

ジンバブエ共和国
クエン酸工場建設計画
調査報告書
(要約版)

1992年 3 月

国際協力事業団



LIBRARY

鉦計工
C R (3)
92-046

534/68x

JICA LIBRARY



1096753(7)

23452

ジンバブエ共和国
クエン酸工場建設計画
調査報告書
(要約版)

1992年3月

国際協力事業団



国際協力事業団

23452

目 次

	<u>ページ</u>
第1章 調査の概要	1
第2章 要約	3
第3章 ジンバブエ国の社会・経済の概況	7
第4章 クエン酸および製造技術	9
第5章 クエン酸および副産物の市場	12
第6章 ジンバブエの農業	23
第7章 原料および副原料	27
第8章 プラントサイトおよびインフラストラクチャ	30
第9章 環境対策	33
第10章 クエン酸発酵試験	37
第11章 プロジェクトスキーム	41
第12章 プラントの概念設計	44
第13章 建設工事および建設コスト	51
第14章 プロジェクトの実施計画	55
第15章 総所要資金	58
第16章 財務分析	61
第17章 経済分析	66
第18章 結論と提言	69

第1章 調査の概要

1-1 はじめに

クエン酸は、さわやかな酸味を有し、人体に対する安全性が高く、価格も安価であるため、飲料・食品、医薬品等の分野で広範に使われている。クエン酸が最も多く使用されている分野は清涼飲料水の酸味料である。酸味料の約75%はクエン酸で占められている。

ジンバブエにおいても、清涼飲料水用を中心に各種食品、医薬品等の分野で広く用いられている。同国における清涼飲料水の需要は、人口増加率、GDP成長率を越える伸びを示しており、クエン酸需要も順調に増加するものと期待されている。現在、クエン酸消費量の全量(約620トン/年)が輸入されているが、内陸国のため輸送費がかさむこともあり、同国のクエン酸価格は国際価格に比べ、割高となっている。このような状況下、国内ユーザーはクエン酸の国内生産・供給に対し、大きな期待感を持っている。

クエン酸は、モラセス、澱粉糖化液、コーンスターチ、芋の澱粉搾り粕等の炭水化物を原料とする発酵法により生産されている。ジンバブエは農業が盛んで、クエン酸の原料となるメイズ、砂糖等の生産量も多く、諸外国に輸出も行っている。一方、ジンバブエは、サハラ以南において、南アフリカ共和国に次いで製造業が発達しており、クエン酸工業立地の鍵となる電力事情・インフラストラクチャも極めて良好である。

現在、世界のクエン酸需要は約50万トンで、その80%以上が欧州、北米で生産されている。アフリカ・中近東地域でのクエン酸生産はイスラエルとトルコで行われており、生産能力は世界全体の3~4%を占めているに過ぎない。欧米系の大手5大クエン酸メーカーは、世界生産量の約75%を保有している。それら大手は寡占的市場の構造下、製品の販売を基本戦略としており、一般に製造技術の供与を行っていない。一方、日本のクエン酸メーカーは独自の技術を開発し、生産を行っている。日本製のクエン酸品質は世界的に最高の水準にある。

以上の状況下、ジンバブエ共和国政府は、国内で生産される農産物を原料とするクエン酸工場建設の実現可能性についての調査を日本政府に要請してきた。本計画は国内資源を活用し、外貨の節約と獲得を目的とし、投資コストも比較的安いため、ジンバブエ共和国政府の工業振興計画に合致したプロジェクトである。以上が本計画調査の背景である。

1-2 調査の目的と範囲

本調査の目的は、ジンバブエ国内で、現在あるいは近い将来、入手可能な原料を利用する

クエン酸製造の実現可能性を技術、財務および社会経済面から調査・検討し、報告書に取りまとめることである。本調査では、国際協力事業団の事前調査団とジンバブエ側のカウンターパートである工業開発公社 (IDC : Industrial Development Corporation of Zimbabwe Limited) 並びに監督省である工業・商業省 (MIC : Ministry of Industry and Commerce) との間で合意・署名した SCOPE OF WORK (S/W) に基づき調査・分析を行った。

