

## 第7章 原料および副原料





## 第7章 原料および副原料

### 7-1 クエン酸発酵原料の選定

#### (1) 菌および発酵方法と原料

クエン酸は *Aspergillus niger* と呼ばれる黒かび菌を用いて炭水化物を発酵することにより、生産されているが、この種に属する菌の中にもいろいろの特性を示すものがある。クエン酸発酵を工業化する段階では、特定の原料とプロセスについて高いクエン酸収率を示す菌の選抜と育成が行われている。工業化された発酵技術は選抜育成された菌種が中核となって、発酵原料とプロセスが特定されている。従って、既存技術の導入によって工業化を図る場合、利用できる菌種によって、利用できる原料および利用できるプロセスに制約を受ける。

#### (2) 発酵方法

現在、クエン酸発酵を工業的に行う方法には大別して固体発酵法と液内発酵法とがある。前者は主としてさつま芋またはキャッサバの澱粉を抽出した粕を原料としてアジア地域で行われている。後者はビートモラセス、コーンスターチ等を原料として主としてヨーロッパおよびアメリカ地域で行われている。日本においては九州化工(株)およびサツマ化工(株)が前者の技術によってさつま芋の澱粉粕を原料とするクエン酸発酵を行っており、後者については磐田化学工業(株)がコーンスターチを原料としてクエン酸発酵を行っている。これらはいずれも *Aspergillus niger* に属する菌を利用しているが、菌は各々独自に育成したもので各々これら生産会社のノーハウに属している。この他に早稲田大学が独自に菌種の開発を行っており、固体発酵法で糖液に近いもの、例えばパイナップル缶詰の廃液等を利用するクエン酸発酵に使える菌種を保有している。

#### (3) 原料の候補

調査前迄の段階で、以上の様な状況を念頭に原料の候補として次を考えた。

1. さつま芋の澱粉粕
2. キャッサバの澱粉粕
3. コーンスターチ

4. さとうきびから粗糖を得る工程で得られる濃縮ジュース、粗糖およびモラセス
5. 粗糖から精製糖を得る工程で得られるモラセスおよび工程の途中で得られるシロップ

これらの内、4. 5. はモラセスを除いて未だ工業化は実現していないが実験室での発酵テスト等によって実現可能性が高いと判断されたものである。

#### (4) 固定発酵法

ジンバブエ国の現状からみて、雇用の増大は重要な課題である。固体発酵法の方が労働集約的であり、資本コストが大巾に節約できるため、固体発酵法を採用できる「1. さつま芋の澱粉粕」、「2. キャッサバの澱粉粕」を原料とすることを優先的に検討した。しかし、ジンバブエではさつま芋、キャッサバの集約的農業栽培が行われておらず、これらを原料とする澱粉の製造と澱粉粕発生の可能性が極めて低いことが現地調査の結果判明した。

固体発酵法の応用として早稲田大学が技術を保有する方法として、「4. さとうきびから粗糖を得る工程で得られる濃縮ジュース、粗糖およびモラセス」または「5. 粗糖から精製糖を得る工程で得られるモラセスおよび工程の途中で得られるシロップ」をバガス（さとうきびから糖液をしぼった残りの繊維質）を担体として浸透させたものを培養基とする方法があり、これを代案として検討した。ケーンモラセス（さとうきびの廃糖蜜）を用い、固体発酵法でクエン酸を製造している例は今のところないが、液内発酵法によって工業化した例がある。一方、ジンバブエの精糖会社では現在、すでに燃料用エタノールの製造を含む種々の用途にモラセスは完全に有効利用しており、一部を外国から輸入して補充している状況である。輸入の増大によらなければ新しいクエン酸発酵用のモラセスを得ることができない。

固体発酵法を用いる原料としては、この他に「粗糖あるいは、さとうきびから精製糖を得る工程の各種中間製品」をバガスに浸透させて利用する可能性が残されているが、これらの原料を用いたプロセスはまだ工業化されておらず、開発に時間と費用がかかる。また、澱粉粕、モラセス等の材料に比べて高価な原料であるため、開発を促進するインセンティブに乏しい。

#### (5) コーンスターチ

以上の経過を程で原料の候補として、「3. コーンスターチ」が残ったが、調査の結果、ジンバブエではコーンスターチの価格が意外に高く、粗糖以上であることが判った。しかし、コーンスターチは米国等ではクエン酸原料として他の原料に十分競合できる価格での入手が可能であり、ジンバブエにおいてもコーンスターチは、将来価格低減の可能性の高い材料とみな

し得る (7-3-1 節参照)。

(6) 発酵試験

以上の原材料についてジンバブエ国内でサンプルを採取し、発酵試験を実施することとした。発酵試験は九州化工(株)、磐田化学工業(株)、早稲田大学において各々育成した固有の菌により、固有技術に基づいて適合性の比較的高い原料について行った。試験の内容および結果については第 10 章で述べる。

(7) まとめ

本章では以下において、固体発酵法および液内発酵法の各々について、主原料および副原料の用途と特徴を述べ、ジンバブエでの入手可能性について記述する。表 7-1 に主原料の特徴をまとめる。

**Table 7-1 Summary of the Raw Material**

Material	Process	Availability	Industrial Technology	Material Cost
Sweet potato residues	○ Solid culture	× No	○ Exists	N.A.
Cassava residues	○ Solid culture	× No	○ Exists	N.A.
Cornstarch	○ Submerged culture	○ Good	○ Exists	△ (*)
Sugercane molasses	○ Solid culture	× Imported	× No	○ Reasonable
Sugercane intermediate products	○ Solid culture	○ Good	× No	× Expensive

Remark : (\*) Expensive, but has the possibility of being reasonable.

Symbols : ○ ....Acceptable.

× ....To be rejected.

△ ....Not preferable, but acceptable.

## 7-2 固体発酵法の原料

### 7-2-1 さつま芋

#### (1) 栽培

さつま芋は120日以上降霜のない地域で栽培できる。15℃以下の気温では成育が著しく鈍り、10℃以下になると葉が黄変し枯死することがある。水はけが良くpH5.0～6.3の酸性土壌が栽培に適している。ジンバブエは一部の例外的な地域を除いてほとんど全域がこれらの条件に合致しており、事実極めて小規模ではあるが各地でさつま芋の栽培がなされている。しかし、現在行われている栽培方法は極めて粗放であり、収率が低い。

#### (2) 生産量

3,000t/年のクエン酸を製造するためには約9,300t/年のさつま芋澱粉粕が必要であるが、このためには澱粉原料として約187,000t/年のさつま芋が必要である。現在、ジンバブエで生産されているさつま芋の量については正確な統計がないがFAOの推定では1,000t/年以下であるとされている。また、収率は2,250kg/ha(1989年)とされている。ちなみに日本での収率は21,111kg/ha(1989年)であり、ジンバブエの収率はこの約1/10である。実際にさつま芋を栽培しているところを視察したが、栽培技術は極めて幼稚であった。苗床をつくらず、種芋を直接植えているところがみられた。また、ぞう虫による虫害の大きい地域もある。

#### (3) 価格

さつま芋は野菜の一種として小量が市場で販売されており、発酵試験用のサンプルをハラレ市内の市場で購入した経験によると小売値で0.8～2.0Z\$/kgで販売されており、ハラレ市内でも店舗間での価格のバラツキが大きい。尚、Zimbankが新聞に発表した("The Herald" June 5, 1991)商品価格では10～15kg袋(pocketと言う)入りの価格がZ\$2.5～3.5とされている。従って、農家にクエン酸原料としてさつま芋の大規模生産を依頼するためには少なくとも0.25Z\$/kgより高い価格を提示することが必要である。

#### (4) さつま芋澱粉粕

アジア地域では芋澱粉は料理用および菓子用としてコーンスターチより高い価格で取引されている。しかし、アフリカ地域では芋澱粉に対する選好的需要が認められず、さつま芋澱粉を製造しても販路を確保することが難しい。従って、約9,300t/年の澱粉粕を発生する様な規模すなわち約47,000t/年の澱粉を生産する規模のさつま芋澱粉工業の成立する見通しは得

られない。

#### (5) まとめ

さつまいも澱粉粕はさつまいも澱粉を製造した際の廃棄物であり、実際にこれを使っている地域では原料代はゼロである。また、これを原料とした固体発酵法によるクエン酸発酵はタンクの変わりに麹室を使って行うことができ設備費が大巾に低減できると共に労働集約的であり、ジンバブエの実状によく合致している。しかし、一方において、仮にさつまいも栽培の農業開発を行って原料を確保するとすれば、数年の年月をかけてかなりの資金を投入することが必要となる。更に、さつまいもの価格は結果的に0.25Z\$/kg以上になると思われるが、さつまいもの澱粉含有量は約27%であり、約70%の澱粉含有量のあるとうもろこし価格が0.27Z\$/kgであることと比較して澱粉材料としての競争力がなく、澱粉販路についての不確実性があまりにも高い。以上のことから総合して、さつまいもを原料とする澱粉工業およびそこから生じる澱粉粕を利用したクエン酸工業のジンバブエでの実現性は疑わしい。

#### (6) 液内発酵法

中国ではさつまいも全体を原料として液内発酵によるクエン酸の製造が行われている。従って澱粉粕ではなく、さつまいも全体を利用する方法も考え得るのではあるが、ジンバブエの場合、澱粉原料として考えた場合、先にも述べた様にメイズ（とうもろこし）に比して価格競争が期待できないこと、および3,000t/年のクエン酸を製造するにはこの場合でも約20,000t/年のさつまいもが必要なことから量の確保が現状ではむずかしい。

#### (7) 米ぬか

さつまいもあるいは、さつまいも澱粉粕を主原料とするクエン酸発酵では、米ぬかが菌培養のための栄養素として加えられている。3,000t/年のクエン酸製造のためには約1,000t/年の米ぬかが必要であるが、後述する様にジンバブエではその入手が困難である。このことも否定的要素として加えられる。

### 7-2-2 キャッサバ

#### (1) 栽培

キャッサバはかんばつに強いので、注目されている作物である。ジンバブエも繰り返しかんばつに苦しんでおり、キャッサバの栽培に注目した研究が進められている。低地草原地域ではARDA（農業開発公社）のチスンバンジェ（Chisunbanje）の農場で1981年、1984～85年の2回にわたってキャッサバの試験栽培が行われたが、土壌が適していないために不成功



に終わっている。現在、カリバ湖岸の町ビンガで生物資源利用者ネットワーク (Biomass Users Network) が国際協力の下に小規模な試験栽培を行っているが結論は得られていない。従って、ジンバブエにおけるキャッサバ栽培はまだ試験段階を脱しておらず、その実現は不確定である。

ジンバブエの土壌はほとんどの地域でカリ分に富んでおり、キャッサバ等芋類の栽培に適している。特に、カリバ湖岸の土地はこれ迄利用度が低く、砂地であるため、キャッサバ栽培に大きな期待が寄せられている。尚、キャッサバの栽培はアジア地域およびブラジルで特に盛んであるが、土地を荒らすことから警戒感も高まって来ている。特に、連作した場合急激に収量が落ちると言うことが各地で問題となっている。

## (2) まとめ

3,000t/年のクエン酸を製造するには澱粉粕を利用する場合、生芋で約 148,000t/年のキャッサバが必要である。キャッサバ全体を利用する場合には約 25,000t/年のキャッサバが必要である。ジンバブエで開発が順調に進んだとしても、この規模の生産量に達するには更に数年は要すると考えられる。また、さつま芋のところで述べた様に澱粉工業の成立については全く見通しが得られない。培養のための栄養素としての米ぬかの入手困難もさつま芋同様である。

## 7-2-3 ケーンモラセス

### (1) さとうきびの生産

ジンバブエにおけるさとうきびの栽培およびさとうきびからの粗糖の生産はトライアングル社 (Triangle Ltd.) およびヒッポバレーエステート社 (Hippo Valley Estates Ltd.) の2社が行っている。両社はいずれもさとうきび農園のほとんど (90%程度) を自社で所有しており、農園から粗糖に至る一貫生産を行っている。粗糖の生産量は両社で合わせて 460,000t/年 (1989年FAO統計) であり、両社は各々そのほぼ 1/2 を生産している。生産された粗糖の内 120,000t/年はZSR社 (ジンバブエ精糖会社) のハラレ工場へ、80,000t/年はZSR社のブラワヨ工場へ送られ精製される。残りは粗糖のまま輸出されている。

粗糖を生産する工程で粗糖の結晶を遠心分離機で分離するが、この時除去される廃液がモラセスである。モラセスの中には不純物と共にかかなりの量の非結晶糖分が含まれており、この糖分を利用してクエン酸発酵を行うことができる。

### (2) モラセスの問題点

ビートから砂糖を生産する工程でも同様にモラセスが発生するがこれはビートモラセスと

呼ばれており、ヨーロッパにおけるクエン酸工業の原料として広く用いられている。さとうきびを原料とするプロセスから発生するモラセスはビートモラセスに比較して色が濃く不純物が多い。このため、クエン酸発酵原料としては長い間不相当と考えられていたが、その後、菌種の改良、脱色精製工程の改善によって原料として用いることができる様になった。しかし、工場の排水規制が強化されて来たために排水処理設備のコストが問題となり他の原料への転換が起こっている。ケーンモラセスの色は製品に残り易く、品質低下をまねくので脱色プロセスに特別なコストがかかる点も問題とされる。

### (3) 価格および利用の現状

トライアングル社ではモラセスはガソリンに混入するためのエタノールの製造に用いられている。この他同社ではバガスを原料とする家畜飼料に味付け用として混入している。現在すでにこれらの用途のためにモラセスが不足しており一部をザンビアから輸入している。

ヒッポバレーエステート社では飲用アルコール、イースト等の製造に利用しており、余剰分はトライアングル社へ売却しているが、売却できる量は極めて限られている。両社のモラセスを使ったプロセスから出る廃液は灌漑用水と混入してさとうきび畑に還元している。

モラセスのザンビアからの輸入価格は200Z\$/tで、この価格は他の原料と比べて十分魅力的である。

### (4) 発酵技術

ケーンモラセスを利用した液内発酵法によるクエン酸発酵の技術は米国、中南米において利用されているが、日本では全く経験がない。この技術の利用には適切なクエン酸発酵技術を有する（日本以外にならざるを得ない）会社から技術の提供を受けなければならないが、技術を保有する会社が非常に閉鎖的な制約を設けており、技術提供を受ける可能性は小さい。また、独自に技術を開発することは極めて困難である。

バカスを担体として用い、モラセスをこれに浸透させて用いる固体発酵法の可能性については、類似のテストプラント（パイナップルジュース廃液）の例があるだけでまだ工業化技術が確立されていない。

### (5) 結論

ケーンモラセスは原料価格の点では十分魅力的であるが、発酵ノウハウを取得することが困難である。また、環境対策、脱色工程等を考慮に入れると設備費が他の原料を使った場合よりかなり高くなる。また、輸入原料にたよることになるので原料の安定供給に問題を生じる。

## 7-2-4 砂糖製造工程の中間製品

### (1) 粗糖

砂糖がクエン酸発酵の原料となることは実験によって確認されている。しかし、砂糖はモラセスに比べてかなり価格が高い。ZSR社の場合、精製糖の価格は1,000Z\$/tである。また、トリアングル社およびヒッポバレーエステート社の粗糖の価格は600Z\$/tであり、国際価格水準に保たれている。

### (2) 濃縮ケーンジュース

これより更に安価な原料としては、さとうきびからしぼったジュースを濃縮した段階のものが考えられる。この原料は市販されているわけではないので今のところ価格は定まっていないが、粗糖より若干安くなる可能性がある。この原料にはモラセスの成分が粗糖より多く含まれているが、この成分は *Aspergillus niger* 菌に対する栄養分として役立つのでその分粗糖を原料とした場合より有利である。

### (3) アフィネーションシロップおよびプロセスモラセス

この他、粗糖から砂糖を精製する過程で得られるアフィネーションシロップ (Affination syrup) と呼ばれるものがある。これは粗糖の結晶を温湯で洗浄して得られる糖液で、これから更に砂糖を再結晶させて分離した廃液がプロセスモラセスである。アフィネーションシロップは粗糖の洗浄をどの程度行うかによって品質と発生量を調節できる。現在、アフィネーションシロップは砂糖を回収する他、飲料用アルコールの原料としても使用されている。この糖液はモラセス分を含んでおり、これがクエン酸発酵菌の栄養分として役立つ。

アフィネーションシロップから得られるプロセスモラセスは粗糖の生産工程から得られるモラセスより不純物が少なく、良質であり、クエン酸発酵の原料となる。このモラセスも現在、すでに飲料用アルコール、イーストの生産に用いられており余剰はない。

### (4) まとめ

これらの原料の中で、濃縮ケーンジュースとアフィネーションシロップはクエン酸工業に必要な量を確保することができる。しかし、その価格は含有糖分を基準とした場合、ほとんど粗糖と変わらないものとなる。

粗糖および粗糖に近いこれらの原料を用いたクエン酸発酵は工業化されていない。これはモラセス、コーンスターチ等と比べて一般に原料価格が高いためである。輸出競争力のあるクエン酸工業を育成するための原料としては適しておらず、新しく技術を開発するだけのイ

ンセンティブがない。

### 7-2-5 米ぬか

固体発酵法では一般に米ぬかが菌培養のための栄養分として添加される。その量は芋粕の場合、粕重量の約10%であり決して少なくない。3,000t/年のクエン酸を製造する場合には芋粕が9,300t/年必要となるのでその約10%として約1,000t/年の米ぬかが必要となる。

ジンバブエにおいては米の生産は僅かに700t/年の程度であり、この米からとれる米ぬかは60t/年程度であって、とうてい3,000t/年のクエン酸製造に必要とする量には達しない。米ぬかを栄養源として使用する理由は米ぬかが他の化学品と比べて格段に安価であるためであるが、ジンバブエの場合米ぬかは輸入しなければならず、この特長が失われてしまう。米ぬかを輸出している国は今のところ見当たらないので適当な米の大量生産国、例えばパキスタン、タイ国等から輸入することになる。輸出入のシステムができていないので、今のところ価格の推定は難しいが輸送コストを含めると200Z\$/t以上になる可能性が高い。

### 7-2-6 バガス

固体発酵法では *Aspergillus niger* 菌の培養基を固体とし、これをパレットの中に収めて窠室の中の棚に並べて発酵させる。クエン酸発酵には酸素が必要なので、培養基は通気性がよく菌の生育に必要な炭水化物、栄養素と共に水分をよく保持できるものでなくてはならない。さつま芋、キャッサバの芋粕に含まれる繊維質はこの性質をよくそなえているが、チブク（低アルコールのローカルビール）を製造した粕（Massese）等は撥水性があつてこの用途に適さない。

芋粕の他に、固体発酵法の培養基担体に実際に用いられたことのあるものはさとうきびから砂糖ジュースを絞ったあとに残る繊維質、バガスである。この目的のためには通常バガスは乾燥・殺菌したものを微細片としたものと粗大片のものとを混合して用いている。特に、殺菌を十分に行うことが必要で雑菌が残ると発酵が阻害される。バガスはトライアングル社、ヒッポバレーエステート社のいずれにおいても発生しているが両社とも主としてボイラ燃料として使用している。また、トライアングル社では一部を牛の飼料を製造するのに用いている。燃料としてのバガスはすでに不足しており、不足分はワンキー産の石炭を燃して補充している。従って、バガスをクエン酸発酵用に用いるとすれば不足分をワンキー炭で補充してやればよいこととなる。この場合、バガスの価格は乾燥バガスの発熱量（約20MJ/kg）とワンキー炭の発熱量（約30MJ/kg）の比によって決まると考えられる。乾燥バガスの必要量は使用原料によって異なるが3,000t/年のクエン酸を製造するのに3,000～10,000t/年が必要である。

### 7-2-7 その他の副原料

クエン酸の抽出・中和・精製の過程で硫酸・消石灰・活性炭を含むいくつかの化学薬品が必要であるが、これらは液内発酵法と共通であるので次節で述べる。米ぬか以外にもシードの培養に栄養源とする化学品が必要である。これらについても次節で一括して述べる。

## 7-3 液体発酵法の原料

### 7-3-1 ジンバブエ産コーンスターチの問題点

#### (1) コーンスターチ

コーンスターチはとうもろこし (Maize) から製造される澱粉に対する呼称である。いろいろの原料からとれる澱粉の中で一般にコーンスターチが最も安価であるとされている。例えばコーンシロップは安価なコーンスターチを原料として生産されるために一般に砂糖より安価であり、米国等では広く清涼飲料水等の甘味料として利用されている。

#### (2) Food & Industrial

ジンバブエでは、デルタコンソリデーテッド社 (Delta Consolidated Ltd.) の一部門である Food & Industrial 社がコーンスターチを製造しているが、その販売価格は 1,341 ~ 1,558Z\$/t (60 円 ~ 70 円 /kg) の範囲であってかなり高価である。これは製造方法が旧式であること、生産量が合計 1,000t/月と極めて少ないこと、および同社の生産工程がコーン油、グルテンミール等の副産物を有効にとり出して利用していないためであると思われる。

#### (3) 黄色種と白色種

コーンスターチの原料となるとうもろこしには黄色種と白色種があるが、クエン酸用原料としてはどちらでも使用可能である。表 7-2 に GMB (穀物販売公団) が、提供した白色種および黄色種のとうもろこしの分析結果を日本食品分析表の値と比較して示す。ジンバブエ産とうもろこしが高品質であることがこの比較によっても明らかである。白色種は主として食料用に使われていて、黄色種の方は主として家畜の飼料用に使われている。黄色種の方が若干安価なのが通例であるが、GMB によると 1991 年度は両者同一価格となるもようである。

Table 7-2 Analysis of Zimbabwean Maize

(Unit : %)

Composition	Zimbabwean Maize *		Standard Tables of Food Composition in Japan.
	White	Yellow	
Water	11.5	11.2	14.5
Protein	6.8	7.9	8.6
Lipid	3.8	4.1	5.0
Ash	1.1	1.2	1.3
Carbohydrate	77.7	75.6	70.6
(Non-Fiber)			(68.6)
(Fiber)			(2.0)
Energy(kJ/100g)	1,509	1,509	1,463

\*These samples were provided by the GMB in June, 1991,  
and were analysed by the Japan Food Analysis Center in July, 1991.

