.2.2 SABLE 社アンモニアの製造価格

今回の調査によれば、SABLE 社の現在の製品製造コストは

製造アンモニア Z\$ 530/T-NH₃ (US\$ 295/T-NH₃)

輸入アンモニア Z\$ 534/T-NH₃ (US\$ 297/T-NH₃)

硝安 Z\$ 280/T-Bagged

工場出荷価格は

硝安 Z\$ 324/T-Bagged

Z\$ 313/T-Bulk

というデータを得た。アンモニア製造価格は国際価格の2～3倍となっている。今、SABLE社のアンモニア製造コストのうち電力費を試算してみると、SABLE社の電解槽は高圧新 Lurgi式であるので、原単位として4.3kWh/m³-H₂、電解電力8,600kWh /T-NH₃、所要電力原単位10,200kWh/T-NH₃を採用すると、アンモニア1トン当りの電力コストは次表のごとくなる。

電 力 単 価	所電力コスト
1986/87 平均 1.977US \$ / kWh	202US\$ / T-NH ₃
1988 (料金改定後) 2.3US \$ / kWh	235US\$ / T-NH ₃

所要電力コストのみで、US\$200/T-NH₃を超えては新規計画としては製品製造コストが高くなり問題にならぬ価格といわざるを得ない。

今後ともますます上昇すると予想される電力価格は SABLE社のアンモニア価格を著しく上昇せしめ、安価な肥料の供給は、いよいよ困難となるであろう。

7.2.3 本プロジェクトと SABLE社との関連

SABLE社はジンバブエ国における唯一の窒素肥料の生産工場で、ここで生産された硝安は ZFC社、WINDMILL社に供給され、NPK肥料の主要原料となり、単肥を合わせて同国肥料生産の全量を供給し、ジンバブエ国における化学工業の中心となっている。

また、その設備は操業以来14年を経過し旧型となっているが、優れた工場管理により設計生産能力は維持されて、今後も適時補修工事を行えば、その生産能力は維持されるものとする。今回のアンモニア尿素プロジェクトでは、石炭を原料として600T/Dのアンモニアを生産し、これを原料として尿素を生産する計画であるが、SABLE社の現状よりみて600T/Dのアンモニアの300T/DをSABLE社に供給し、現存設備を有効利用して従来通り硝安を製造すべきと考える。また、残りのアンモニア300T/Dは新たに尿素を製造することが得策と考えられる。アンモニアのみのプロジェクトの場合には、別に尿素以外のアンモニア誘導品が計画されねばならない。

尿素を製造する場合は、ジンバブエ国では硝安、尿素の2種の窒素肥料を自給することになり、農業政策の見地よりも良策である。

この場合次の利益が考えられる。

- (1) SABLE社は水電解設備、アンモニア合成設備を休止し、安価なアンモニアを購入し、硝安の製造原価が低減され、農民は安価な肥料を使用できる。
- (2) SABLE社の現在輸入している100T/Dのアンモニアを国産品に切替えるので外貨の節約になる。
- (3) 現在稼働中の水電解設備の休止により、90～100MWの電力が余剰となり、ジンバブエ国の電力需要に大きく貢献する。

Kwekwe地区は将来ジンバブエ工業の中心として発展すると予想されるが、現在の電力設備にて今後の電力需要の増加に対処ができる。

- (4) 100MWの石炭火力発電所の建設には15千万US\$の資金が必要となるが、この資金が不要となりジンバブエ経済上大きな利点となる。