国際協力事業団は本計画の現地調査のため、1991年5月30日より6月25日まで、現地調査団をジンバブエ共和国に派遣した。

1-3 調査の方法

クエン酸は各種の炭水化物を原料として発酵法により生産される。発酵法は微生物の働きを利用するプロセスであるため、原料、菌株、発酵条件の適否により発酵成績に大きな差が表れる。従って、本調査では、現地調査時に採取した以下に示すジンバブエ産の原料を用いて、日本で発酵試験を行い、原料とプロセスの適合性の検討を行った。

・コーンスターチ (2種類)	: 各 10kg
・サツマイモ切干 (薄切りにした後、天日乾燥したもの)	: 24kg
・キャッサバ切干 (薄切りにした後、天日乾燥したもの)	: 3kg
・粗糖	: 3kg
・粗糖から精製糖を得る工程で得られるシロップ (Affination Syrup)	: 3kg
・濃縮ケーンジュース (Condensed Sugarcane Syrup)	: 5kg
・粗糖から精製糖を得る工程で得られるモラセス (Process Molasses)	: 3kg
・粗糖を2回析出させた後の母液 ("B" Molasses)	: 5kg
・バガス (担体として使用)	: 12kg
・白メイズ (成分分析用)	: 1kg
・黄メイズ (成分分析用)	: 1kg

次いで、発酵試験結果に、原料事情 (価格、供給可能量)、市場調査に基づく適正プラント規模、プラントサイト等に関する調査結果を加味し、最も実現可能性の高いプロジェクトスキームを選定した。そして、プラントの概念設計、建設費の積算および財務・経済分析を選定されたプロジェクトスキームに基づき行った。

本調査報告書は以上の方法により作成されたもので、要約を記述したものである。調査の詳細は別途、報告書本文に示される。

第2章 要 約

2-1 プロジェクトスキーム

- 製品 : クエン酸一水和物 (BP 規格)
- 生産能力 : 年産 3,000 トン (液内発酵法)
- プラントサイト: ハラレ市近郊の Mukuvisi 地域

2-2 クエン酸市場

(1) 対象域内の市場規模

Country	Demand (metric tons)			Average Annual Growth Rate, %
	1990	1996	2000	1990 - 2000
- Zimbabwe	620	910	1,180	6.7
- Republic of South Africa/ S.A. Customs Union	3,500	4,700	5,750	5.1
- Other Countries	500	600	670	3.0
Total	4,620	6,210	7,600	5.1

(2) 潜在販売力

上述の市場規模に対し、プラントの運転開始2年目と想定した1997年のマーケットシェアはジンバブエ国内約83%、南ア/関税同盟諸国36%、他の周辺諸国52%、そして域内全体では45%と推定した。同年の国内対輸出の販売量比率(重量ベース)は28:72であるが、国内需要の伸びとともに国内シェアが増加し、2010年には50:50になる。

2-3 原材料と発酵技術

(1) 原材料 - ジンバブエ産コーンスターチ(消費量: 4,100 トン/年)

ジンバブエ産原料を日本に持ち帰り、発酵試験を行った。その試験の結果、ジンバブエ国内産のコーンスターチは充分使用可能であると認められた。ジンバブエ国内での現在のコーンスターチ生産量は約12,000トン/年で、クエン酸生産用としての供給余力はない。しかし、コーンスターチの国内需要が高く、拡張計画もあることより、本計画の具体化に伴い、クエン酸消費分の供給は充分可能で、かつ実現性が高い。コーンスターチの原料となるメイズの

必要量は約 6,000 トン／年。年間 100 万トン以上の生産量を誇るジンバブエにとっては小量であり、問題はない。なお、本調査ではコーンスターチの価格を 562Z\$ / トンと設定した。

(2) 発酵技術 - 液内発酵法

(液体の培地を仕込んだ発酵槽に植菌し、無菌空気を通気しながら発酵を行う)