#### (4) 公団による統制

これ迄、ジンバブエでは GMB（穀物販売公団）によるとうもろこしの統制取引が行なわれていて、GMB によるとうもろこしは特別な政府の許可がない限り GMB を通してしか取引できなかった。しかし 1990 年以降においてこの統制は次第に解除されることになっている。1991 年度における GMB による生産農家からの買入価格は 270Z\$/t であるが GMB による販売価格は 365Z\$/t である。GMB は全国にサイロを多数保有しており、とうもろこしの貯蔵を行って価格と供給の安定化を図っており、買入価格と販売価格の差はそのためのコストであると言っている。しかし、実際には GMB による統制は長期的には不安定を助長している。すなわち、GMB はかなりの長期にわたって過剰な量のとうもろこしを買入れ、その結果在庫量が累積して財政を圧迫し大きな赤字を出した。これは需給バランス点より高いところに価格が設定されたためと思われる。最近、GMB はとうもろこしの買入れ価格を安くする政策に転じたが、その結果、大規模経営農家のとうもろこしから他の換金作物への転換が起り、近隣諸国へのとうもろこしの輸出を止めなければならない事態になりつつある。

#### (5) 統制解除

1990 年 4 月以降、赤色種ソルガム、ミレットと共に黄色種とうもろこしの GMB による統制が解除され、黄色種とうもろこしは生産者が直接自由に販売してよいこととなった。

ジンバブエのコマーシャルファーマーズ（商業農家経営）による平均的収穫率は 3-5t/ha

であるが、専業化された大規模農場のとうもろこしの収穫率は10～12t/haと極めて高く、とうもろこしの最大輸出国である米国の7t/haをしのぐ水準にある。従って、専業大規模農場による国際競争力は十分であり、この統制解除を契機としてとうもろこし原料に依存する産業に好ましい状況が生まれることとなろう。

1991年度におけるGMBの黄色とうもろこしの買入価格は270Z\$/t(90US\$/t相当)であるが、米国での価格は111US\$/t(1989年FAO統計)であるので、270～330Z\$/tの価格になるものと推定される。

#### (6) 製品コスト

コーンスターチは一般に中間原料として利用されており、市場へはあまり出回っていないので価格情報に乏しいが、米国等ではコーンスターチのコストの約7割が原料メイズのコストであると言われており、コーンスターチのコストは約200US\$/t(約600Z\$/t)であると推定される。

#### (7) ジンバブエ産コーンスターチの問題点

現在、ジンバブエで生産されているコーンスターチは価格が高いと言うことの他に品質にも問題がある。Food & Industrial社には現在2系列の生産ラインがありその製造プロセスはほとんど同じであるがハイドロサイクロンによる洗浄工程に差異があり残存蛋白質の量が異なっている。しかし、いずれの系列の製品も日本のコーンスターチに比して残存蛋白質量が多い。1990年にサンプルを日本に持帰って行った発酵試験では残存蛋白質量のより多いコーンスターチのサンプルを使って行い、試験結果が思わしくなかった。残存蛋白質量が低いサンプルは1991年6月に持帰って発酵試験を行っておりその結果は第10章で述べる。

Food & Industrial社のコーンスターチ生産量は合計1,000t/月であるが、この内500t/月がサンプル2に相当する製品で、これはコーンミルク(水溶液)の状態のまま同社でコーンシロップを製造するのに全量を使用している。サンプル1に相当する製品500t/月は乾燥粉末にして外販している。従って、現在のところFood & Industrial社には3,000t/年のクエン酸を製造するのに必要な約4,100t/年のコーンスターチを供給する余力はない。もし、同工場にコーンスターチの供給を求めるとすれば更に生産ラインを増設する必要を生じる。

近代化された工場ではコーンスターチの製造にウェットミルと呼ばれる方法を採用しているが、Food & Industrial社の工程はドライミル法によっている。両方法の大きな差異はウェットミル法がとうもろこしをそのまま薄い亜硫酸溶液に浸漬した後、ウェット状態で粗砕を行って油脂分を大量に含む胚芽を除き、更に微砕して外皮等の繊維を除き、遠心分離等の方法で蛋白質を除いて澱粉ミルクを得、これをサイクロンで洗浄して精製するのに対し、Food

& Industrial 社の方法は乾燥とうもろこしを乾燥状態のまま細かく粉碎し、粉碎したものを重硫酸液に浸漬し、その後、繊維分を濾過によって分離し、油脂、蛋白をサイクロンで洗浄除去する方法によっている。このため、油脂、蛋白は洗浄水中に失われる。また、洗浄前の油脂、蛋白分が多いためこれらが洗浄後もコーンスターチ中に残存する率が高い。Food & Industrial 社はベルギーからの技術導入によって、ウェットミル法の導入を図る計画を持っているが、実現の時期についてはまだ定まっていない。

コーンスターチはウェットミル法によって生産されたものの方が品質が高く、かつ副産品（胚芽からとれるコーン油、蛋白分からとれる家畜飼料等）が効果的に回収されるのでコストを下げるのに役立つ。コーンスターチはウェットミル法で製造されたものが使用できる様になることが望ましい。尚、コーンスターチの製造技術およびその用途の概要について附録Ⅲに説明したので参考とされたい。

(参考) ウェットミル法によるコーンスターチのコストの推定

以下に次を仮定した計算例を示す。

- 1) 原料とうもろこしの澱粉含量 ; 70%
- 2) とうもろこしの価格 ; 300Z\$/t
- 3) 澱粉工場の建設費 ; Z\$30,000,000
- 4) 経費率 ; 20%
- 5) 人件費 ; 平均賃金毎月 Z\$2,500 とし 15 人
- 6) 生産 ; 100t/ 日の原料を供給し、年間 335 日  
操業、生産量 25,500t/ 年

資本費	$30,000,000 \times 0.2$	$=$	6,000,000
人件費	$2,500 \times 12 \times 15$	$=$	450,000
原料費	$100 \times 335 \times 300$	$=$	10,050,000
用役費（電気・水）			410,000
<hr/>			
合計年間コスト			16,910,000
副産品クレジット			3,100,000
<hr/>			
			13,810,000

コーンスターチのコスト：  $13,810,000/25,500=542$  (Z\$/t)

上述の単価は工場生産コストの概算値を示し、詳細検討の結果に基づいて再計算されるべきものである。輸送費、管理費、コンテインジェンシーは、含まれていない。



## 7-3-2 発酵用副原料

### (1) アミラーゼ

クエン酸を製造するためには澱粉を先ず糖に転化し、次いで生成した糖をクエン酸に転化する。従って、多くの場合、アミラーゼ(糖化用酵素)を使って澱粉を糖化するプロセスが設けられている。しかし、磐田化学のプロセスでは糖化が *Aspergillus niger* 菌によってクエン酸発酵に先行して部分的には並行して行われるので、糖化のためのアミラーゼを必要としない。

一方、糖化プロセスに先立ち澱粉を水に溶解することが必要である。コーンスターチは重合度の大きい分子を含んでいて水に溶けにくい。そこで、少量のアミラーゼを加えて分子鎖を分断し、水に溶け易くすることが必要となる。このプロセスを液化と呼んでいる。磐田化学のプロセスにおいても 3,000 トンのクエン酸を製造するためには、液化用として約 4 トンのアミラーゼが必要であり、液化用に  $\alpha$ -アミラーゼを輸入する必要がある。

### (2) 硝酸アンモニウム ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )

*Aspergillus niger* のための窒素栄養分として硝酸アンモニウムを使用する。90t/年程度の量が必要である。硝酸アンモニウムはジンバブエではセーブルケミカル社 (Sable Chemical Industries Ltd.) が製造しており、その生産量は 220,000 ~ 240,000t/年である。ほとんどが農業用に肥料として使用されているが、90t/年程度の転用が問題になることはない。

### (3) リン酸二水素カリウム ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )

*Aspergillus niger* のリンおよびカリ栄養源としてリン酸二水素カリウムを用いる。醸造用に主として用いられるものでジンバブエでは製造されていない。約 50t/年が必要と考えられ輸入の必要がある。

### (4) 硫酸マグネシウム ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

培地のマグネシウム分調整用として用いる。5 t/年程度を必要とすることがある。ジンバブエでは製造していないので輸入の必要がある。

### (5) その他の微量金属分調整用化学品

硫酸亜鉛 ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )、硫酸銅 ( $\text{Cu}_4\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )、硫酸マンガン ( $\text{MnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )、硫酸鉄 ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 等が培地の金属成分微調整用として必要な場合がある。いずれも 500kg/年以下の量であり、輸入によることとなる。

### 7-3-3 クエン酸精製用副原料

#### (1) 硫酸：(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

ジンバブエではジンフォス社 (Zimbabwe Phosphate Industries Ltd.) が輸入硫黄および硫化鉄鉱を原料として硫酸を製造している。金属分については Fe 30ppm 以下、Mn 1PPM 以下、Cd トレース、Pb 5ppm 以下、As 2ppm 以下、Cu 10ppm 以下に抑えられている。100 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> に換算して生産量は 155,000t/年である。3,000t/年のクエン酸製造に必要な量は約 3,000t/年である。従って、質、量共に問題はない。

#### (2) 消石灰

表 7-3 に調査団がジンバブエより持ち帰ったサンプルの分析値、ジンバブエで入手した資料、日本の標準品および米国で刊行された文献による調査結果をまとめて示す。表中のサンプル番号 1 および 5 は、Z S R 社が砂糖の精製工程で使用しているものである。2 は G & W 社が同社の量産品のサンプルを分析した結果の一例である。3 および 4 は G & W 社の製品を調査団が持ち帰り分析したものである。6 は A.I. Davis 社より提供された試料を分析したものである。7 は米国文献 (Encyclopedia of Chemical Technology 3rd Edition) による米国での市販品の品質である。8 は日本のクエン酸メーカーがクエン酸製造用に実際に使用している消石灰の分析結果である。分析項目に若干の差があるため “—” で示した空欄の部分がある。尚、表では分析値を消石灰の主成分である Ca(OH)<sub>2</sub> ではなく CaO で表示しているが、これは試料中の全カルシウムの量を測定し、CaO に換算して表示したものであり、消石灰中に表示したように多量の CaO が含まれている訳ではない。一般に、消石灰中には主成分の Ca(OH)<sub>2</sub> 以外に少量の CaO および CaCO<sub>3</sub> が含まれるが、試料の純度が充分高い場合には、便法として CaO 含量に分子量 (CaO : 56.08、Ca(OH)<sub>2</sub> : 74.09) の比 1.321 を乗じることにより Ca(OH)<sub>2</sub> 含量を算出できる。ただし、後述するように、ジンバブエおよびザンビアの消石灰は純度が低いので、上記の便法を用いることには問題がある。

Table 7-3 Analysis of Slaked Lime

(Unit: %)

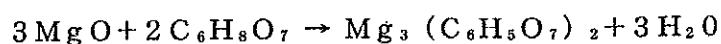
Produced Country	Zimbabwe				Zambia		U.S.A.	Japan
Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8
	Used by ZSR	G & W Ordinary	G & W No. 1	G & W Chemical	Used by ZSR	NDOLA	High Calcium	Used by Iwata
CaO	66.01	49.52	66.93	63.87	66.48	71.84	71 - 74	73.95
MgO	0.80	7.74	0.88	0.64	0.87	0.87	0.5 - 2	0.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.97	0.54	1.37	1.63	0.09	0.10	0.3-0.7	0.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	7.30	0.29	0.21	0.20	0.23	(as R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.15
SiO <sub>2</sub>	1.15	6.21	3.97	6.97	0.67	0.77	0.2-0.5	0.14
LOI	29.12	26.77	24.81	24.97	30.96	25.67	---	---
CO <sub>2</sub>	11.26	---	5.40	8.57	14.90	---	0.3-0.7	---
H <sub>2</sub> O	17.86	---	19.41	16.40	16.06	---	24 - 25	---
Price (Z\$/t)	229.69	187.2 Ex. Work			308		48-55US\$/t Bulk	

尚、灼熱減量 (Loss of Ignition: LOI) は水分 (付着水と  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$  の反応により生成する水分) と二酸化炭素 ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  の反応で生成する) の合計量を表す。

消石灰は発酵後の粗製クエン酸を中和し、水に不溶のクエン酸カルシウムに変えて沈澱・分離するために使用される。従って、クエン酸と結合して水に可溶性の物質を生成する成分が消石灰中に含まれていると、クエン酸がろ過工程で液中に残りクエン酸の回収率が低下する。また、消石灰中に含まれる不純物が溶けずにクエン酸カルシウム中に残ると次のプロセスに不純物として持ち込まれる。

消石灰に含まれる不純物の内、クエン酸と反応して水に可溶性の物質を生成しクエン酸の回収率を低下させる成分はマグネシウムである。消石灰中のマグネシウム含量は製品収率に影響を与えるので、原料の消石灰の選定に当たっては価格とマグネシウム含量を比較検討する必要がある。一例として、MgOを7.74%含む消石灰(表7-3中の2のサンプル)を使用した場合のクエン酸の損失を以下に計算する。

3,000トンのクエン酸を製造するのに必要な消石灰の量は約2,500トンであるので、MgOを7.74%含む消石灰を使用すると  $2,500 \times 0.0774 = 193.5$  トンのMgOが投入されることになる。MgOは以下の反応でクエン酸と反応してクエン酸マグネシウムを生成する。



分子量はそれぞれ、MgO: 40.3、 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ : 210.14、 $\text{Mg}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$ : 451.17であるので、生成するクエン酸マグネシウムの量は  $193.5 \div 3 \div 40.3 \times 451.17 = 722$  トンである。

クエン酸マグネシウムの水に対する溶解度は 25℃では 1.8%で、中和反応は 10%のクエン酸水溶液で行われるので水量は約 30,000 トンである。30,000 トンの水に対しクエン酸マグネシウムは  $30,000 \times 0.018 = 540$  トン溶解可能であるので、生成した 722 トンのクエン酸マグネシウムの内 540 トンは水に溶解し損失となる。クエン酸マグネシウム 540 トンはクエン酸一水和物に換算すると、分子量の比から  $540 \div 451.17 \times 210.14 \times 2 = 503$  トンとなり、全体の約 17%が失われる。クエン酸の価格を 5,000 Z\$/トンとし、損失を金額に換算すると Z\$ 2,515,000 となる。この損失を消石灰の価格差で補うことは不可能である。この損失を補うためには、消石灰の値差は  $503 \text{ トン/年} \times 5,000 \text{ Z}/\text{トン} \div 2,500 \text{ トン/年} = 1,006 \text{ Z}/\text{トン}$  となる。

仮に MgO を 1%余分に含む場合を計算すると約 174 Z\$/トン以上の価格差が必要となるので、消石灰の選定に当たっては、価格と MgO 含有量を慎重に検討すべきである。

一方、表 7-3 からも明らかのように、ジンバブエ産の消石灰は何れも鉄の含量が多い。少量の鉄は食品としては無害であるので、英国規格以外はクエン酸中の鉄分の量を具体的に規制していないが、鉄は全ての規格で規定されている製品の色を損なう要素として極めて危険である。特に、輸出および多国籍企業への販売を意図する場合には、僅かな製品の色の差で大きく競争力が減退するので慎重な対応が必要である。

仮に、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が 1%含まれる場合を考えると、 $2,500 \times 0.01 = 25$  トンの Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が消石灰中に含まれる。これは鉄 (Fe) に換算すると 17.5 トンに相当する。これが全量製品に混入するとすると  $17.5 \div 3,000 = 0.0058 = 5,800\text{ppm}$  となる。英国規格では鉄分 50ppm 以下を規定しているが、上記の値は英国規格の 100 倍以上である。

クエン酸の精製工程で粗製クエン酸に消石灰を投入する時には、最初は液の酸性が強く消石灰中の酸化鉄はクエン酸液中に溶解すると考えられる。しかし、液が中性からアルカリ性になると鉄は不溶性となる。また、クエン酸に一旦溶けた鉄も水酸化鉄等になりクエン酸カルシウムと共に沈澱すると考えられる。従って、粗製クエン酸液をどの程度まで中和するかによっても異なるが、消石灰中の鉄分の一部が製品中に持ち込まれる。鉄分を沈降させないためには液を弱酸性に保つことが必要であるが、中和を酸性の段階で終了させるとクエン酸の回収率が低下する。通常工業的には pH 5.5 で反応を完了するようコントロールしている様である。

原料に含まれる鉄分の除去のために、クエン酸精製工程でイオン交換樹脂を用いる方法が実用化されており、消石灰から混入した鉄分に対しても同法を適用することが可能である。しかし、この場合にはイオン交換樹脂を輸入しなければならないこと、設備費が増大することの不利を免れない。日本でクエン酸の製造に使用されている消石灰は食品添加用の品質のもので、表 7-3 に分析結果の一例を示してある。なお、この消石灰を使用している工場は

イオン交換樹脂を使用していない。表示した日本の消石灰が理想的な品質であるわけではないが、ジンバブエ産の消石灰は鉄の含量が高くクエン酸製造原料としては不適である。鉄の含量は少なくとも0.1% ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ として)以下であることが必要であると思われる。

また、表7-3によると、ジンバブエ産およびザンビア産の消石灰は何れも  $\text{CO}_2$ 含量が多い。消石灰は  $\text{CaCO}_3$ を主成分とする石灰岩を焼成して生石灰 ( $\text{CaO}$ を主成分とする)を作り、これに水を加えて製造される。従って、消石灰中に  $\text{CO}_2$ が多く含まれると言うことは焼成時に石灰岩の一部が生石灰にならないで未反応のまま残っていることを意味する。この原因として、焼成プロセスの管理(温度および時間)が不十分であることが疑われる。また、アルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、シリカ ( $\text{SiO}_2$ )の多いことも指摘される。アルミナ、シリカは共に土砂を構成する成分で、原料自体が良くないことも考えられるが、原料とした石灰岩に土砂が混入していることを疑わせる。アルミナ、シリカは溶解しにくいので、クエン酸カルシウムと共に次のプロセスに持ち込まれ、製品の灰分を高める危険が大きい。

以上を総合して考えると、ジンバブエ産の2の製品は  $\text{MgO}$ が多すぎ製品回収率が極めて低くなること、1~4の製品は鉄分が多く製品中に混入し着色の危険が大きいことからクエン酸製造用としては不適である。ザンビア産の5と6はジンバブエ産よりも良質であるが、石灰岩の焼成が不十分で、アルミナ、シリカ等の不純物もかなり含まれている。従って、ザンビア産に対しては原料の管理を更に厳密に行い、石灰岩の焼成温度および時間を良く制御することが必要である。ジンバブエ産の消石灰の場合、鉄分を下げても色を白くすることが必要である。その方法としては、焼成時に石灰岩に食塩 ( $\text{NaCl}$ )を混入して、鉄分を塩化鉄に変え高温で揮散させる方法があり、ジンバブエの消石灰メーカーによる検討を要望する。

消石灰の価格は米国の例を示した様に、ジンバブエ産に比較して外国産のものの生産地価格は若干安値であることが予想される。従って、当面はできるだけ輸送コストのかからない地域から適切な品質の消石灰を輸入して使用し、ジンバブエ産のものの品質が向上した段階で国産品に切り替えることが良策である。

### (3) 活性炭

クエン酸を精製する工程でクエン酸溶液を脱色するために活性炭が用いられる。活性炭はクエン酸石灰を硫酸で分解してクエン酸溶液にした状態で加えられ、攪拌して色素等を吸着した後、ろ過して除去される。この目的で用いられる活性炭には通常ヤシ殻等を原料として作られた粉状のもの(粒度  $150\ \mu\text{m}$ 以下)が使用される。3,000t/年のクエン酸を製造するのに必要な活性炭の量は約30t/年である。

ジンバブエでは、ZSR社が砂糖の脱色用として416t/年の骨炭を生産している。この骨炭

は粒状でヘルショッフ式の炉を用いて再生使用している。一部は外販をしていて価格は2,000 Z\$/tである。骨炭は炭素の含有量が約10%で、そのうち約75%はリン酸カルシウムで2~9%の炭酸カルシウムも含んでいる。骨炭は骨の多孔性を利用して活性を得ており、炭素がリン酸カルシウムの組織を覆った形となっている。リン酸カルシウムは硬くて粉状に加工することが難しいので590~2,380 μmの粒になっていて、先に述べた粉状活性炭の様な使い方はできない。また、自然の骨の組織によって細孔を得ているため、比表面積が70~150 m<sup>2</sup>/g位である。これに対して、粉状の活性炭は700~1,300 m<sup>2</sup>/gの比表面積がある。このため、同じ用途に使うと骨炭は粉状活性炭に比べてかなり多くの量が必要となる上に脱色のための時間が長くなる。骨炭には、繰り返して再生できる特長があり、他にも砂糖を精製する工程では利点があるため、比較的砂糖精製工場ではよく使われているがそれ以外の工程ではほとんど使われていない。

クエン酸の精製工程で骨炭を使った例は報告されていないので、推定による比較になるが、骨炭を使うと、炭酸カルシウムがクエン酸と反応してクエン酸カルシウムとなり沈降するので、この分がろ過助剤に混入して損失となる。また、比表面積の差等によって、粉状活性炭を使う場合の10倍近くの量が必要となろう。粉状活性炭の価格は880Z\$/tであるから、粉状活性炭を使った方が有利である。更に、粒状のものを使うための容器(タンク)と再生処理炉が必要であり、その運転は粉状活性炭を使う場合に比して繁雑である。

#### (4) ろ過助剤

発酵生成したクエン酸をろ過するときには珪藻土系の助剤を使用する。クエン酸に溶解する成分を含まず白色に近い色で水溶分0.5%以下のものが必要である。ジンバブエでは産出しないので輸入する必要がある。3,000t/年のクエン酸を生産するためには約330t/年が必要である。

#### (5) 黄血塩 ( $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ )

黄血塩はクエン酸中の鉄分を除去して脱色するのに用いられる。モラセスを原料として使用する時には必要であるが、コーンスターチを原料とする場合には必要としない。

### 7-3-4 包装用材料

クエン酸はほとんどの場合、一分子の結晶水を含むクエン酸一水和物(CAM; Citric acid monohydrate)として販売されるが、顧客によっては無水クエン酸が求められることもある。どちらも通常25kgまたは50kg詰めの袋に入れて販売される。クエン塩は吸湿性が有ることおよび食品添加物であるため異物の混入を極力防ぐ必要があるため、良質な包装材料を使用

することが販売政策上重要である。

ポリエチレンまたはポリプロピレンの内袋1枚を含み、5重になった紙袋を使うことを提案する。

ジンバブエには穀物、砂糖等を包装するための袋を製造している工場がいくつかあり、潜在的にはこれらの工場はほとんどすべてがクエン酸用の袋を製作できる可能性をもっている。しかし、既存の製品の中にそのまま使えるものはない。既存の製袋会社の中で、クエン酸用の袋をつくるメーカーとして、Hunyani Paper and Packing社のHunyani Paper Sacks部門が有力である。





## 第8章 プラントサイトおよびインフラストラクチャ





## 第8章 プラントサイトおよびインフラストラクチャ

### 8-1 プラントサイト

#### 8-1-1 クエン酸工業の特質

クエン酸工業は化学工業の中では比較的規模の小さい工業である。第11章で述べる様に、本計画の年間生産量は3,000トンである。クエン酸の価格を5,000 Z \$ / トンとすると、年間売上額はZ \$ 15,000,000となる。コーンスターチを原料とする液内発酵法を採用すると仮定すると、必要な原料の量は年間約4,100トンである。一日当たりの原料消費量は、年間333日稼働とすると約12トンであり、輸送・貯蔵に大きな問題が生じることはない。電力需要は約1,500 kW、水の消費量は約1,300 m<sup>3</sup>/日と推定されている。従って、若干の工業基盤の整備された都市であればクエン酸工業を立地することが可能である。

クエン酸工業の中心となる技術は発酵技術であり、この分野の専門技術者が必要である。また、技術者以外にも若干名の比較的教育程度の高い熟練した技能者が必要である。液内発酵法は装置産業的な面が強く、必要となる運転員の数は少ない。なお、固体培養法を採用する場合には、運搬作業等のために多数の非熟練労働者を必要とする。

クエン酸の国際市場は非常に厳しい競争の下にあり、品質と価格に対する要求は極めて厳しい。

クエン酸工場からは、BODの高い廃水が排出される。また、少量ではあるが加熱のための蒸気を必要とするのでボイラーが必要であり、排煙が排出される。しかし、対策は容易であり、排出量も少ないので公害発生の危険は少ない。

発酵プロセス(液内発酵法の場合)では発酵槽に常時空気を送り、微生物に十分な酸素を供給することが必要である。停電により発酵槽への通気が、たとえ5分間であっても、停止すると微生物の性質が変化し、クエン酸生産能力が大幅に低下して、大きな損害を招く恐れがある。従って、電力供給の信頼性が高いことが求められる。

主原料としては、第7章に述べた様に、大別して以下の5種類が考えられる。

1. さつま芋の澱粉粕
2. キャッサバの澱粉粕
3. コーンスターチ

4. さとうきびから粗糖を得る工程で得られる濃縮ジュース、粗糖およびモラセス。
5. 粗糖から精製糖を得る工程で得られるモラセスおよび工程の途中で得られるシロップ。

更に、比較的大量に必要な副原料として、硫酸と消石灰がある。これらは重量的には各々主原料に近い量が必要である（第7章参照）。主たる製品はクエン酸であることは勿論であるが、重量的にはこれを越える量の石膏が生産される。石膏はセメントへの混入、石膏ボードの製造、肥料へ混入して農業用の土質改良材等に利用されている。しかし、需要には変動があるため、貯蔵が必要である。

プラントサイトの選定は、以上のようなクエン酸工業の特質を念頭に置いて行う必要がある。

### 8-1-2 ジンバブエの地理的特徴と区分

ジンバブエは内陸国であり、海港を持たない。また、ザンベジ (Zambezi)、リンポポ (Limpopo)、サビ (Save) 等の主要河川は大型船舶の航行に適していない。このため、海外との交易はモザンビークまたは南アフリカ共和国を通じて行われる。資材の輸送は主として鉄道により行われている。詳しくは8-2-6項にて述べる。

ジンバブエの主要部分はいベルト (高地草原) と呼ばれる標高 1,000 ~ 1,500 m の高地である。この地帯の北東部に当たるハラレ市を中心とするマシヨナランド (Mashonaland) は比較的降雨量も多く、とうもろこし、小麦などの穀物を中心とした農業の盛んな地域である。はいベルトの南西側に隣接するグエル (Gweru)、カドマ (Kadma) 等の都市を有するミッドランド (Midland) は農業と共に鉱工業の盛んな地域である。これより南方の、ブラワヨ市を中心とするマタベレランド (Matabeleland) は乾燥地で、牧畜業が盛んである。マタベレランドの北西端にあるワンゲ地区からは石炭が産出する。モザンビークおよび南アフリカ共和国と国境を接する南部は、ジンバブエでは比較的高度の低い (標高 350 ~ 500 m) 土地で、ローベルト (低地草原) と呼ばれている。この地域はマシング州 (Masvingo) とマタベレランド州の一部およびマニカランド州 (Manicaland) の一部にまたがっている。中心都市はマシング市 (人口約 3 万) であるが、市自体は標高 1,070 m の高地にある。低地の中心都市はチレジ (Chiredzi) 市 (人口約 1 万、標高 429 m) である。この地域は全体として低雨量で乾燥しているが、チレジ近郊にはヒッポバレー (Hippo Valley Estate) とトライアングル (Triangle Estate) の 2 つの砂糖工場があり、工場周辺では灌漑によるさとうきびの生産が行われている。また、東側のサビ河の流域では ARDA (農業開発公社) が中心となって、農業開発を盛んに行っ

ている。また、灌漑による小麦、綿花の栽培が行われている。

ジンバブエの東部にあるマニカランドの大部分は、標高 1,500 m を越える山岳地帯になっており、雨量も豊富でミモザを中心とした植林、コーヒー、茶、ブドウ、オレンジ等の果実を産出する。ムタレ (Mutare) 市 (人口約 7 万人、標高 1,120 m) がその中心都市である。

ザンビアとの国境に近いザンベジ河流域の北部地域は、標高 1,000 m 以下の比較的高度の低い地帯となっている。この地域は未開の乾燥地であり、標高 620 m のピンガ (Binga) 村を拠点に開発が開始されつつある。

### 8-1-3 原料生産地とクエン酸工業の立地

一般に、工場の立地条件としては原料の生産地に近いことが有利であるので、最初にこの観点からプラントサイトを検討する。

#### (1) さつま芋の澱粉粕の場合

さつま芋の澱粉粕はさつま芋から澱粉を製造した残渣である。しかし、今のところジンバブエにはさつま芋から澱粉を製造する工業は存在せず、実現可能性も薄い。この事は第 5 章および第 7 章で論じたとおりである。さつま芋の産地あるいは栽培可能地域は、マシヨナランド、ミッドランドおよびマシゴから南へ下がったトケ (Tokwe) 河流域地帯である。サビ河流域は土質がさつま芋の生育に適さない。従って、原料芋の産地に澱粉工場とクエン酸工場を隣接して建設するとすれば、ハラレ市とその周辺都市およびミッドランドの諸都市が候補となり得る。一方、ローベルト地帯では砂糖工場のあるトライアングル、ヒッポバレー周辺もさつま芋生産地となり得るので、砂糖工場に付設してクエン酸工場を建設することも検討に値する。

#### (2) キャッサバの澱粉粕の場合

キャッサバは第 7 章にて説明したように、サビ河流域のチスンバンジ (Chisumbanje) で試行的栽培が行われたが成功していない。現在、ザンベジ河岸のピンガで試験栽培が行われている。しかし、この地域は全く未開発である。ピンガがこの地域の行政の中心であるが、小さな村である。ピンガへは巾 3 m の舗装道路が、ワンゲ (Hwange) 側からはデーテ (Dete) から、ハラレ側からはカロイ (Karoï) より通じている。電力はワンゲからシマンガニ (Simangani) を経て 33 kV ラインが延長されている。鉄道は近くを通過していない。カリバ (Kariba) 湖の船行はカリバダムの方には可能であるが、急流であるためビクトリアフォール (Victoria Falls) 市へさかのぼることはできない。村には水道の設備がない。ピンガから最も近い都市はワンゲ市で、ワンゲまでの距離は道路沿いに約 150km である。

工場をビンガに建設するとすれば、かなりのインフラストラクチャの整備が必要である。一方、ワンゲは人口約4万人、標高760mの都市で、炭鉱および発電所がある。ワンゲには鉄道も来ていて、インフラストラクチャも良く整備されている。従って、原料を輸送する必要があるが、ビンガと比較すると、ワンゲに立地するほうが合理的である。

### (3) コーンスターチの場合

コーンスターチを原料とする場合は、ハラレ市が適当である。詳しくは8-1-4項にて説明する。

### (4) さとうきびから粗糖を得る工程で得られる濃縮ジュース、粗糖およびモラセス

ジンバブエにおけるさとうきびの生産は、先に述べたように、トライアングルおよびヒッポバレーの両地区に限られている。従って、廃モラセスを原料にする場合は既存の砂糖工場に隣接してクエン酸工場を建設することになる。双方の工場から原料供給を受ける必要はないので、原料供給を受ける何れか一方の工場に隣接または工場内に付属してクエン酸工場を建設することになる。既存の砂糖工場に対するインフラストラクチャは非常に良く整備されている。両工場には、バガスを燃料とするボイラー、このボイラーから蒸気の供給を受ける自家発電設備がある。従って、砂糖工場から蒸気および電力の供給を受けることが期待できる。

### (5) 粗糖から精製糖を得る工程で得られるモラセスおよび工程の途中で得られるシロップ

製糖工場から得られる原料を使用する場合には、製糖工場の近くに工場を立地することが有利である。現在、製糖工場はハラレ市とブラワヨ市にある。両市および両製糖工場に立地条件上、本質的な差異はない。ハラレ市の方が有利な点は、副原料である硫酸を生産する工場が、ハラレにあることである。一方、ブラワヨ市が有利な点は主要な輸出対象国になる南アフリカ共和国に近いことである。現在のところ、水の供給についてはハラレの方が優れているが、ブラワヨも近く改善される見通しである。

## 8-1-4 コーンスターチを原料とする場合

コーンスターチは現在のところハラレ市の衛星都市であるチトゥングイザ (Chitungwiza) 市にあるフードアンドインダストリアル社 (Food & Industrial) で生産されている。しかし、その生産能力は小さく、クエン酸工場に供給する十分な余裕はない。従って、コーンスターチの生産については、この工場を拡張するか、他の工場を建設するかの何れかが必要となる。

コーンスターチの原料はとうもろこし (メイズ) である。とうもろこしはジンバブエの人々

の主食であり広く栽培されているが、商業的な栽培はマシヨナランドが中心である。州毎のとうもろこしの生産量(1983年)を表8-1に示す。表中、西マシヨナランドが最も生産量が多く、中央マシヨナランドがこれに次いでいる。面積当たりの収量は中央マシヨナランドが最も高く、北マタベレランド、西マシヨナランド、東マシヨナランドがこれに次いでいる。

**Table 8-1 Maize Production of Commercial Farms by Province In 1983**

Province	Production(t)	Area(ha)	Yield(t/ha)
Manicaland	9,914	9,862	1.005
Mashonaland West	278,817	121,889	2.287
Mashonaland East	107,719	48,457	2.223
Mashonaland Central	174,344	56,287	3.098
Matabeleland North	6,885	2,549	2.701
Matabeleland South	2,467	2,305	1.070
Midland	15,202	18,119	0.839
Masvingo	3,584	12,282	0.292

Source: Statistical Yearbook of Zimbabwe 1989

東マシヨナランドはハラレ市を中心とした州で、チトゥングイザ、マロンディラ(Marondera)、ノートン(Norton)等の都市がある。西マシヨナランドはハラレ市の北西方向にある州で、チノイ(Chinhoyi)市が中心都市である。チノイ市の近くにあるバンケット(Banket)村は、とうもろこしを原料としてブタノールを製造する計画があった時、工場のサイト候補地となっていた。中央マシヨナランドはハラレの北方に位置しており、ビンドウラ市が中心都市であり、ビンドウラ(Bindura)よりやや西よりの位置にグレンデール(Glendale)村がある。表8-1の統計から明らかなように、とうもろこしの商業的生産地はハラレより北西方向に広がった地域(ハラレ市周辺を含む)であって、それ以外の地域では食糧としてほとんど消費され余剰は少ない。従って、コーンスターチ工場を建設するとすれば、ハラレ市とその周辺の都市およびチノイ/バンケット、ビンドウラ/グレンデール等のハラレの北および北西にある都市が候補になる。

コーンスターチ工場の適正規模については十分に検討されていないが、経済的に有望な最小規模はとうもろこし100トン(1日)で処理する程度の容量ではないかとみられている。この基準で考えると、ミッドランド州の原料供給能力は充分ではない。従って、グエル、クェクェ(Kwe Kwe)、カドマ等のミッドランドの都市は、インフラストラクチャが良く整備されているが、適切な候補地とはいえない。ブラワヨ、マシゴ、ムタレ、ワンゲ等の諸都市は



とうもろこしの主要生産地から遠いので、候補地の対象とはならない。

図8-1はジンバブエの農産物の産地を示す説明図である

同図によれば、ハラレ、チノイ、ピンドウラの3市が、とうもろこし生産地の中心に位置していることが良く判る。なお、マシヨナランドのとうもろこし生産地帯の地図を図8-2に示す。

ハラレ市の西側40kmのところにあるノートンにGMB(穀物販売公社)の大型サイロがある。またバンケットおよびグレンデールの西10kmのコンセッションにGMBのサイロがある。これらのサイロは何れも鉄道の沿線にあり、輸送は鉄道によっている。

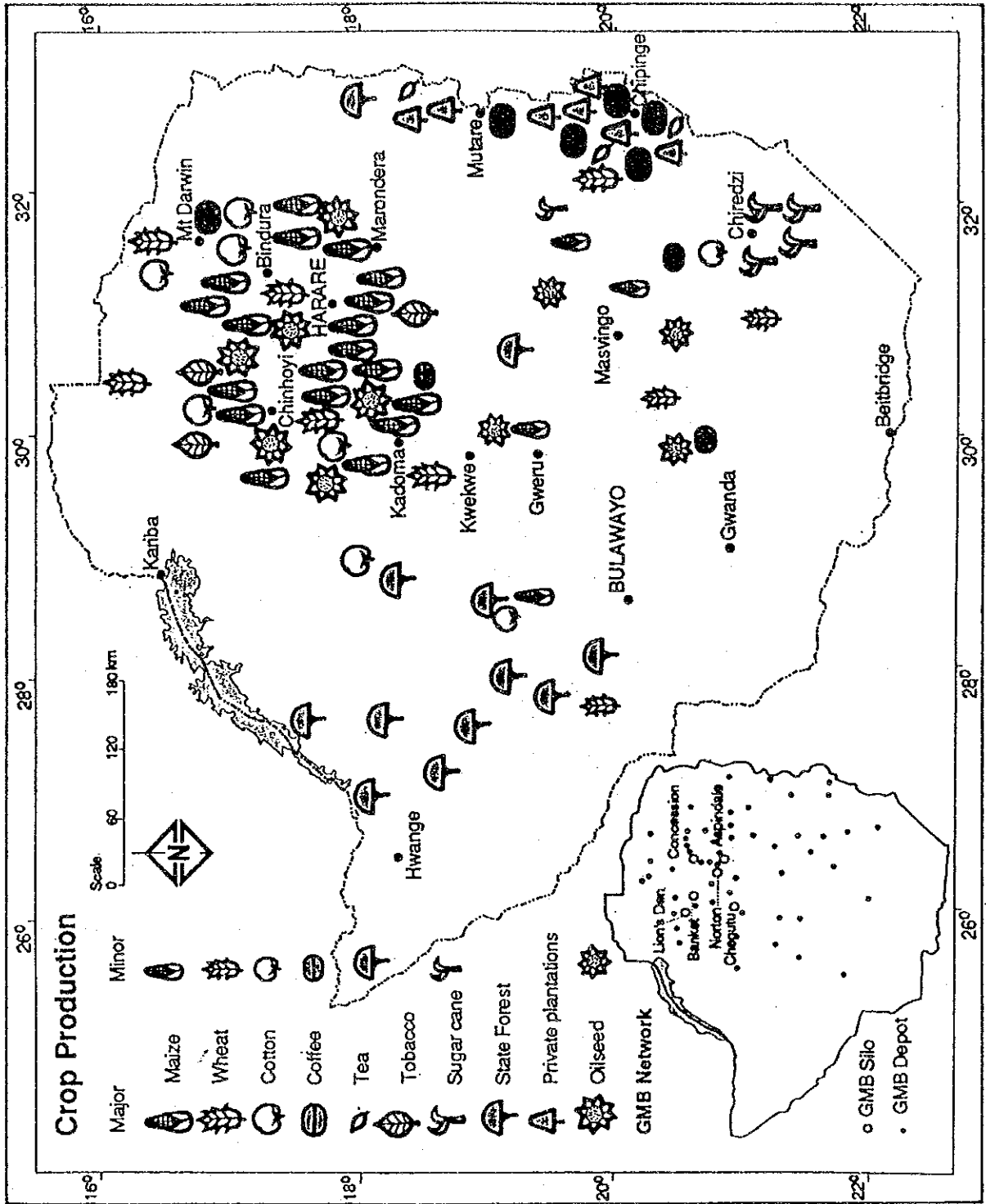


Figure 8 - 1 Agricultural Map





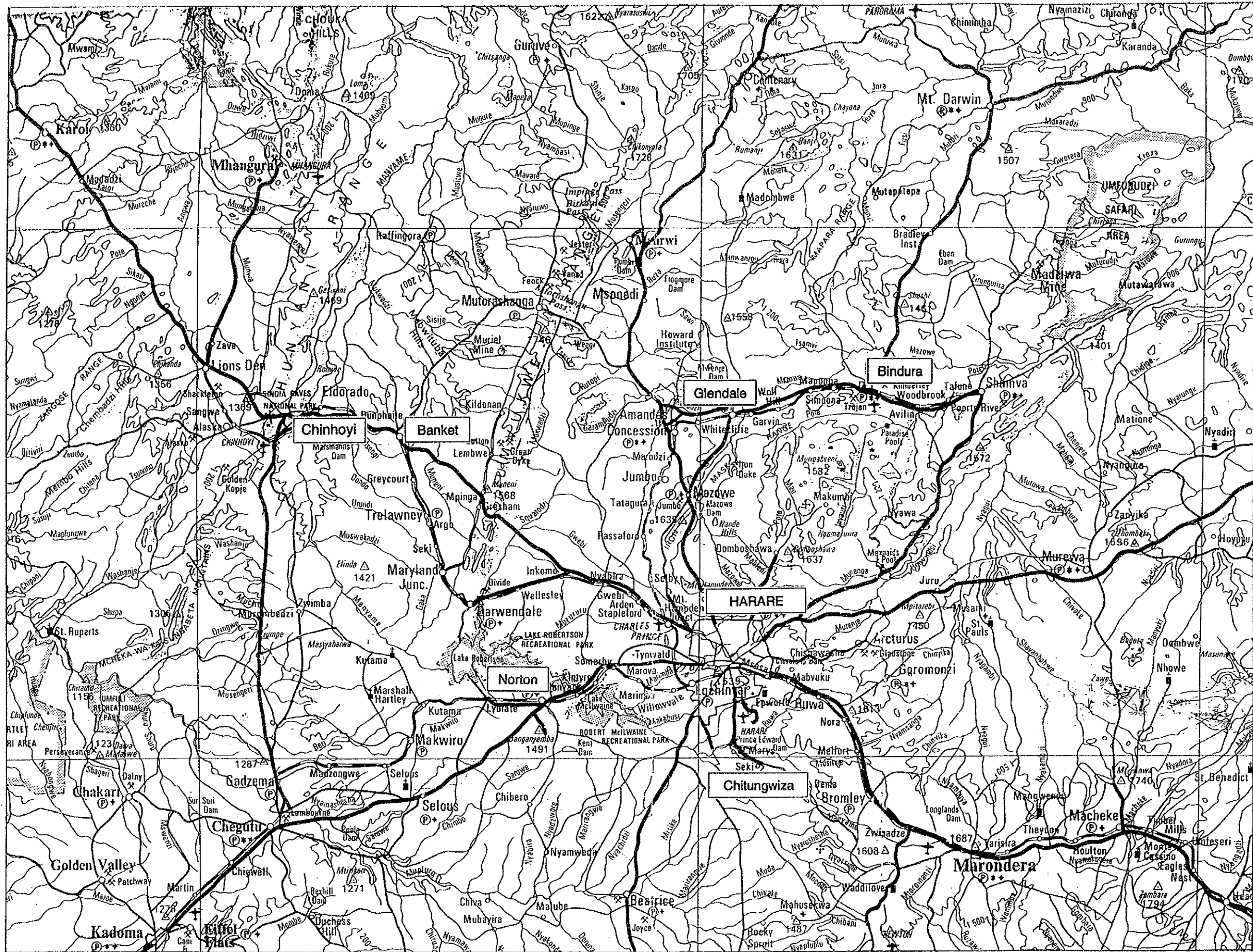


Figure 8-2 Map of Maize Producing Area in Mashonaland





### 8-1-5 クエン酸工場のサイト候補地

コーンスターチの生産工場の位置については先の議論からハラレ市とその周辺（チトゥングイザ、ノートンを含む）、チノイ／バンケット、ピンドウラ／グレンデールの3地域が有力であることが判った。これらの地域は全てハラレから120kmの圏内にあり、鉄道および道路の便が極めて良いことを考えると、ハラレにクエン酸工場を建設する場合には、上記の何れの都市にコーンスターチ工場が建設されても問題はない。ただし、チノイ／バンケットとピンドウラ／グレンデールの何れか一方にコーンスターチ工場が、他方にクエン酸工場が建設される場合には、ハラレにクエン酸工場が建設される場合に比較して、若干の不便がある。

#### (1) ハラレ市とその周辺都市

ハラレ市の近くの都市としては、チトゥングイザ市、ノートン市がある。チトゥングイザは1978年に、ハラレ市の郊外にあったセキ(Seki)、ゼンゲザ(Zengeza)、セントマリー(St. Mary)の3つのアフリカ人居住区が合併してできた市で元来住宅都市であるが、最近では工場を誘致しようとしている。人口は急増しており、1985年に23万5千人に達しており、現在はこれをかなり越えていると推定される。この地区は極めて労働力が豊富で、大部分の労働者はハラレ市へ通勤している。ハラレ市と同市の境界は9 kmしか離れていない。

ノートン市は人口約1万2千人の小さな市で、ハラレからブラワヨへ向かう道路および鉄道の近くにある。カリバ発電所からの送電線の変電所があり、製紙工場がある。同市はロバートソン湖岸に位置しており、周辺は灌漑による冬小麦の栽培を含め、農業が発達している。雨期には、とうもろこしの栽培が行われている。

ハラレ市の中心から鉄道が西側に伸びており、この沿線に工場が密集して工業地帯となっている。ウォーキングトン(Workington)、サザートン(Southerton)、ウイロウエーブ(Willowvale)等の区がこの地区に含まれるが、ロッキンパール(Lochinvar)鉄道駅があるので、本報告書ではこの地区をロッキンパール工業地区と呼ぶことにする。この地区は労働者の居住区に近く、先に述べたチトゥングイザ市にも近い。

市の商業・行政の中心となっているハラレ区をはさんで、北側は高級住宅地となっており、大学、研究所、官邸などがある。ムタレ方向に向かって、鉄道は市の東側に伸びているが、この沿線にいくつかの工場がある。この地区にムササ鉄道駅があるので、本報告書ではこの地区をムササ工業地区と呼ぶこととする。図8-3に両工業地帯を示す。