2-4 プラントの概要

プラントは発酵プロセスおよび精製プロセスより構成される。3 種類の発酵槽で順次植菌・培養し、蓄積されたクエン酸を精製工程でクエン酸カルシウムとして晶析・分離した後、このカルシウム塩を硫酸で分解し、さらに濃縮して結晶クエン酸を得る。環境対策処理設備としては改良型ラグーン処理設備およびサイクロンを設け、廃液・廃ガスの処理を行う。

2-5 総所要資金内訳

- プラントコスト : US\$ 24.33 million
- 操業前費用 : US\$ 0.74 million
- 初期運転資金 : US\$ 0.10 million

以上の他、借入金に対する建中金利が別途含まれる。

2-6 財務分析の結果

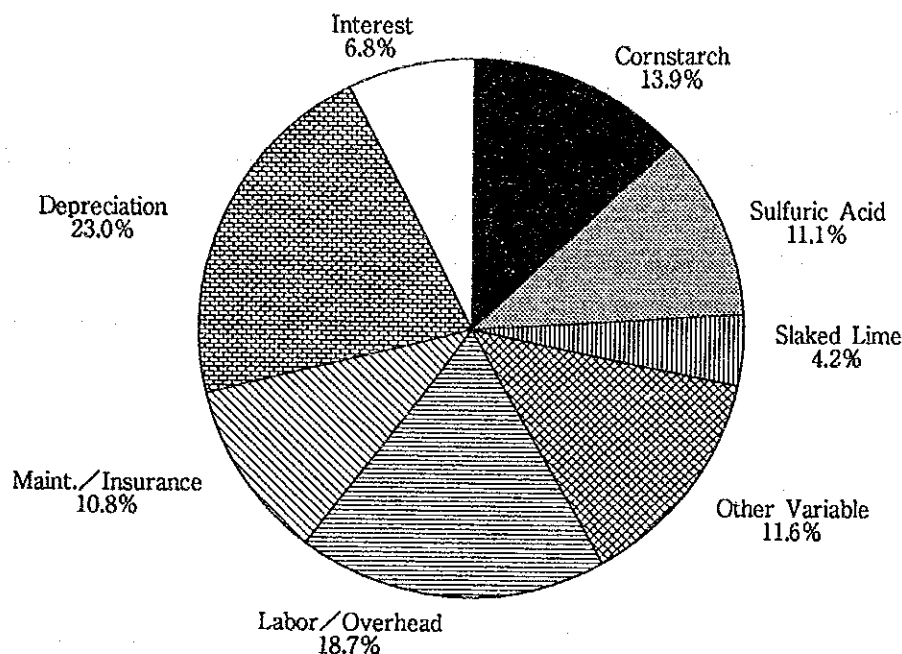
(1) 総所要資金は自己資金、外国銀行からの長期借入金、およびジンバブエ国内銀行からの長期借入金により賄われ、資金構成比率はそれぞれ 32 %、38 % および 30 % である (外国銀行からの長期借入金金利が 4.5 % の場合)。外国銀行からの長期借入金金利は 10.75 % (ケース 1) および 4.50 % (ケース 2) の 2 ケースを設定した。国内金利はジンバブエドルベースで 20.0 % である (ただし、為替レートのインフレを考慮後の US ドルベース金利を 4.60 % とした)。

(2) 製品単価 (工場渡し価格)

- ジンバブエ国内価格 : 2.26 US\$/kg
- 周辺諸国向け価格 : 1.40 ~ 1.54 US\$/kg
- 20 年間平均の製品単価 : 1.81 US\$/kg

(3) 原価構成 (ケース2の場合)

— 20年間平均の製造原価 : 1.75US\$ / kg



(4) 財務分析結果

Indicators	Base Cases		Sensitivity Cases (based on Case 2)		
	Case 1	Case 2	Product Price	Operation Cost	Plant Cost
			20% up	20% down	30% down
IRROI (a/tax)	1.5%	1.5%	4.9%	3.9%	4.5%
IRROE (a/tax)	—	-0.1%	7.0%	5.1%	6.2%
Production Cost (US\$/kg)	1.87	1.75	1.75	1.50	1.54
Total Profit after/tax (MMUS\$)	-6.5	2.0	14.8	10.8	9.5
Cum. Cash Surplus (MMUS\$)	-0.3	8.3	21.1	17.2	14.0