ハラレ市域にある工業地帯は、道路、鉄道、電力、上下水道などのインフラストラクチャが良く整備されているが、チトゥングイザ市の工業地帯は、ハラレ市の工業地帯に比較すると未整備の感を免れない。



## (2) バンケット／チノイ

バンケットは人口約6千人の村である。元来、鉱山が近くにあつて村が生まれたが、周辺は農業が盛んで、牧畜、とうもろこし、綿、タバコを産出する。タバコ栽培のための農業試験場およびコーヒー加工工場がある。チノイ市は人口約2万4千人の小都市で、近くに石灰岩を産出する。近くには金、クロム、銅の鉱山がある。周辺はバンケット同様農業が盛んである。また、市の近くにチノイ洞と呼ばれる名所があり、ホテル等の施設を有する観光都市でもある。ビール会社他、若干の小工場がある。

## (3) グレンデール／ビンドウラ

グレンデールは人口約6千人の村で、農業地帯の中心にある商業集落である。周辺では綿花ととうもろこしの栽培が盛んである。綿織り工場があり、繊維工業の開発が計画されている。近くには硫化鉄鉱を産する鉱山がある。ビンドウラは人口約1万8千人の町で、中央マシヨナランドの州都である。金鉱山によって早くから開けた町で、現在はニッケルを産出しており、市の南側に精錬所がある。とうもろこしと綿花の栽培が盛んである。市内には綿織り工場をはじめいくつかの小工場がある。

以上を総合して考えると、地域開発計画などの特別な意図に基づく場合は別であるが、ハラレ市が、他の候補地に比較して、インフラストラクチャ、工業基盤、質の良い労働者の確保などを含めた基本的な立地条件において圧倒的に有利である。従って、用地の確保が可能ならば、ハラレ市をサイトとすべきである。表8-2に検討結果を要約して示す。



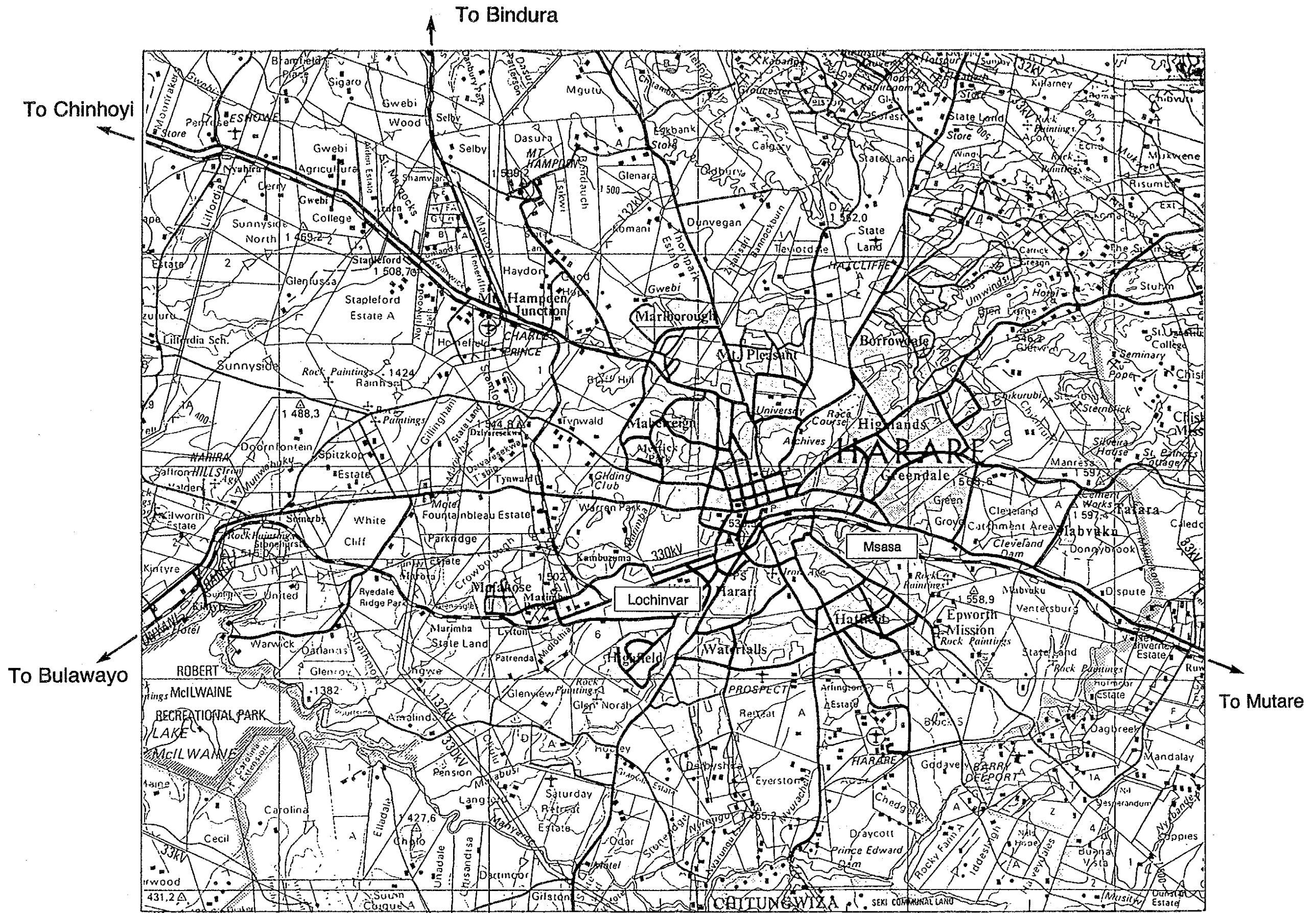


Figure 8-3 Map of Harare





Table 8-2 Summary of Site Selection

	Population	Industria- lization	Railway	Road	Electricity	Water	Distance to Harare
Harare	656,011	◎	◎	◎	◎ 330kV	◎	0 km
Chitungwiza	235,000	○	×	○	○ 132kV	○	9-20 km
Norton	12,360	△	◎	◎	◎ 330kV	○	40 km
Banket	5,698	△	○	○	○ 33kV	○	95 km
Chinhoyi	24,322	△	○	○	○ 132kV	○	115 km
Glendale	6,076	△	○	○	○ 33kV	○	85 km
Bindura	18,243	△	○	○	○ 132kV	○	88 km

Note: Population, Information based on Encyclopedia Zimbabwe, Quest Publication

Railways, Banket, Chinhoyi, Glendale and Bindura are connected to Harare.

Roads, Banket and Chinhoyi are connected to Harare and Zambia.

Chitungwiza, Glendale and Bindura are connected to Harare.

### 8-1-6 ハラレ市内での立地

ハラレ市の工業地帯は鉄道沿線沿いに発達しており、主要工業地帯は市の中心から南西方向にあるロツインバル (Lochinvar) 工業地区であることは先に述べたとおりである。精糖会社、石灰会社、セメント会社、清涼飲料水のボトラー等が密集してこの地区にある。この地区で適当な空き地を見出すことは困難と思われるが、もし空き地があればそこにクエン酸工場を建設することは可能である。この地区は道路および鉄道がミッドランドの工業都市およびブラワヨの方向へ市の中心から出ていく筋道に当たっている。また、チトゥングイザ市にも近いので、労働者の通勤にも便利である。市の中心から東の方向に当たる工業地区は先に述べた地域に比較すると、工場の密集度が低く、適当な敷地を発見することが容易である。市の中心から約10kmのところにはジンフォス (Zimphos) 社の化学工場がある。この工場の主力製品は過リン酸石灰であるが、硫酸も製造している。硫酸は運搬に危険を伴う物質であるので、硫酸工場に隣接していることは有利である。クエン酸工場における難題の一つは副生成物である石膏の処理である。石膏は売却価格が25 Z \$ / トン程度と安く、重要な副産物ではないが、量が非常に多い。3,000 トンのクエン酸を製造する場合、約5,600 トンが副製する。石膏の用途は、先にも述べたようにセメントと農業用が主であるが、特に農業用のものは需要に季節変動があって、一定の期間貯蔵しておく必要がある。ジンフォス社も自社のリン酸プラントの副産物として約7万トン/年を生産しており、副製石膏を農業用に販売するた

めに、広大な貯蔵場所を設けている。

現在、ジンフォス社の工場に隣接するところにクエン酸工場を建設するのに十分な空き地がある。ジンフォス社の工場は電力、上下水道等のインフラストラクチャが整っており、これらを利用することが可能である。また、同社の石膏貯蔵地にクエン酸工場から発生する石膏 5,600 トンを貯蔵することはなんら問題はない。工場は、ハラレとムタレを結ぶ 7 m 巾の舗装された国道に近い。また、鉄道の引き込み線があり、操車用機関車も配置されている。工場の背後にはクエン酸工場を建設してもなお十分な空き地がある。現在も一部に従業員用の住宅が建てられており、本プラントの従業員のための住宅および福利厚生施設を設けることが可能である。同市の主たる工業地帯であるロッキンバール工業地区とは市の中心を挟んで反対側にあるが、距離は 10 ～ 15 km である。両地区間の原料・製品の輸送量はあまり多くない。距離も近いので、全く支障はない。図 8-4 にジンフォス社の工場周辺の地図を示す。図中肥料工場 (Fertilizer Factory) とあるのがジンフォス社の工場である。地図はやや古いものであるが、現状もほとんど差異がない。





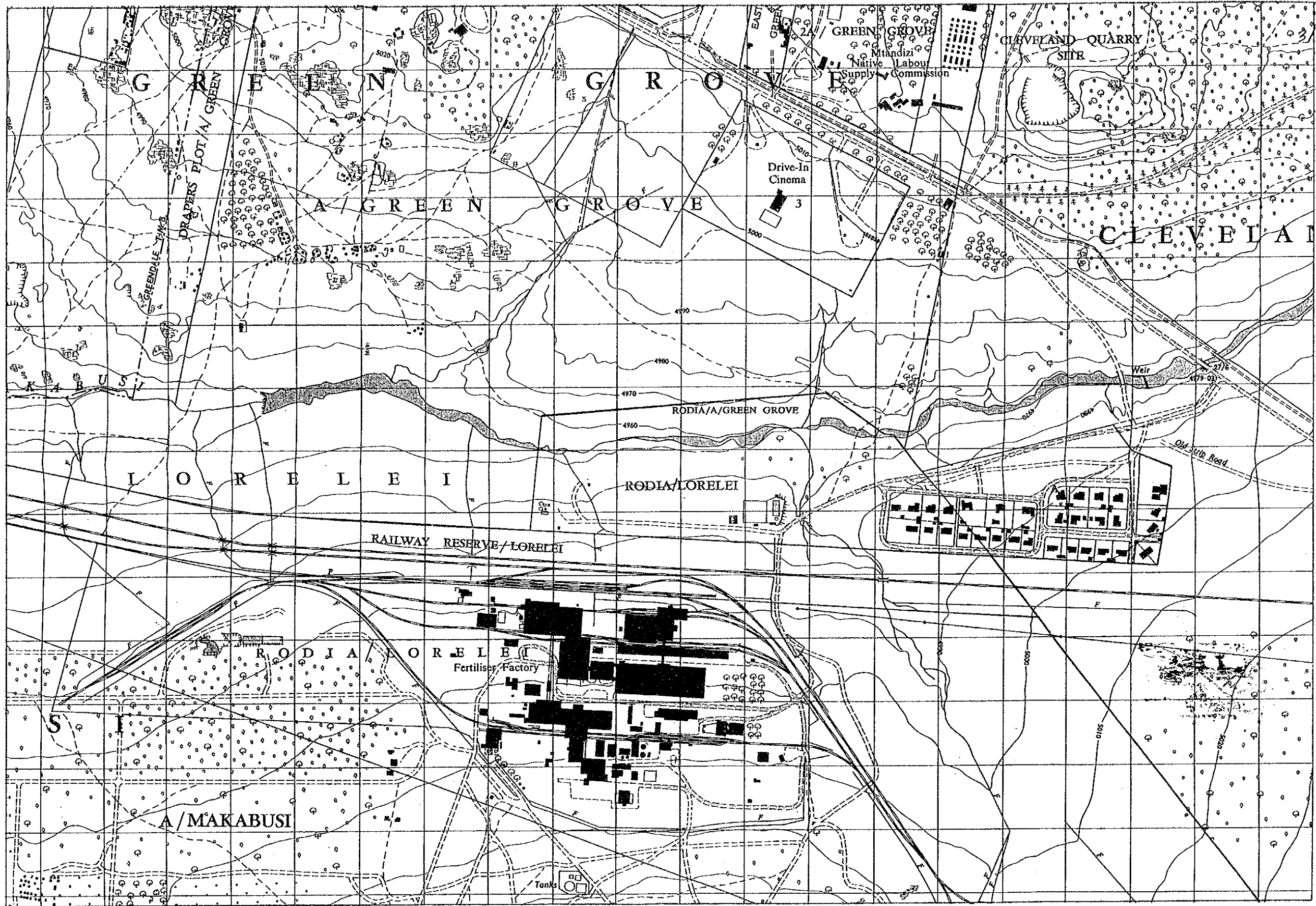


Figure 8-4 Map of the Site





## 8-1-7 サイトの地質、気象、標高

### (1) 地質

ハラレ市はジンバブエ剛塊 (Zimbabwe Craton) と呼ばれる先カンブリアン期 (575 百万年以前の時代) にできた地塊の上であり、極めて安定した地盤を持っている。従って、大きな地震の起こる危険はない。土地の表面は堅い粘土で覆われており、地下水位は 30 m 以深にあると言われている。岩盤までの深さは不明であるが、60 m 位の深さの井戸が掘られているので、これ以上深いとみられる。ハラレ市内には高層ビルもあり、サイトと地質上の差異はないので、工場建設には全く支障がない。地形は全体になだらかで大きな起伏はない。

### (2) 気象

ハラレは低緯度 (南緯 17° 50') にあり、ハリケーン等の暴風雨に襲われる危険はほとんどない。11 月から 4 月にかけては北東方向より風が吹き降雨があるが、5 月から 10 月迄の間は東または南西の方向の風が卓越し、ほとんど雨が降らない。雨期には落雷があるので避雷対策が必要である。

表 8-3 に各月の平均気温、月間降水量、平均相対湿度を示す。ハラレは内陸部にあるので、昼夜の気温差がかなり大きい。しかし、絶対湿度は昼夜で大きく変わることはない (湿球温度は乾球温度に比べて変化が少ない) ので結露が生じ易い。全体としてハラレ市の気候は気温の変化があまり大きくなく、相対湿度が低いので快適である。

Table 8-3 Meteorological Data

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperature(°C)	20.6	20.7	19.9	17.2	16.7	13.5	13.9	16.3	19.1	21.8	21.4	20.9
Rainfall(mm)	235.2	166.6	88.5	44.6	13.2	7.5	0.2	2.0	8.3	37.3	93.7	201.0
Relative Humidity(%)	77	79	72	67	61	59	51	47	45	46	61	72

Remarks: Average of 1951-1960,

Source : Chronological Scientific Tables Maruzen 1988.

### (3) 緯度、経度および標高

サイトの緯度、経度、標高は次の通りである。

- ・位置：南緯 17° 58'、東経 31° 08'
- ・標高：1,530 m (5,000 フィート)

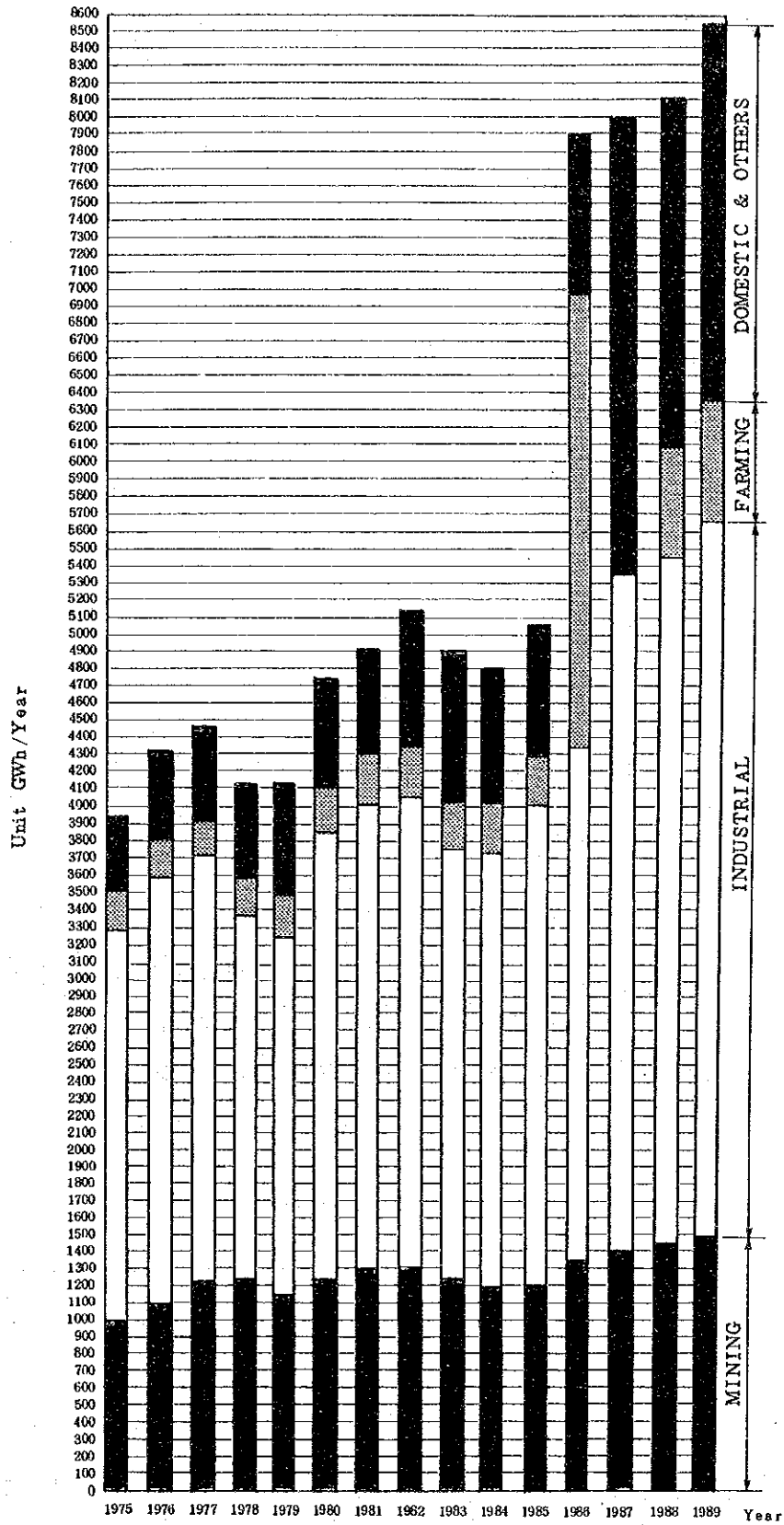
標高が高いため大気圧が低いことに設備設計上留意すべきである。

## 8-2 インフラストラクチャ

### 8-2-1 ジンバブエにおける電力事情

#### (1) 電力需要

1986年1月24日に発効した電気法(Electric Act 1985)によって、ジンバブエ共和国における電力供給事業は全てZESA(ジンバブエ電力供給公社)が行っている。ZESAの1988/89年度における年間電力販売量は8,556 GWhである。図8-5に同社の電力販売量の推移を示す。同図では1985年と1986年の間で販売量の急増があるが、これはZESAがハラレ市等の主要都市の電力会社を吸収合併したために生じたもので、実需要の増大によるものではない。1979年～1988年の10年間におけるジンバブエの電力消費量の増加率は、人口の増加率とほぼ等しい約3%/年である(図8-6参照)。



**Figure 8-5 Electricity Sales by ZESA**

(Source : ZESA Annual Report 1989)

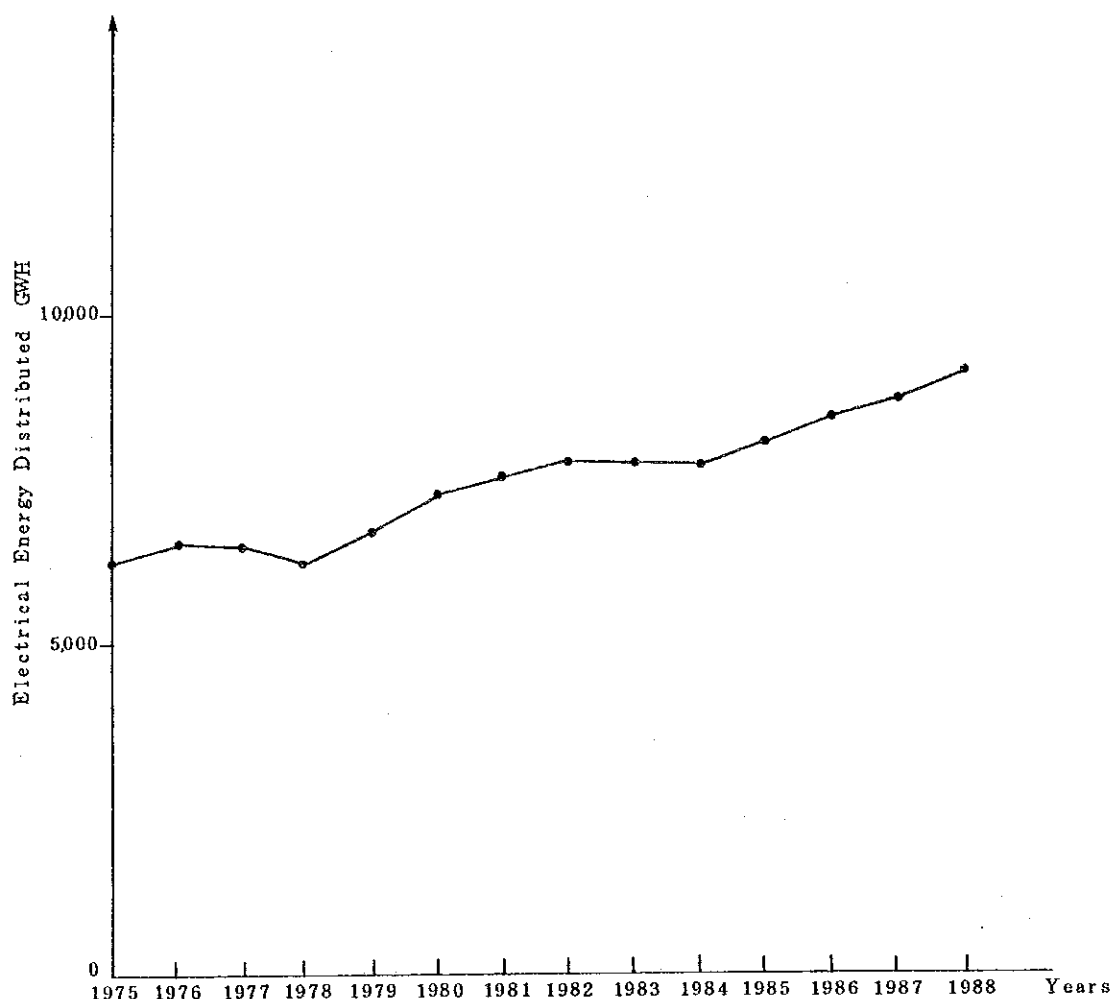


Figure 8-6 Electric Energy Distribution

(Source : STATISTIC YEAR BOOK OF ZIMBABWE 1989, Central Statistical office)