2-7 経済分析の結果

(1) 経済的便益・費用を評価し、プロジェクトの経済的内部収益率は以下のように算出された。

	基本ケース	感度分析ケース			
	(100%)	(100%)	(100%)	(120%)	(80%)
(経済的便益)	(100%)	(100%)	(100%)	(120%)	(80%)
(外貨プレミアム)	(1.50)	(1.33)	(2.00)	(1.50)	(1.50)
経済的内部収益率:	5.5%	3.7%	9.4%	11.0%	-2.5%

(2) プロジェクト期間中（20年間）の外貨収支

- ・通常の銀行ローンを想定したケース : 約 5,683 万 US\$ のプラス
- ・ソフトローンを想定したケース : 約 6,392 万 US\$ のプラス

2-8 結論

財務分析の結果は必ずしも良好な収益性を示していない。これは世界のクエン酸業界の厳しい状況をそのまま反映している。さらに南部アフリカ域内の限られた市場規模とジンバブエ国内産業が抱える固有の課題（原材料・輸送費・人件費等が比較的高い）に大きく起因している。従って、年産 3,000 トン規模のプラントを新設して、クエン酸業界へ新規参入する事は容易ではない。本プロジェクトを推進することは困難であると判断する。

第3章 ジンバブエ国の社会・経済の概況

ジンバブエ共和国は、約 391,000km²の国土を持ち、アフリカ大陸の南部に位置する。1980年 4月 18日に独立し、ムガベ大統領を元首とする共和国となった。人口は 937万人（1990年推定）、首都はハラレ市である。国土のほとんどが海拔 1,000m 以上の高原であるため、亜熱帯性の気候を示す。マルクス・レーニン主義をイデオロギーとする ZANU-PF 党（総裁：ムガベ大統領）がジンバブエ共和国の政権を担当する唯一の政党である。野党の勢力は乏しい。

1980年の独立以前はスミス首相の率いるヨーロッパ人少数派による政権国家であった。1965年、同政権は宗主国である英国の意向に反して、一方的独立宣言 (UDI) をし、「ローデシア共和国」と呼称した。これに対して全世界から非難を浴び、遂には国連の決議として強制力ある経済制裁を受けるに至った。スミス政権は 1979年に決定された「ランカスターハウス合意」に基づき施行された総選挙の結果として、アフリカ人による政府が誕生した 1980年の正式独立に至るまで、15年間の長きに渡り政権を維持してきた。世界の経済制裁に耐える為、ローデシア政府は自給自足に向けてあらゆる方面の工業を発展・促進させた。ジンバブエ政府は、独立後もこの工業を存続し、生産を続けている。

ジンバブエ工業は以上の歴史的背景から、以下の特徴を持つ。

- (1) 電力、水道、鉄道、道路網などのインフラストラクチャはサハラ以南の国々の中では、際だって整備されている。
- (2) ジンバブエ工業のほとんどが、独占または寡占的傾向を持つ。
- (3) ジンバブエ工業は、国内マーケットにおいては、ほとんど無競争なるが故に、合理化あるいは近代化が立ち遅れている。
- (4) ジンバブエは、その地理的制約から、輸出入の窓口として、隣国の港を利用せざるを得ない。
- (5) 外交上ジンバブエは、反南アフリカ共和国政策を採らざるを得なかったが、経済的に南アの影響を免れることは出来なかった。

独立後、ジンバブエは二度に渡る大干ばつや湾岸戦争の余波による石油の高騰に見舞われた。石油資源を持たぬジンバブエ経済は、大きな打撃をうけた。

ジンバブエ政府は外貨不足により、工業原材料並びに設備のスペアパーツ等の輸入を制限せざるを得なくなり、同国工業の稼働率は 1990年には、能力の 40%から 70%に落ち込むに