## (2) 送電網

ジンバブエにおける送電網は、図8-7に示す様に、カリバ、ワンゲの2つの大発電所とハラレ、ブラワヨ等の主要都市を 330 k V の高圧送電線で結ぶ大幹線と、これを分岐または連結する 132、88、66、33 および 11 k V の支線網から構成されている。1989年に Chertsey - Tokwe - Triangle を結ぶ 330 k V の送電線が完成し、Lowveld 地帯への送電系統が補強された。Beitbridge 地域は内燃火力発電所と南アフリカ共和国からの受電でまかなわれていたが、この地域へも Triangle より 132 k V の支線が延長された。これらの結果、ジンバブエの各都市はほぼ完全に一つの電力網として連結された。特に、ハラレ、ブラワヨ、ミッドランドの工業地帯は、ハラレ、シャーウッド、ブラワヨを結ぶ幹線によって、2回線またはそれ以上の 330 k V 送電線でカリバ、ワンゲの発電所と連結されており信頼性が高い。





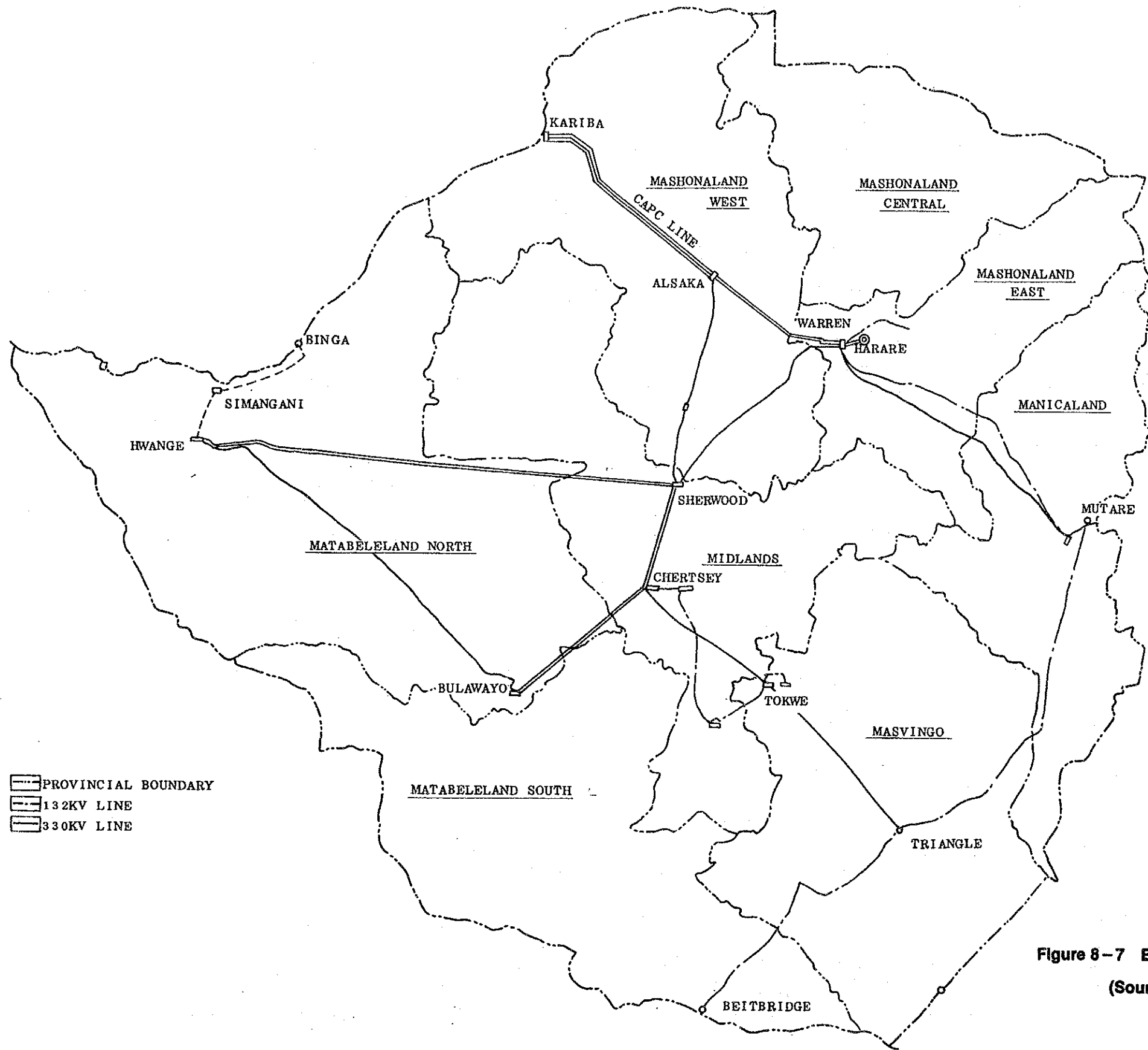


Figure 8-7 Electricity Network in Zimbabwe  
 (Source : ZESA Map, 1989)





### (3) 発電所

ZESAの所有する発電所は表8-4に示すとおりである。カリバ発電所はザンベジ河をせき止めて作ったカリバダムの上端にある合計容量 666 MWの水力発電所で、全電力需要の約 34 %をまかなっている。ワング発電所は、近くの露天掘り鉱山が出炭する石炭を燃料とする合計容量 920 MWの新鋭火力発電所であり、全需要の約 52 %を供給している。また、全需要の約 10 %をザンビアからの輸入に依存している。ハラレ、ムニヤティ (Munyati)、ブラワヨにある発電所は、何れも各都市の市営発電所として建設されたもので、設備が老朽化しており補助的な役割しか果たしていない。

**Table 8-4 Zimbabwe Power Stations - Generator Capacity**

Plant Name	No. of Unit	Max. Output per unit(MW)	Total(MW)	Generators Rating(MVA)
<b>&lt; Hydro Power Station &gt;</b>				
-Kariba	6	111	6 × 111	6 × 111.1
<b>&lt; Thermal Power Stations &gt;</b>				
-Hwange 1	4	120	480	4 × 133.1
-Hwange 2	2	220	440	2 × 244.1
		2 × 30		
-Harare	8	2 × 20	135	169
		2 × 10		
		2 × 7.5		
-Munyati	7	2 × 10	120	150
		5 × 20		
-Bulawayo	5	2 × 10	120	153
		5 × 20		

Source: ZESA Annual Report, 1989.

ジンバブエでは、電力事情が良好なこともあり、民間企業による自家発電はほとんど普及していないが、Triangle と Hippo Valley (Chiredzi) にある砂糖工場ではバガス燃料とする発電を行っており、その余剰電力を一般電力網に供給している。ジンバブエ全体の 1988 / 89 年度におけるピーク時最大需要は 1,429.7 MWであり、これらの発電所を全部合わせると充分余裕をもって対応できる。

#### (4) 輸入電力

ジンバブエの電力網はカリバでザンビアと、ムタレでモザンビークの電力網と結合している。ザンビアとはC A P C (Central Africa Power Corporation) の 330 k V送電線で結ばれており、ザンビア側のカリバ北発電所およびカウフェゴルジ発電所(何れも水力)の電力をカリバを通じて輸入している。なお、通常の電力需要はカリバ水力発電所とワンゲ1 & 2の発電所の合計出力を上回ることはない。1988年3月26日にザンビア側のカウフェゴルジ(Kafue Gorge)発電所で火災が発生し、ザンビア側への送電の必要が生じた上に、ワンゲ発電所のタービン1台にも故障が発生して電力事情がかなり悪化したが、このような事態は例外と考えて良いであろう。

#### (5) 発電所の運転状況

1989年度におけるワンゲ火力発電所の稼働率は82.95%、設備利用率はワンゲ1:68.82%、ワンゲ2:62.27%、カリバ水力発電所の稼働率は94.41%、設備利用率は54.84%である。また、送電損失は3.05%、配電損失は6.17%である。送配電損失の値はほぼ先進国と同様の水準にあると言ってよい。

### 8-2-2 ハラレ市周辺の電力事情

#### (1) 電源

ハラレ市への電力供給は主としてカリバ発電所とザンビア側のカリバ北およびカウフェゴルジ発電所と連なるC A P Cの330 k V送電線から行われている。この送電線は3回線あり、その内2回線がカリバから直接ハラレ市の郊外にあるワーレン(Warren)変電所に来ている。また、ワーレンからは1回線がシャーウッド(Sherwood)変電所につながっており、シャーウッドにはワンゲ発電所から2回線の330 k V送電線が来ている。従って、カリバ発電所またはC A P Cの送電線の一部に事故があっても、ワンゲ発電所からの電力によって、それを補うことが可能である。更に、ハラレ市内には、やや旧式で効率は良くないが、カリバ発電所の約20%に相当する合計容量135 MWの発電所があり、補足と緊急用の役割を果たしている。以上を総合して考えると、Z E S Aが適切な注意を払って運営すれば、ハラレ地区の電力の信頼性は非常に高いレベルに保てる。

#### (2) 配電網

ハラレ市内の配電網は、その成立の経緯から、ハラレ発電所を中心として構成されている。また、ハラレ発電所とワーレン変電所とは330 k V 2回線で連結されている。本計画で工場建設予定地となっている場所は、ハラレ発電所から約8 kmの距離にある。配電は地下配線に

よっており、信頼性が高い。

### (3) 電力料金

1990年11月1日改訂のZESAの電力料金表によると、ZESAの電力体系は、「家庭用従量」、「家庭用定額」、「小口業務用(300kVA以下)」、「小口農業用(300kVA以下)」、「街灯」、「大口業務用」および「大口農業用」の7つに区分されている。本計画で建設される予定のクエン酸工場に適用されるのは、大口業務用の料金である。大口業務用の料金は300kVA以上の契約電気容量に対して適用され、以下のとおりである。

1. 固定料金 : 22.50 Z \$ / 月
2. 基本料金 : 22.50 Z \$ / kVA / 月
3. 電力量料金 : 2.15 Z ¢ / kWh (ピーク時 : 6時 ~ 22時)  
1.88 Z ¢ / kWh (オフピーク時 : 22時 ~ 6時)

計画中のクエン酸工場の最大容量を2,000kVA、月間電力消費量を1,152,000kWh、24時間同一電力を使用するものと仮定すると、月間電力料金は以下の様になる。

固定料金	:		22.5
基本料金	:	$2,000 \times 22.5$	= 45,000.0
ピーク時電力量料金	:	$1,152,000 \times 2/3 \times 2.15 \div 100$	= 16,512.0
オフピーク時電力量料金	:	$1,152,000 \times 1/3 \times 1.88 \div 100$	= 7,219.2
月間電力料金			68,753.7 Z \$

従って、平均電力単価は以下のようになる。この単価は、国際水準と比較して極端に安い。

$$\begin{aligned} & 68,753.7 \text{ Z \$ / 月} \div 1,152,000 \text{ kWh / 月} \\ & = 5.97 \text{ Z ¢ / kWh} = 1.95 \text{ US ¢ / kWh} = 2.61 \text{ 円 / kWh} \end{aligned}$$

1988年10月に改訂実施された旧料金表によると、大口業務用の電力料金は以下のとおりであった。

1. 固定料金 : 22.00 Z \$ / 月
2. 基本料金 : 18.74 Z \$ / kVA / 月
3. 電力量料金 : 1.91 Z ¢ / kWh (ピーク時)  
1.69 Z ¢ / kWh (オフピーク時)

旧料金表に基づいて同様に計算すると、平均電力単価は5.09 Z ¢ / kWhであったこととなり、値上げ率はZ \$ ベースで17%である。1988年における為替レートはほぼUS \$ 1 = Z \$ 1.8であり、1991年においてはほぼUS \$ 1 = Z \$ 3.06であることを考えると、US \$ ベースでは2.80 US ¢ / kWhから1.95 US ¢ / kWhへ、31%の大幅な値下げとなっている。このような料金の下では外貨を使って更新する必要がある設備の償却が実質的に不足してくることが危惧されるので、ZESAは長期的なインフレとジンバブエドルの切り下げを考慮した見直しを行うべきであろう。

### 8-2-3 ジンバブエの水資源

#### (1) 降水量

ジンバブエには年間を通じて雨期と乾期があり、乾期にはほとんど雨が降らない。このため貯水池を設けて雨期の間水を貯蔵しておいて乾期に使用することが一般的に行われている。雨期は通常10月に始まって4月に終わる。降雨量は年によってかなりの差異がある。図8-8は、ハラレの場合について、差の大きい2つの年の例を比較して示したものである。

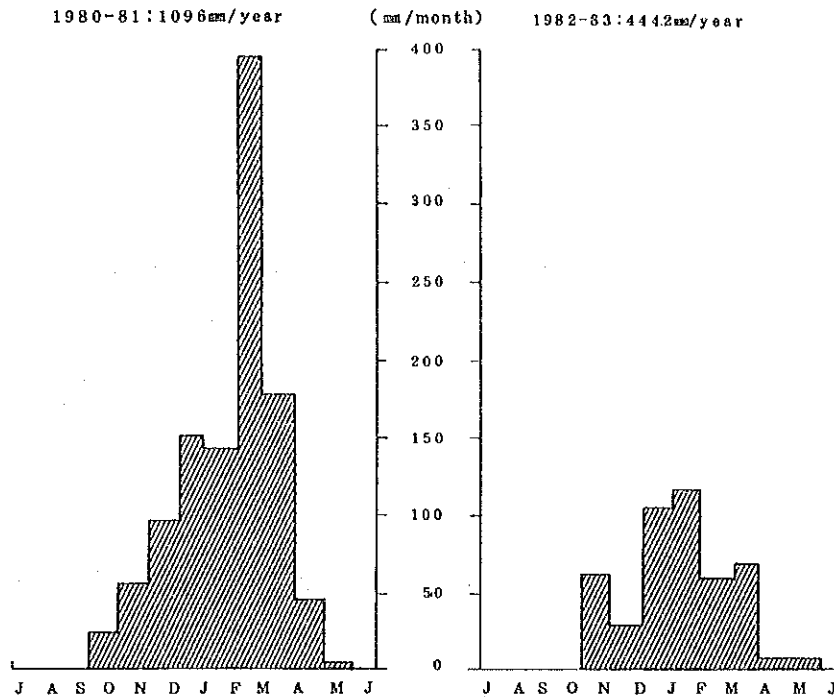


Figure 8-8 Rainfall in Harare

(Source : Atlas for Zimbabwe 4th Ed, College Press 1985)

## (2) 貯水

雨水の貯蔵はダムによって造られた人造湖によって行う。ジンバブエにはこの種の人造湖が極めて多数散在している。代表的な灌漑用の人造湖としては、マシングにあるカイル (Kyle) 湖、マックドガル湖、ハラレにあるロバートソン (Robertson) 湖、マッキルワイン (McIlwaine) 湖などがある。

## (3) 配水

ジンバブエの主要都市における水の供給は、工業用水と家庭用水の区別が行われておらず、共通の水道から供給されている。通常、ダムの建設・管理は中央政府に属するエネルギー・水・資源省が担当しているが、工場および家庭への配水は市当局が行っている。主要都市における給配水網はほぼ完全に完成しており、水の需要増大に応じて新しいダムの建設が行われているので、全国主要都市において工業用水および家庭用水の供給に支障を生じているところは、今のところブラワヨを除いてない。ブラワヨは現在のところ貯水能力の点では問題はないが、貯水池と市内の浄水場を結ぶ送水管の能力が不足している。現在、増設工事が行われており、1年以内に問題が解消する見込みである。従って、本計画について主要都市で水が立地上の支障となることはないと考えてよい。ただし、都市部以外では水源および水道施設がないところが多い。例えば、キャッサバの産地として名前のあがったカリバ湖岸の小さな町であるピンガ (Binga) には公共水道がない。



本年(1991年)は25年に1回程度の干ばつ年で、特に Lowveld 地帯での干ばつはサトウキビの生産に深刻な影響を与えている。しかし、この地域においても家庭用水の給水制限などは行われていない。また、製糖工場も平常運転を続けている。ジンバブエの水資源の大きな用途は農業用水である。ジンバブエには十分な灌漑用水がないために有効利用できない広大な土地が残っており、水資源は農業にとって貴重である。従って、水の節約には特に大きな配慮を払う必要がある。

#### 8-2-4 ハラレ周辺の水事情

##### (1) 水源

ハラレ市の水源としてはローバートソン湖、マツキルワイン湖の2つの大きな湖がある。この他にも中小の貯水池が設けられていて、1995年迄の需要増大には現状のままでも充分対応できる。工業用水と家庭用水は区別されておらず、何れも処理水を供給している。現在の供給能力は387,000トン/日であり、更に27,000トン/日に相当する拡張が進行中である。浄水場は市の中心から約5km離れたワーレン地区にある。人口密集地には下水道が完備しているが、1/2エーカーに1戸以下の地域には下水道がなく各戸毎に浄化槽で処理している。ムササ地区の下水道はジンフォス社の工場のある地点まで来ている。工場排水も簡単な処理をして下水へ排水している場合が多い。

##### (2) 断水対策

ハラレ市内では断水の危険はほとんどないが、安全のために貯水池または井戸を設けている工場も多い。

##### (3) 水質

ハラレ市の水道水を市当局が分析した結果の例を表8-5に示す。水は弱アルカリ性の軟質水である。純度はあまり高くないが、飲料水として利用するのに差し支えない。また、クエン酸発酵の原料水および冷却水として使用するのに全く支障はない。

**Table 8-5 Typical Analysis Results for Treated Municipal Water**

pH	8.3
Total Dissolved Solid (mg/l)	134.0
Suspended Solid (mg/l)	0.50
Turbidity (Nephelometric Turbidity Units)	0.50
Color (Hazen Units)	< 5.0
Phenolphthalein Alkalinity (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	2.0
Methyl Orange Alkalinity (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	78.0
Total Hardness (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	74.0
Permanent Hardness (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Nil
Temporary Hardness (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	78.0
Dissolved Oxygen (mg/l)	7.0
4 Hr Permanganate Value (mg/l)	0.50
Ammonia (mg/l NH <sub>3</sub> N)	0.05
Nitrite (mg/l NO <sub>2</sub> N)	Nil
Nitrate (mg/l NO <sub>3</sub> N)	0.005
Iron (mg/l Fe)	0.02
Manganese (mg/l Mn)	0.01
Aluminium (mg/l Al)	0.02
Calcium(mg/l CaCO <sub>3</sub> )	38.0
Magnesium (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	36.0
Sulphate (mg/l SO <sub>4</sub> )	15.0
Chloride (mg/l Cl)	20.0
Fluoride (mg/l F)	0.40
Phosphate (mg/l P)	0.01
Silicate (mg/l SiO <sub>2</sub> )	4.0

Source: City of Harare

### 8-2-5 水道料金

#### (1) 政府による水供給価格

ジンバブエでは一般に水源池の管理は中央政府のエネルギー・水資源省が行っている。従って、一般に水道用の原水はエネルギー・水資源省から市へ販売され、市はそれを処理して水道水とし需要家に販売する。なお、ハラレ市などの一部の市は市当局が水源地を保有して

いる例もある。エネルギー・水資源省による水道用原水の販売価格は 5.8 Z ¢ / トンである。この価格は近く 10 % 程度の値上がりが予想されている。市当局が需要家に販売する価格は 60 Z ¢ / トンであり、主要都市間ではほとんど差がない。

## (2) ハラレ市当局による水供給価格

ハラレ市の水道料金は、「家庭用水道」、「業務用水道(下水付)」、「アパート用水道」、「業務用水道(下水なし)」、「業務用水道(郊外)」および「市域外」に区分して決められている。本計画に適用される業務用水道(下水付)の料金は、59.5 Z ¢ / トン(0.194 U S \$ / トン)である。下水道のない場合の料金も今のところ同額ではあるが、上水道の料金には下水道の料金が含まれていると考えられる。また、市外地の場合の水道料金は 66 Z ¢ / トンである。最低料金として Z \$ 5.45 が定められている。ハラレの水道料金は大都市の水道料金としては決して高くはないが、工業用水としては比較的高価である。

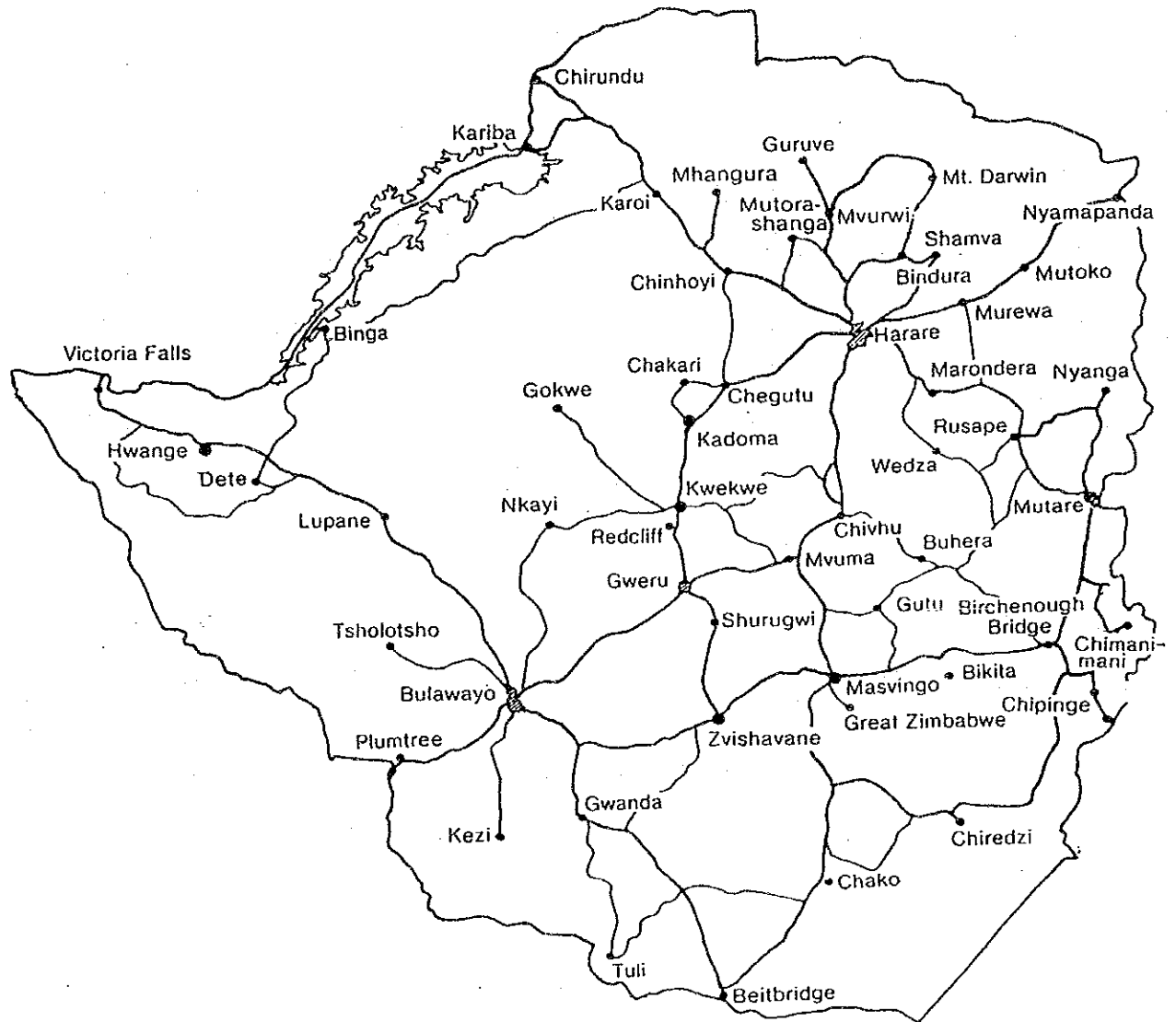
## 8-2-6 輸送システム

### (1) 道路輸送と鉄道輸送

ジンバブエの道路は舗装率が高く、図 8-9 に示すように、全国主要都市を結んで良く整備されている。長距離幹線道路はほとんどの部分が、片側一車線づつの 2 車線になっている。全長 18,394.3 km の国道の約 40 % が舗装道路で、その内約 76 % が 7 m 以上の舗装巾がある(1989 年統計)。旅客の輸送は長距離を含めてバス輸送に大きく依存しているが、貨物の長距離・大量輸送は鉄道に大きく依存している。現在のところ大型トラックが非常に不足しており、近隣諸国からの乗り入れが行われている。1987 年の統計によると、9 トン以上の積載能力のあるトラックの数は全国で僅かに 1,205 台である。トラック不足の原因は外貨不足のためにトラック本体および部品の輸入が制限されているためである。従って、本プロジェクトにおいては、大量にまとめて原料または製品を輸送する場合には鉄道を利用し、少量あるいは短距離の輸送を行う場合にはトラックを利用することになる。ジンバブエにはトレーラー車(エンジンのないもの)を製造する技術があり、トレーラーは比較的良好に使われている。量によっては、コンテナトレーラーを使うことが考えられる。

1990 年以降、ジンバブエ政府はトラックの輸入自由化およびトラック輸送の自由化を計画しており、鉄道についても大幅な合理化を計っている。これらによって輸送事情の好転が期待できる。

0 50 100 150 200 km



————— main tarred road (7 metres wide)  
 - - - - - narrow tarred road (3 metres wide)

**Figure 8-9 Road Map**

## (2) ジンバブエ国有鉄道の鉄道網

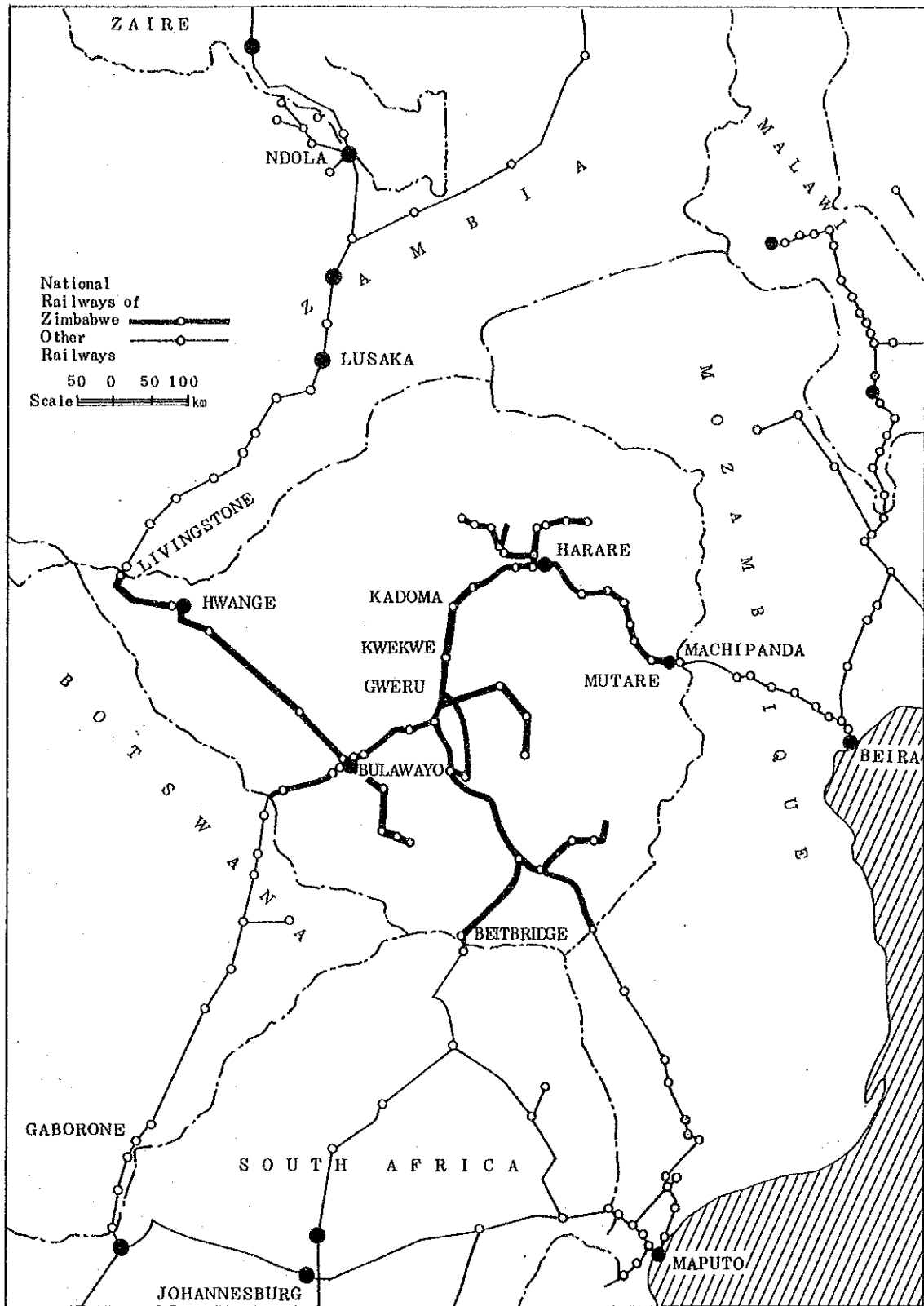
NZ R (ジンバブエ国有鉄道) の鉄道網は、全て単線であるが、図 8-10 に示す様に主要都市を結んでいる。主要幹線であるハラレーブラワヨ間は電化されている。近隣諸国とは、ビクトリアフォールでザンビアと、チクアラクアラ (Chicualacuala) とマチパンダ (Machipanda) でモザンビークと、南アフリカ共和国とは Beitbridge (Beitbridge) で接続している。

## (3) 輸出入港へのルート

ジンバブエは内陸国であるので輸出入のためには外国を通過して海港のあるところへ出なければならない。ハラレから最も近い海港はモザンビークのベイラ港であり、ムタレ、マチパンダを通る鉄道 (ベイラ線) がある。しかし、このルートはモザンビークの内乱のため運行が不安定であり、かつ輸送中の盗難が多いため、ほとんど使われていない。また、チクアラクアラを通過してモザンビークのマプート港にいたる線 (リンボボ線) も現在迄のところ内乱の影響で運行が安定せず盗難が多い。従って、ほとんどの資材の輸送は Beitbridge 経由で南アフリカのダーバン港を通して行われている。なお、南アフリカ共和国がアパルトヘイト政策を中止し、モザンビークにおけるゲリラ問題が解決すれば、ベイラ線が活用されるであろう。ベイラ線経由でハラレからベイラ港までの砂糖・穀物等の鉄道運賃は約 68 Z \$ / トンである。

## (4) 引込線

ハラレのムササ (Msasa) 工業地帯は、その中央を貫通してハラレからムタレ方向に向かう鉄道が通っておりベイラ線に連なっている。ジンフォス社の構内には引込線が設けられており、貨車を操車するための小型ディーゼル機関車も保有している。従って、ジンフォス社の工場に隣接して工場を建設すれば、引込線の僅かな延長および機関車等の共用によって鉄道の利用が可能となる。



**Figure 8-10 National Railways of Zimbabwe**

(Source : Land survey office NRZ)

## 第9章 環境対策







## 第9章 環境対策

本章ではクエン酸工場の公害防止に関する対策・設備について記述する。公害防止対策に必要な費用については第13章「建設工事および建設コスト」にて説明する。

クエン酸プラントから排出される物質の内、環境対策上最も問題となるのは、有機物を大量に含み、BOD (Biochemical Oxygen Demand) 値の高い廃水である。特に、発酵プロセスからの廃液はBOD値が高く、量も多いので十分な対策が必要である。この廃液は未反応の原料等の有機物を多量に含む上、発酵の際に栄養源として添加されるリンやカリの一部も未利用のまま残っている。この種の廃水を未処理のまま放流すると、河川や湖沼の富栄養化の原因となる。一方、ボイラーの排ガス中のダストも大気汚染防止上、対策が必要となる。

公害防止対策を策定するに当たっては、ジンバブエの法規を遵守すると共に、廃棄物の特徴を考慮し、クエン酸プラントが環境保全上の問題を起こさないよう十分な検討を行った。また、再利用が可能な廃棄物は、可能な限り有効利用を計ることとした。

### 9-1 ジンバブエ共和国の環境保護法

ジンバブエ共和国で制定され公布されている環境保護法は、ローデシア政府が1971年に制定した大気汚染防止法および水質汚濁防止法を改正したものである。

#### 9-1-1 大気汚染防止法

大気汚染防止法は、1971年に制定され、1973年に改正されている。本法は以下に示す7章から構成されている。

- 第1章：大気汚染諮問部
- 第2章：有害・不快ガスの制御
- 第3章：ばい煙による大気汚染防止
- 第4章：ダストによる大気汚染防止
- 第5章：内燃機関からの煙による大気汚染防止
- 第6章：大気汚染アピール部
- 第7章：その他

第2章で規定されている有害・不快ガスは以下の様なものである。

- (a) 一酸化炭素、炭化水素、アルコール、フェノール、タール、有機酸、イオウ、シアン化

物、シアン、アンモニア、無機酸または酸性酸化物等の物質を含有またはこれらの物質で構成されているガス

- (b) アルミニウム、アンチモン、ヒ素、ベリリウム、カドミウム、カルシウム、クロム、コバルト、銅、鉄、鉛、マグネシウム、マンガン、水銀、モリブデン、ニッケル、リン、カリウム、セレン、ケイ素、ナトリウム、イオウ、テルル、錫、タングステン、バナジウムまたは亜鉛等の物質を含有またはこれらの物質で構成されている煙霧
- (c) 主としてアスベスト粉末、セメント粉末、綿の粉末、鉄またはリンの酸化物、または砕石プラントのダストから構成されているダスト
- (d) 食用肉・魚の加工工場、紙製造工場、浄化プラントまたは皮なめし工場からの臭い
- (e) 上記の (a) ~ (d) 以外の微粒子、ガス、煙霧または臭い

同章は、「厚生省が、ガスおよびダストを規制する地域を指定することができ、指定地域内では許可なく特定の生産プロセスを建設・運転することはできない」と、規定している。ガス規制地域で規制対象となるプロセスは、硫酸、リン酸、過リン酸、銅・ニッケル、鉄・鋼、セメント、フェロアロイ、鉛、ガス・コークス、アンモニア、硝酸、硝安、粒状肥料、ヒ素の製造・精錬および火力発電の 15 プロセスである。

本法では具体的な規制値は定められていないが、1977年の規制 (Control of Emissions) にて、鉛について最大排出濃度を  $23\text{mg}/\text{m}^3$ 、煙突の最低の高さを 30m と規定している。

第3章で規定されているばい煙には、フライアッシュ、すす、ばい煙中の微粒子が含まれる。厚生省は、ガスおよびダストの場合と同様に、ばい煙規制地域を指定することができる。規制の内容は、ばい煙の色、濃度、燃料、燃焼設備に関する規制、制限および禁止事項などである。

第4章では、ダストによる公害を防止するため、公害の原因となる物質の性状、量などについての規制、制限および禁止事項などについて記述している。

以上述べたように、大気汚染防止法には、具体的な規制値は定められていないが、工場を建設する場合は環境影響評価表を厚生省に提出して許可を得なければならない。評価表への記載内容は、工場の建設場所、生産プロセス、大気汚染物質、公害防止装置、煙突の仕様など詳しいものとなっている。厚生省の担当官と同表を中心に交渉を行って、工場建設の許可を得ることとなっている。評価基準値は定められていないが、建設予定地の環境状況と同種類の工場の環境対策を参考にして評価が行われる。

## 9-1-2 水質汚濁防止法

水質汚濁防止に関する法規は「Water (Effluent and Waste Water Standard) Regulations, 1977」である。この規制では、河川を流域別にゾーン I、II に大別して規制値を定めている。ゾーン I については具体的に河川の流域を定め、それ以外の河川の流域をゾーン II としている。表 9-1 に両ゾーンにおける、廃水および流出水の規制値を示す。表記以外に、色・臭い・味および放射性物質に関する規定があり、何れも汚染を引き起こすことがない様に規定されている。

**Table 9-1 Prescribed Standards of Effluent or Waste Water**

	Zone I catchment area	Zone II catchment area
pH	6.0 ~ 7.5	6.0 ~ 9.0
Temperature of water	25 °C or less	35 °C or less
Dissolved oxygen	75% saturation or more	60% saturation or more
Chemical oxygen demand(COD)	30 mg / ℓ or less	60 mg / ℓ or less
Oxygen absorption by water	5 mg / ℓ or less	10 mg / ℓ or less
Total undissolved solids	10 mg / ℓ or less	25 mg / ℓ or less
Total dissolved solids	The total dissolved solids content of the receiving water must not be increased by more than 100% and the total dissolved solids content of the effluent shall not exceed 100 mg per liter.	
Soap, oil and grease	nil	less than 2.5 mg / ℓ or less

Source: Water (Effluent and Waste Water) Regulation, 1977

ハラレ市の下水管に工場廃水を流入させる場合のハラレ市の規制値を表9-2に示す。また、各種の化学物質に関する規制値を表9-3に示す。

**Table 9-2 Standards for the Control of Industrial Effluents Entering into the Sewerage System of the City of Harare**

pH	6.9 ~ 9.0
Settleable solids( $\text{cm}^3/\ell$ )	less than 10
Heavy metals(individual) ( $\text{mg}/\ell$ )	less than 50
Fats( $\text{mg}/\ell$ )	less than 400
Cyanides	Nil
Calcium carbide	Nil
Organic solvents	Nil
Mineral(engine) oil	Nil
Bitumen	Nil

Source: City of Harare

**Table 9-3 Maximum Permissible Concentrations of Certain Chemical Constituents**  
(Unit:  $\text{mg}/\ell$ )

Constituent	Zone I catchment area	Zone II catchment area
Ammonia free and saline(as N)	0.5	0.5
Arsenic(as As)	0.05	0.05
Barium(as Ba)	0.1	0.1
Boron(as B)	0.5	0.5
Cadmium(as Cd)	0.01	0.01
Chlorides(as Cl)	50	100
Chlorine residual (as free chlorine)	Nil	0.1
Chromium(as Cr)	0.05	0.05
Copper(as Cu)	0.02	0.5
Cyanides and related compounds(as CN)	0.2	0.2
Detergents (as manoxol-OT)	0.2	1.0
Fluoride (as F)	1.0	1.0
Iron(as Fe)	0.3	0.3
Lead(as Pb)	0.05	0.05
Manganese(as Mn)	0.1	0.1
Mercury(as Hg)	0.5	0.5
Nickel(as Ni)	0.3	0.3
Nitrogen total(as N)	10.0	10.0
Phenolic compounds(Phenol)	0.01	0.1
Phosphate(as P)	1.0	1.0
Sulphate(as $\text{SO}_4$ )	50	200
Sulphides(as S)	0.05	0.2
Zinc(as Zn)	0.3	1.0
Total heavy metals	1.0	2.0

## 9-2 クエン酸工場の環境対策

### 9-2-1 クエン酸工場から排出される廃棄物の種類

図9-1にクエン酸製造プロセスと排出される廃棄物の種類と排出箇所を示す。また、廃棄物の種類、量、性状などを表9-4に示す。

**Table 9-4 Kinds, Quantities and Properties of Wastes from a Citric Acid Plant**

Kinds of Waste	Amount Discharged	Properties	Countermeasures
<<Air Pollution>>			
Boiler exhaust gas	3,668 ~ 6,927Nm <sup>3</sup> /h	Dust Concentration: 17.1g/Nm <sup>3</sup>	Dust collector
-----			
<<Water Pollution>>			
Waste water	135m <sup>3</sup> /d	pH : 6 ~ 9 BOD : 10,000 mg / ℓ COD : 16,000 mg / ℓ SS : 200-300 mg / ℓ	Biologically treated & discharged to a sewer
Floor drains and cleaning water	100m <sup>3</sup> /d	pH : 6 ~ 9 BOD : 500mg / ℓ SS : 20 mg / ℓ	Discharged to a sewer
Waste water from the cooling tower	900m <sup>3</sup> /d	pH : 6 ~ 9 BOD : 15mg / ℓ SS : 10mg / ℓ	265m <sup>3</sup> /day discharged to the lagoon
Domestic waste water from plant employees	0.2m <sup>3</sup> /d/head	pH : 6 ~ 9 BOD : 200 mg / ℓ SS : 200 mg / ℓ	Discharged to a sewer
Domestic waste water from company residences	0.2m <sup>3</sup> /d/head	pH : 6 ~ 9 BOD : 200 mg / ℓ SS : 200mg / ℓ	Discharged to a sewer
-----			
<<Waste>>			
Waste mycelium	9 t/d	Water cont. : 80%	Compost
Gypsum	17 t/d	Water cont. : 25%	Marketable byproduct
Waste carbon	513 kg / d	Water cont. : 65%	Incineration
Coal ash	2 ~ 3.2 t/d	Water cont. : 20%	Marketable byproduct
Excess sludge	45 m <sup>3</sup> /d	Water cont. : 99%	Marketable as fertilizer
Dust removed from boiler exhaust gas	1 ~ 2.3 t/d	Water cont. : 5%	Marketable byproduct
Incineration ash	7 ~ 72 kg/d	Water cont.: 5%	Marketable byproduct

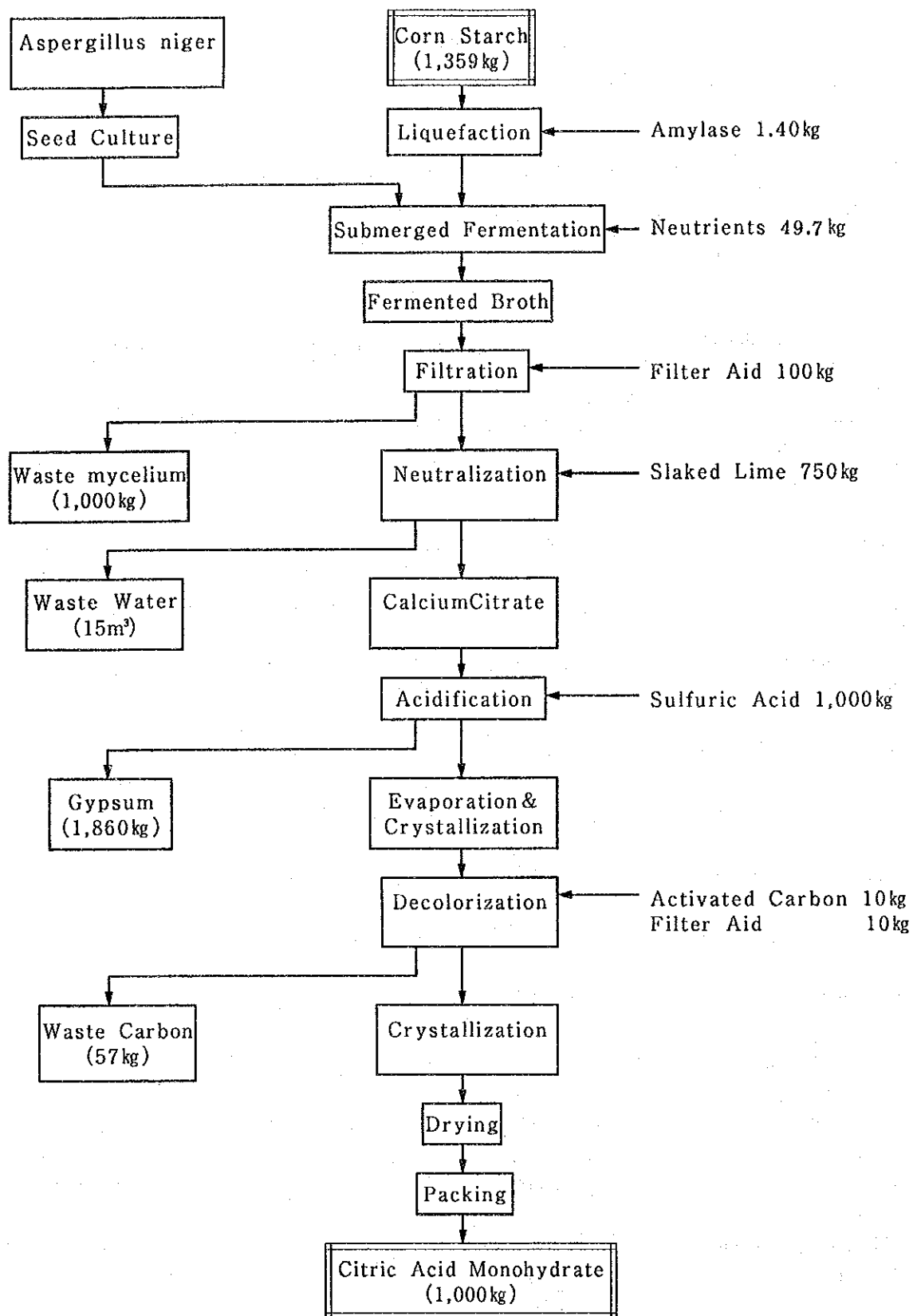


Figure 9-1 Kinds of Wastes from Citric Acid Plant

## 9-2-2 大気汚染防止対策

大気汚染防止対策を策定するに当たっては、対象となる物質の量・性質を分析し、法規制を満足する処理方法を導入する必要がある。

本クエン酸プラントでは製品の結晶、乾燥工程で蒸気を使用するため、ボイラーが設置される。ジンバブエでは石油製品が不足しているため、石炭ボイラーを使用することとなる。従って、廃ガス中の燃滓、フライアッシュ、すすなどの回収が重点項目となる。石炭ボイラーの仕様は以下が想定される。

- ・ 燃焼方式               : ストーカー方式
- ・ 蒸気                   : 平均4トン/時、最大8トン/時
- ・ 石炭消費量           : 平均450kg/時、最大850kg/時

ボイラー燃料には、ワンキー炭等の国内炭が使用される。ジンバブエで採掘されている石炭の分析値を表9-5に示す。

Table 9-5 Coal Specifications in Zimbabwe

	Dry	Washed	For Cooking		
1. Typical Coal Specification, %					
Inherent moisture	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 2.0		
Ash	12.5 ~ 15.0	11.0 ~ 14.0	9.0 ~ 11.0		
Volatile matter	22.0 ~ 25.0	23.0 ~ 26.0	25.5 ~ 27.5		
Fixed carbon	61.0 ~ 62.0	61.0 ~ 62.0	62.0 ~ 63.0		
Calorific value, MJ/kg	28.0 ~ 29.0	29.0 ~ 31.0	30.0 ~ 32.0		
Sulphur	2.5 ~ 2.8	2.0 ~ 2.5	1.25 ~ 1.55		
Phosphorous					
2. Maximum Moisture, %					
(as Despatched)	7	7	7		
3. Ash Fusion Temperature, °C					
	1,250	1,270	1,270		
4. Typical Ash Analysis, %					
Silica	38.2	Alumina	33.2	Iron Oxide	10.8
Calcium Oxide	11.4	Sulphate	2.2	Alkalies	2.0
Magnesium Oxide	0.4	Titanium Oxide	1.7	Phosphate	0.1



具体的に排ガス対策を立てるに当たっては、法規制を充分検討する必要がある。環境保護法のところで述べた様に、ダストに対する具体的な規制値はないが、工場建設の場合、大気汚染防止のため排ガス対策を厚生省に提出して双方で協議して工場建設の許可を得ることになっている。現地調査時にハラレ市の工場にて行った、既設のボイラーの排ガス対策に関する聞き取り調査の結果と予想される排ガスのダストの量・性質を総合的に考え合わせると、排ガス中のダストの除去率を90%以上にし、煙突の高さを20mとすれば、工場建設の許可がおりるものと判断される。

ダストの処理対策を検討するに当たっては、最初にダストの性状について検討した。石炭の燃焼によるダストの粒度分布を表9-6に示す。粒子径2.5 $\mu$ m以下のものは5.15%であるが、52.5 $\mu$ m以上のものは20%を占めている。

**Table 9-6 Dust Particle Distribution**

Type of Dust	: Ash
Density( kg /m <sup>3</sup> )	: 2,300
Bulk density( kg /m <sup>3</sup> )	: 1,200
Particle size( $\mu$ m)	Distribution(%)
less than 2.5	5.15
5.0	11.49
10.0	10.93
15.0	9.94
20.0	8.86
25.0	7.79
30.0	6.79
35.0	5.88
40.0	5.06
45.0	4.34
50.0	3.71
over 52.5	20.06
Total	100.00

ダストを低コストで効率よく取り除くことができる装置はサイクロンであり、サイクロンはジンバブエで広く用いられている。そこで、本調査でもサイクロンの採用を検討した。サイクロンの設計条件と仕様を表9-7および表9-8に示す。

**Table 9-7 Design Conditions for the Cyclone**

Type of gas	Flue gas
Flow rate, Nm <sup>3</sup> /h	3,668 ~ 6,927
Gas temperature, °C	190
Absolute pressure, mmH <sub>2</sub> O	10,330
Kind of dust	Ash
Concentration of dust, g/Nm <sup>3</sup>	17.1
Density of dust, kg/m <sup>3</sup>	2,300

**Table 9-8 Specification of the Cyclone**

Type of cyclone	Multi cyclone
Number of unit-cyclones	9
Unit-cyclone capacity, m <sup>3</sup> /min	21.8
Pressure drop, mm H <sub>2</sub> O	105
kPa	1.03
Cut-off size of particles, μm	2.7
Cyclone dimensions	
Diameter of cyclones, mm	616
Height, mm	1,848
Material of cyclone	
Material thickness, mm	3.2
Weight, kg	112.6
Housing weight, kg	2,685
Dust bunker	
Type	Hopper
Dimension, mm	2,148 × 2,148
Height, mm	1,787
Volume, m <sup>3</sup>	3.32
Period of dust discharge, hrs	3
Height of discharge point, mm	1,000
Thickness of bunker material, mm	4.5
Weight of bunker, kg	1,007
Cyclone support weight, kg	730
Total height, mm	6,135
Total weight, kg	5,435

上記の仕様のサイクロンの粒子に対する部分集じん率と総合集じん率は表9-9に示すとおりである。この表によれば、10  $\mu\text{m}$ 以上のダストの集じん率は99%以上、総合集じん率は91.34%となり、高い除去率が得られる。従って、本調査ではサイクロンを採用することとした。

サイクロンは図9-2に示す様な構造をしており、ボイラーからの排ガスはマルチサイクロンに導かれ、サイクロンで排ガス中のダストが除去され、排気筒から大気へ排出される。

サイクロンを設置するのに必要な面積は図9-3に示すとおりである。

Table 9-9 Cyclone Characteristics

Particle size ( $\mu\text{m}$ )	Partial collection efficiency(%)	Dust distribution (%)	Total collection efficiency(%)
2.5 less		5.15	
5.0	74.47	11.49	8.58
10.0	94.64	10.93	10.37
15.0	98.97	9.94	9.86
20.0	99.81	8.86	8.86
25.0	99.97	7.79	7.81
30.0	99.99	6.79	6.81
35.0	100.00	5.88	5.89
40.0	100.00	5.06	5.07
45.0	100.00	4.34	4.35
50.0	100.00	3.71	3.71
52.5 over	100.00	20.06	20.03
Total		100.00	91.34

Specifications of Dust collector  
 Type : Multi-cyclone  
 Treatment gas quantity : 6,927m<sup>3</sup>/h  
 Collector pressure loss : 105mmH<sub>2</sub>O  
 Motor out put : 18.5kW  
 Collector dimensions

Symbol	Dimension
C	6,135
C <sub>1</sub>	3,587
C <sub>2</sub>	2,548
A X B	2,148 X 2,648
D	2,250
H	20,000
H <sub>1</sub>	800

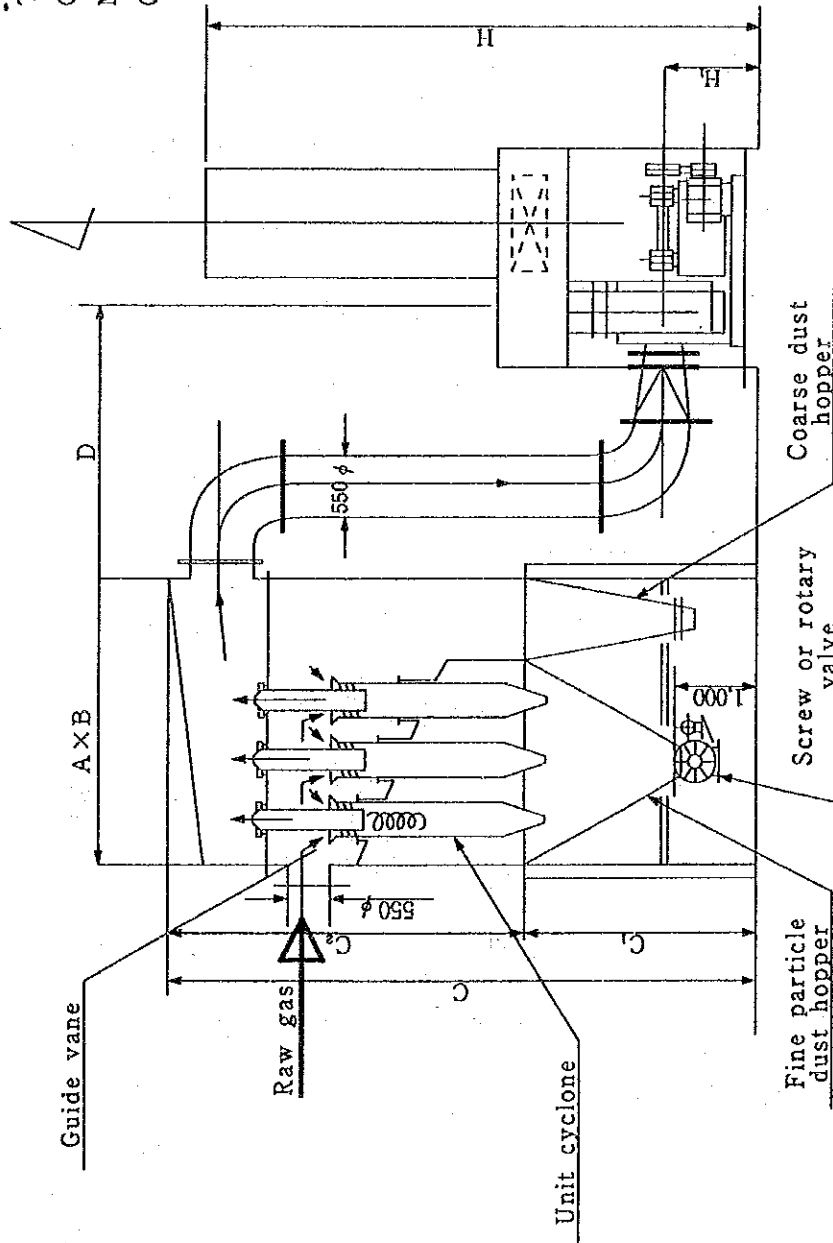


Figure 9-2-1 Structure Figure of Cyclone (1) : Multicyclone

Airflow	200m <sup>3</sup> /mix
Air pressure	300mmH <sub>2</sub> O
Gas	200°C air
r.p.m	1,950 r.p.m
Drive system	Belt drive
Out put	18.5kw
Pole No.	4 P
Voltage	3 φ 200V60Hz
r.p.m	1,750 r.p.m

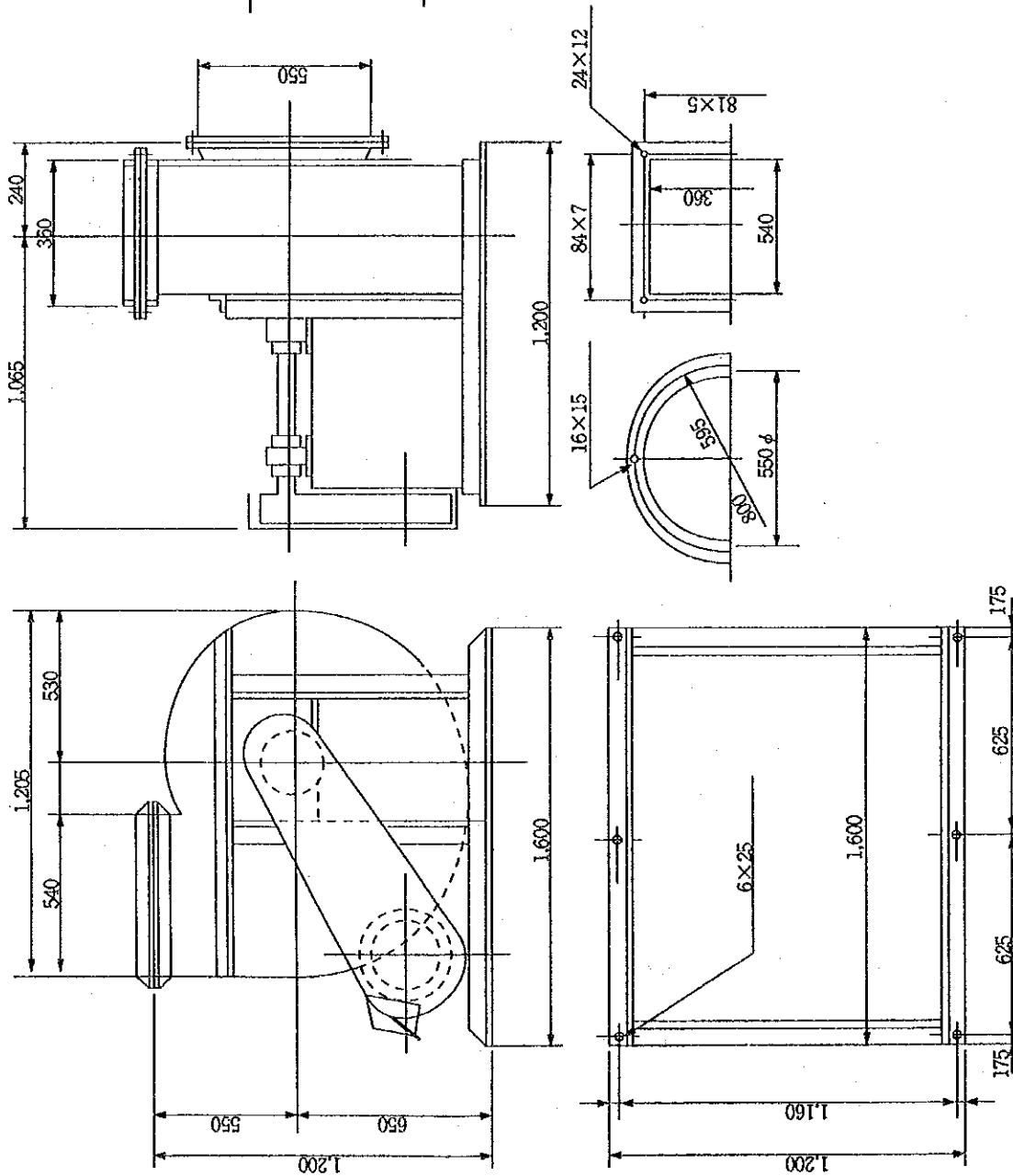


Figure 9-2-2 Structure Figure of Cyclone (2) : Exhaust Fan

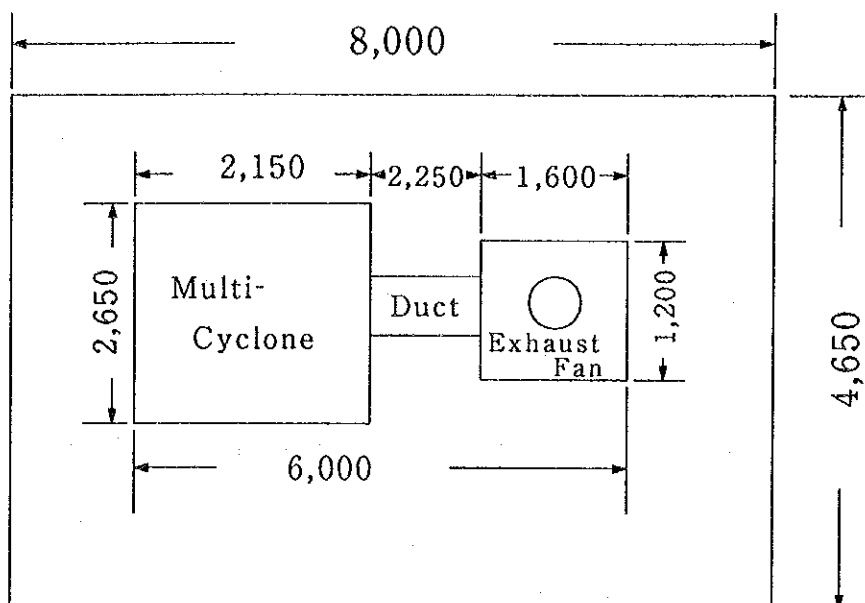


Figure 9-3 Installation Area

### 9-2-3 水質汚濁防止対策

#### (1) 事前検討事項

##### (a) 法規制

水質汚濁防止法のところで述べたように、廃水の放流について規制値が設けられている。高濃度の総合排水は、生物処理を行った後に、ハラレ市の下水道管に流入されることになる。ハラレ市は、工場排水を下水道管に放流する場合の基準を設けている。しかし、この規制にはBOD、CODに対し規制がなく、またSSに対する規制は緩やかである。ハラレ市の下水処理水は、河川を経てMcIlwaine湖に流入している。この湖は、生活污水、工場廃水、農薬などにより富栄養化が著しく進み、ほていあおいが大繁殖して取水、船の航行にも支障を生じて大きな問題となっている。従って、湖への流入負荷削減のためにも、クエン酸工場の廃水を適切に処理する必要がある。

##### (b) 削減目標

ハラレ市の規制値(表9-2、3参照)および表9-10に示した日本の下水処理に関する除害施設に関する規制を参考として、以下の処理基準を設定する。

- pH : 6~9 (ハラレ市)
- BOD : 600mg/ℓ (日本)
- SS : 60mg/ℓ (日本)

**Table 9-10 Regulations for an Industrial Pretreatment Facility In Japan**

pH	5.0 ~ 9.0
BOD (mg/ℓ)	less than 600
SS(mg/ℓ)	less than 60
n-Hex.(mg/ℓ)	
Mineral oil	less than 5
Vegetable oils and fats	less than 30

**(2) 廃水処理に当たっての基本方針**

上記の削減目標に基づき、工場の生産プロセスからの廃水および工場周辺からの各種排水の処理について下記のとおりとする。

- ・生産プロセスからの高濃度廃水は、生物処理を行って、下水管に放流する。
- ・工場の床排水、洗浄排水はBOD濃度およびSSが低いので、処理しないで下水管に放流する。
- ・冷却水の排水は、高濃度排水の希釈水としてラグーン槽に流入させる。
- ・工場従業員および社宅の生活排水は、下水管に放流する。
- ・ボイラーのブロー水および焼却灰の洗浄排水は下水管に放流する。
- ・余剰汚泥は、コンポスト（堆肥）としてとりもろこし畑に散布する。

**(3) 排水処理システムの概念設計**

システムの概念設計を行うに当たり、最初に原水の水質と量を検討する必要がある。原水の水質は表9-11に示す様にBOD、COD値が高く、SS濃度は低い。原水の処理量は以下のとおりである。

- ・最大処理量：400 m<sup>3</sup>/日
- ・稼働時間：24 時間/日
- ・処理対象BOD量：1,354 kg/日

**Table 9-11 Characteristics of Raw Waste Water**

pH	6.0 ~ 9.0
BOD (mg/ℓ)	10,000
COD (mg/ℓ)	16,000
SS(mg/ℓ)	200 ~ 300
Water quantity(m <sup>3</sup> /day)	135

処理水の水質目標は、表9-12に示すとおりである。

**Table 9-12 Quality of Treated Waste Water**

pH	6.0 ~ 9.0
BOD (mg/ℓ)	less than 600
SS(mg/ℓ)	less than 60
Water quantity(m <sup>3</sup> /day)	400

プロセス処理に際しては、原水のBODが10,000mg/ℓという高濃度のため、冷却塔の排水(265m<sup>3</sup>/日)で3,385mg/ℓに調整した後に、生物処理を行う。処理プロセスは以下のとおりである。

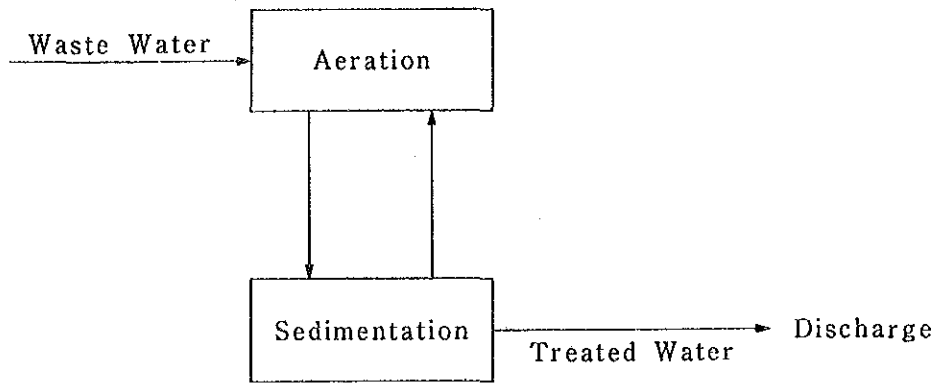
- ・一次処理：スクリーン法、目幅：0.5mm
- ・二次処理：回転式ラグーン法、BOD容積負荷：0.3kg/m<sup>3</sup>・日

生物処理法には、活性汚泥法と、嫌気性消化法およびラグーン法の3方法がある。本プラントでは、従来のラグーン法を改良した回転式ラグーン法を採用する。

回転式ラグーン法の模式図を図9-4に示す。この方法は単一の活性汚泥処理槽で、排水を処理するもので、原水流入、ばっ気工程、沈澱工程、処理水放流を連続して繰り返す処理方式である。この方式の特徴は以下のとおりである。

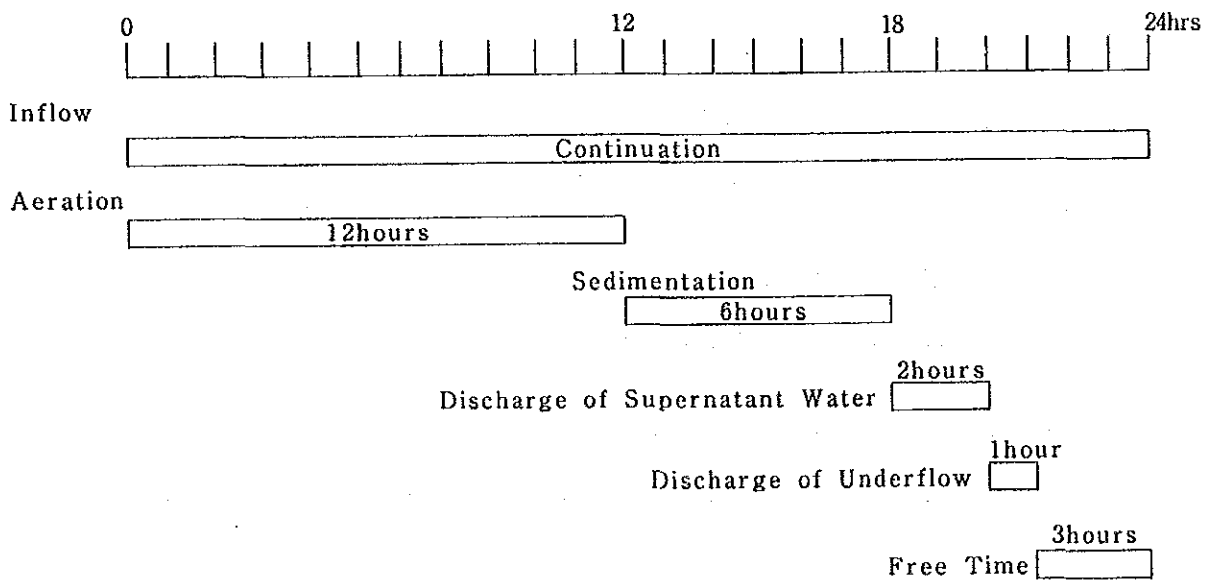
- ・構造が簡単で、建設が容易である。建設費用も他の処理方法と比較して安価である。
- ・従来のラグーンより処理効率が高い。
- ・処理システムの自動制御によって、流入負荷の減少に即応してばっ気動力が自動的に制御されるので少ない動力で安定した処理が可能である。
- ・垂直、水平ばっ気システムにより、ラグーン内の完全混和によるエネルギーレベルは標準活性汚泥法より低く、省エネルギーが可能である。
- ・自動制御システムにより、ばっ気出力の制御による硝化、脱窒制御が可能である、高性能ラグーンシステムである。





**Figure 9-4 Model of Batch Type Lagoon Process**

運転スケジュールは図9-5に示すとおりである。また、回転式ラグーン処理システムのフローシートを図9-6に示す。



**Figure 9-5 Operating Schedule of a Lagoon Tank**

回転式ラグーンの断面図および所要寸法は図9-7に示すとおりである。また、参考として実例(容積4,000m<sup>3</sup>、直径32m、深さ9m)の外観を写真9-1に示す。

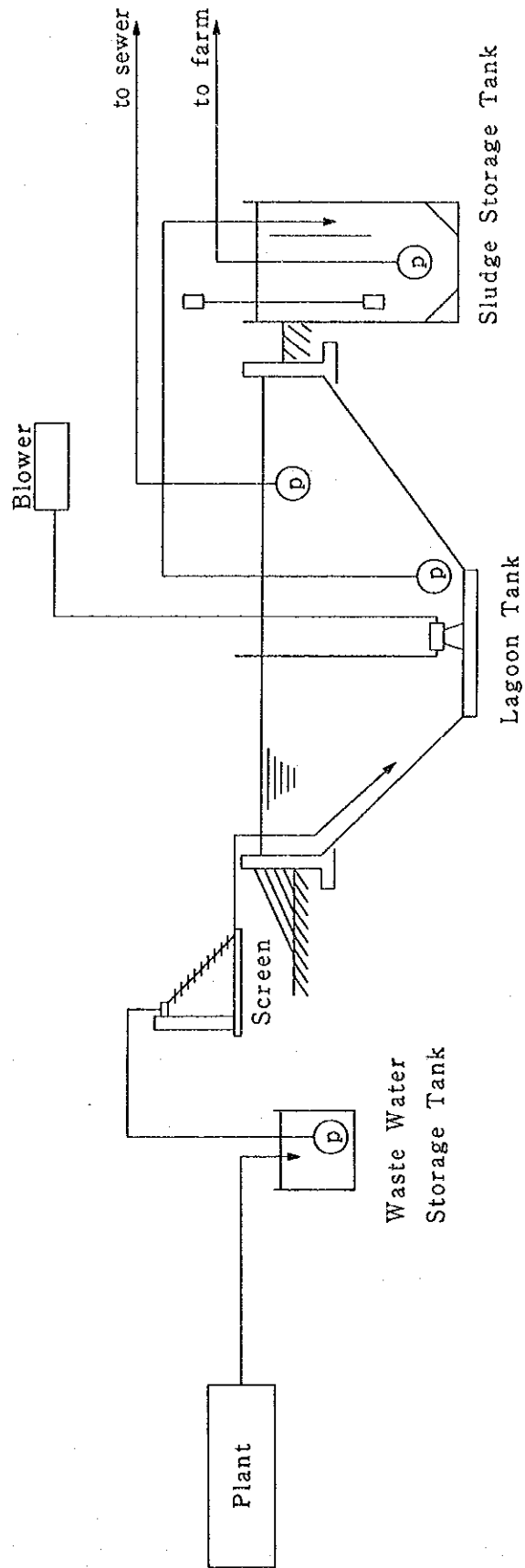
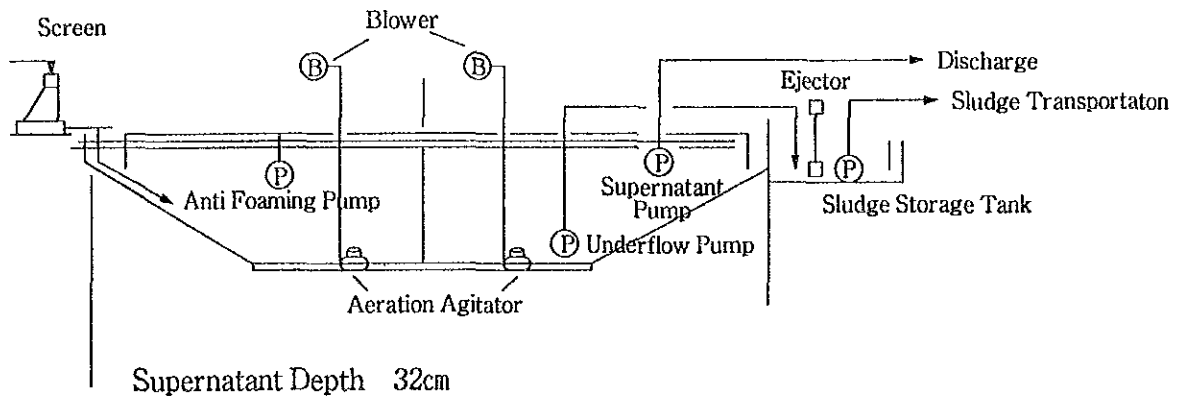


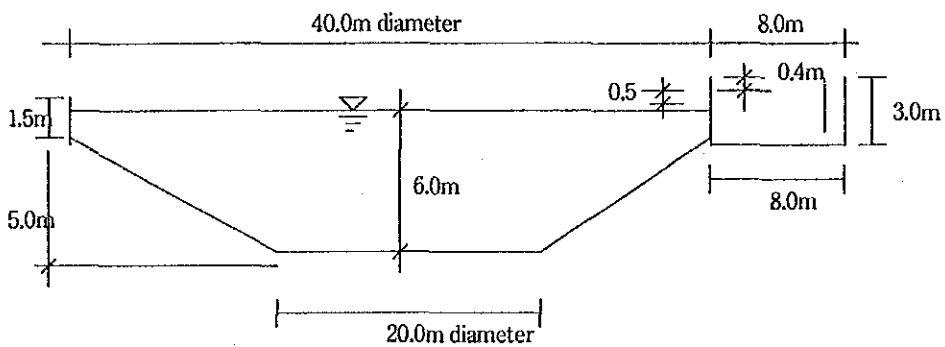
Figure 9-6 Flow Sheet of Batch Type Lagoon System



Unde-flow Time 1h  $54\text{m}^3/60\text{min}=900\text{l}/\text{min}$

Discharge Time 2h  $400\text{m}^3/120\text{min}=3.33\text{m}^3/\text{min}$

### Dimensions of Lagoon Tank



**Figure 9-7 Cross Section and Principal Dimensions of a Lagoon Tank**



Lagoon Capacity : 4,000m<sup>3</sup>  
 Diameter of Lagoon Tank : 32m  
 Depth of Lagoon Tank : 9m

Picture 9-1 Appearance of a Batch Type Lagoon(Actual Example)

(4) 設備仕様

(a) 水槽

水槽は以下のものとする。

- ・構造 : 鉄筋コンクリート製、アスファルト構造、管理橋はH鋼製
- ・仕上げ : 内側のコンクリート部は防水モルタル仕上げ、外側は防水処理なし

水槽の種類と仕様を表9-13に示す。

汚泥の発生量は、除去BOD量の40%とすると、以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 & 400\text{m}^3/\text{日} \times (3,385\text{mg}/\ell - 600\text{mg}/\ell) \times 0.4 \\
 & = 400\text{m}^3/\text{日} \times (3.385\text{kg}/\text{m}^3 - 0.6\text{kg}/\text{m}^3) \times 0.4 \\
 & = 445.6\text{kg}/\text{日}
 \end{aligned}$$

引き抜き汚泥量は、引き抜き汚泥濃度を10,000mg/ℓ (10kg/m<sup>3</sup>)とすると、以下のとおりとなる。

$$445.6\text{kg}/\text{日} \div 10\text{kg}/\text{m}^3 = 45\text{m}^3/\text{日}$$

汚泥貯留量は発生量の3日分で、45m<sup>3</sup>×3日=135m<sup>3</sup>となる。

Table 9-13 List of Waste Water Tanks

Name	Quantity	Specification
Lagoon tank	1	<p>Effective capacity: 4,919m<sup>3</sup></p> <p>Dimensions</p> <p>Diameter: 40m</p> <p>Bottom Diameter: 20m</p> <p>Retaining wall height: 1.5m</p> <p>Depth of conical section: 5m</p> <p>Water Depth: 6m</p> <p>Construction</p> <p>Retaining wall: Reinforced concrete</p> <p>Inclined surface: Asphalt layer(4mm)</p>
Sludge storage tank	1	<p>Effective capacity: 160m<sup>3</sup></p> <p>Dimensions: 8m × 8m × 3m</p> <p>(effective depth 2.5m)</p>
Waste water storage tank	1	<p>Effective capacity: 25m<sup>3</sup></p> <p>Dimensions: 3m × 3m × 3.5m</p> <p>(effective depth 2.8m)</p>

(b) 機器設備

回転式ラグーンに用いられる機器の種類と仕様を表9-14にまとめる。

(5) 設備の所要面積

回転式ラグーンシステムに必要なスペースを図9-8に示す。

(6) ユーティリティー

システムの運転に必要な用役（電力）は、以下のとおりである。

- ・ 受電 : 交流 6,000V、50Hz、3相
- ・ 動力 : 交流 220V、50Hz、3相
- ・ 計装、制御 : 交流 220V、50Hz、単相
- ・ 照明 : 交流 220V、50Hz、3相

**Table 9--14 Equipment List for the Waste Water Treatment Facility**

Name	Quantity	Specification
Fine screen	1	Type: Vertical screen, 25m <sup>3</sup> /h, Spacing of screen 0.5 mm Stainless steel
Aeration agitator	4	15kW Open portion 2,900 mm Size: $\phi$ 2,120 mm , H 2,390 mm 3,000 kg /each, 14Nm <sup>3</sup> /h
Blower	4	15kW Size: 1,350 mm (L) $\times$ 920 mm (W) $\times$ 1,650 mm (H) 776 kg /each, 14Nm <sup>3</sup> /h
Anti foaming pump	2	2.2kW, 200V Head 10m, 0.6m <sup>3</sup> /min, 34 kg
Underflow pump	1	5.5kW, 200V, Head 15m 1.0m <sup>3</sup> /min, 55.5 kg
Supernatant pump	2	5.5kW, 200V, Head 15m 1.0m <sup>3</sup> /min, 55.5 kg
Ejector for sludge agitation	4	2.2kW, 200V, 45Nm <sup>3</sup> /h.m,3mAq 63m <sup>3</sup> /h, 75 kg
Waste water pump	1	5.5kW, 200V, H 15m, 2.5m <sup>3</sup> /min
Sludge transportation pump	2	Depends on transportation distance
	(spare 1)	
Automatic panel	1	Main&sub switches Over--current relay Over--voltage relay Time switch Instrument inverters: 15 kW $\times$ 8 Instrumentation: DO, ORP Recorder: 6 points
Safety fence	150m	H 0.9m, around the perimeter of the lagoon tank

Waste Water  
Treatment Facility  
Area 45m×60m

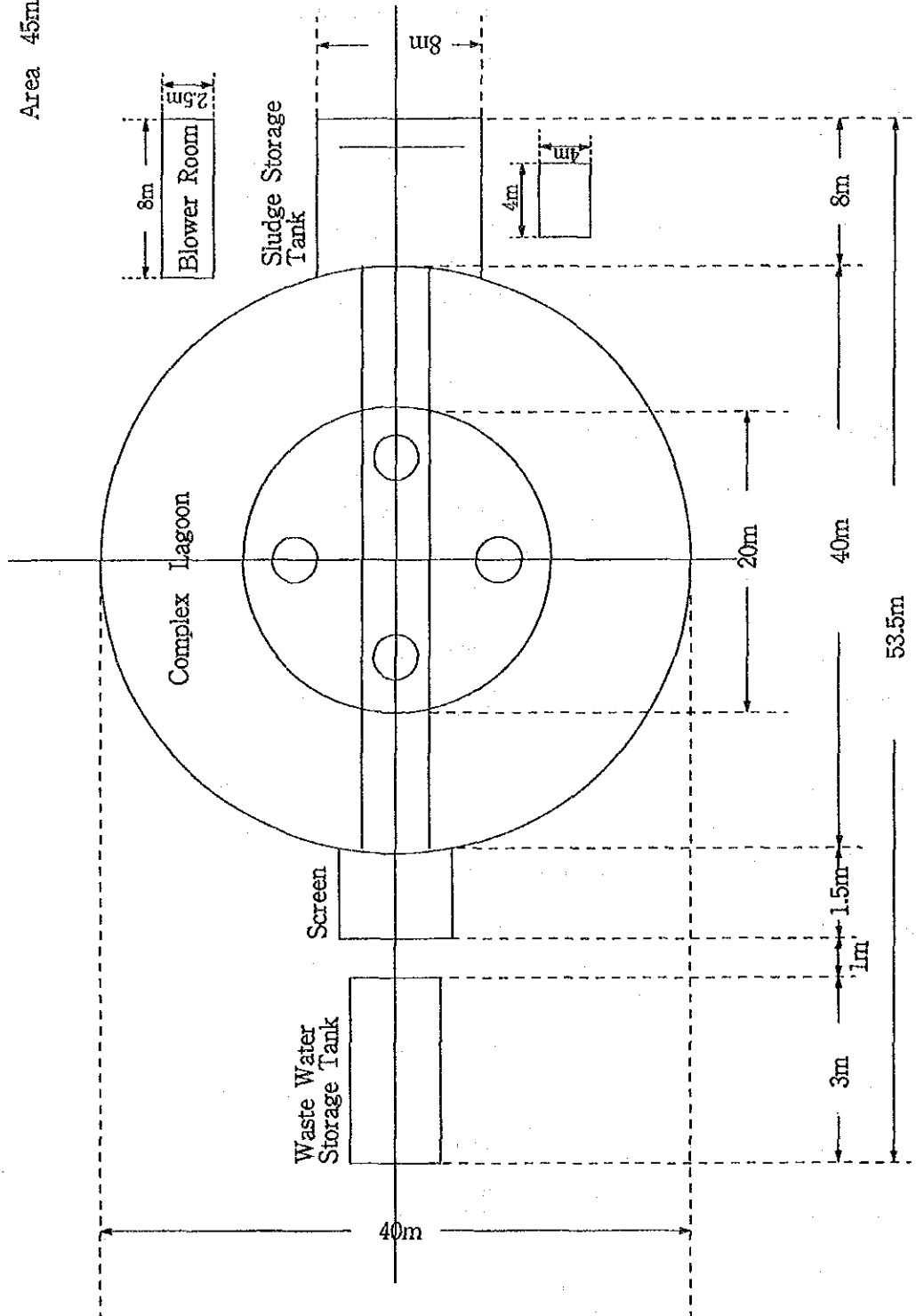


Figure 9-8 Installation Area of Batch Type Lagoon

#### (7) その他の排水処理

クエン酸製造工程からの濃厚廃水以外は、処理しないでそのまま下水管に放流する。理由は、何れもBOD値が低いためである。対象排水は以下のとおりである。

- ・床排水、洗浄排水
- ・冷却塔の排水
- ・ボイラーのブロー水
- ・従業員生活排水（工場および社宅）
- ・ボイラーの焼却灰冷却排水

### 9-2-4 廃棄物処理

#### (1) 廃棄物処理の基本方針

クエン酸プラントからは以下に示す廃棄物が発生する（表9-4参照）。

- ・菌体 : 9トン/日
- ・石膏 : 17トン/日
- ・廃活性炭 : 513kg/日
- ・石炭灰 : 2.0～3.2トン/日
- ・余剰汚泥 : 45m<sup>3</sup>/日
- ・ボイラーのダスト : 1.0～2.3トン/日
- ・焼却灰 : 7～72kg/日

廃棄物の処理に当たっては、できる限り再利用を図るものとする。また、廃棄物の量が多いので、再利用が充分できない場合に備えて、焼却を行うことを併せて検討する。

#### (2) 廃棄物の再利用

##### (a) 菌体

菌体の排出量は約9トン/日である。水分が80%と比較的多い状態であるので、水分を30%程度まで下げて、コンポストとして農地への利用を考える。

##### (b) 石膏

クエン酸プラントから最も多量に排出される廃棄物は石膏で、一日当たりの排出量は約17トンである。石膏は以下に示す用途に利用可能である。

- ・セメント用
- ・石膏ボード用
- ・プラスター用
- ・焼石膏



・農業用

(c) 石炭灰

排出量は2.0～3.2トン/日である。石炭灰は、セメント、肥料、路盤強化材の材料等に利用可能である。

(d) ボイラーのダスト

ボイラーの集塵機からのダストの排出量は1.0～2.3トン/日である。このダストは路盤強化材として利用可能である。

(e) 焼却灰

廃活性汚泥を焼却した焼却灰の量は約7kg/日である。また、菌体を廃活性炭と共に焼却すると約72kg/日の焼却灰が発生する。これらの焼却灰は、石炭灰と同様の用途がある。

(f) 余剰汚泥

余剰汚泥は消化の進んだ有機質で、臭気も少ない。ラグーン施設から水中ポンプを利用して、直接、農地に肥料として散布することができる。農地に散布された汚泥中の水分は数時間で土中に浸透し、汚泥の表面にヒビ割れが生じる。

参考として、回転式ラグーンからの引き抜き汚泥をピーナツ畑に散布した状況を写真9-2に示す。

(3) 焼却炉

(a) 焼却炉の仕様

10トン/日の廃棄物を焼却処理するものとする。

・焼却炉 : 300kg/時間、2台

・稼働時間 : 16時間/日

焼却炉の外観と所要面積を図9-9に、仕様を表9-15に示す。



(a) Sprinkling of Sludge



(b) Sprinkling State



(c) Cracks on Sludge Surface after several hours

**Picture 9-2 Sprinkling of Sludge on Peanut Farm(Actual Example)**

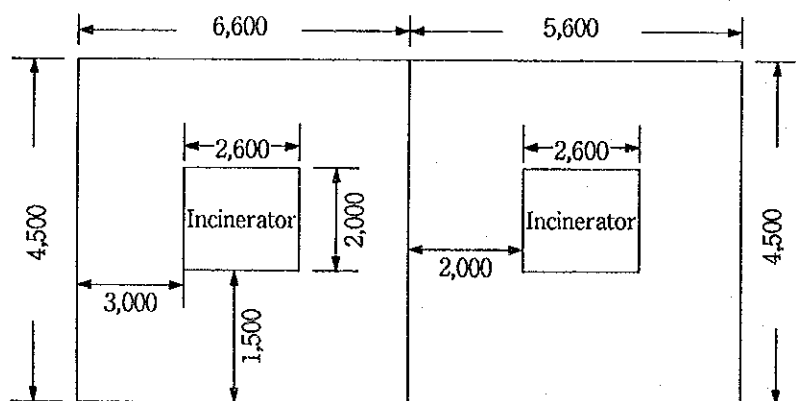
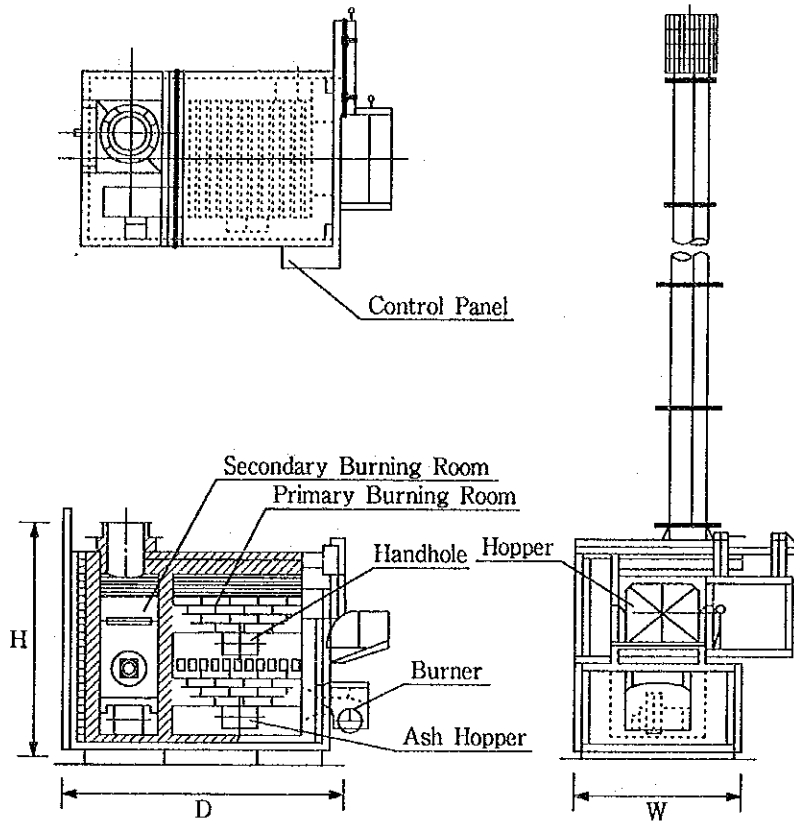


Figure 9-9 Incinerator and Installation Area

**Table 9-15 Incinerator Specification**

---

Incinerator	Dimensions	: 1,605 mm (H) × 2,240 mm (W) × 1,320mm(L)
	Hopper	: 400 mm × 500 mm
	Stoker surface	: 0.74 m <sup>2</sup>
	Primary capacity	: 0.73 m <sup>3</sup>
	Total capacity	: 1.13 m <sup>3</sup>
	Weight	: 4,500 kg
	Chimney	Height
Outside diameter		: 420 mm
Secondary burner	Output	: 0.25kW
	Fuel oil	: 4 ~ 19 ℓ /hr
Combustion system	Fire grate, forced heating system, and secondary combustion system	
Dust collector	Gravity type	

---