至った。経済成長率も 80 年代の 10 年間は年率 2.7 % を記録するにとどまり、人口増加を勘案すれば実質マイナス成長となった。一方、インフレーションは過去 10 年間、年平均 15 % に達し、失業率は 1989 年に 26 % 迄上昇した。

ジンバブエ政府はこの様な状況に対処するため、経済の構造改革を計画して、OGIL (Open General Import Licence) 制度を導入することによる貿易の自由化と、国内価格統制の撤廃を含む諸規制緩和政策を発表した。第一段階として、政府は 1989 年 4 月に、「The Promotion of Investment : Policy and Regulations」を発表し、製造工業の開発を計ることとした。その中で政府は中間財及び資本財投資に優先度を置き、かつ輸出志向型産業の発展を促進している。また、投資に対する唯一の窓口として「The Investment Center」を新設して、許認可の簡素化・一元化を計った。

第二段階として、政府は 1990 年末にパン、メイズ、牛肉、マツチ、料理用油脂類、セメント、ZISCO 製品の鉄鋼、肥料、石油燃料、およびバス・鉄道の料金の 10 品目を除き、全ての国内販売価格の統制を撤廃した。貿易自由化については 1990 年 10 月に OGIL 対象品目を発表して以来、徐々にその対象品目を広げている。

1991 年 1 月、ジンバブエ政府は「A Framework for Economic Reform (1991-95)」を発表し、この中で実質経済成長率を 1995 年迄に 5 % にするよう計画している。同時に、この経済改革計画の基本目的を国民の生活水準の向上と貧困撲滅に定め、社会福祉予算の増大を計っている。かかる認識の基、政府は現行税率を低減し、政府予算の税収入を 1990 年度の対 GDP 比率 35 % から、1994 年度には 33 % に迄、軽減する計画である。一方、国家予算の赤字を 1990 年度の対 GDP 比 10.4 % から、1994 年度には 5 % 迄削減し、また国民の医療費、教育費、および合理化により整理された人々の再就職の為の再教育費などの予算措置を講じる計画である。

貿易自由化、および統制価格撤廃に伴い、本経済改革実行段階の初期においては、インフレーションが相当高率化するおそれがある。従って、金融政策も綿密に計画し、十分に注意を払う必要がある。

1991 年 7 月、隣国の南アフリカ共和国は各国からの経済封鎖が解かれた。ジンバブエの貿易・投資の自由化の進捗と相俟って、今後、南アフリカ共和国からの資本・技術の流入も促進されると予想される。

第4章 クエン酸および製造技術

4-1 概説

クエン酸は三塩基性オキシン酸であり、食品、医薬品等の分野で広く使用されている。クエン酸はレモン、ライム等の柑橘類に多く含まれ、かつてはレモンやライムの果汁からクエン酸が抽出されていた。近年は、炭水化物を原料とする発酵法によりクエン酸製造が行われている。現在、世界のクエン酸需要は50万トン/年に達している。

4-2 クエン酸の用途

クエン酸は、その安全性(無毒性)、さわやかな酸味、溶解度、キレート性、価格優位性等から、飲料・食品・医薬品分野を中心として多くの分野で用いられている。液体洗剤、金属洗剤、可塑剤、写真薬等の非食品用の比重も高まっている。

清涼飲料水の酸味料としてはクエン酸が主流であり、コーラ(リン酸を使用)、ブドウ風味の飲料(酒石酸を使用)以外の、殆ど全ての飲料に使用されている。次にクエン酸が酸味料として多く用いられている分野は、菓子、ジャム類である。また、クエン酸は食品の鮮度の保持目的のために広く用いられている。

医薬品分野では、クエン酸はビタミンCの錠剤、制酸剤、鎮痛剤等に用いられている。クエン酸は、薬の苦みを緩和し、良好なフレーバーを提供するための工程で配合される。また、クエン酸は、微量金属による品質低下を防ぎ、薬品の有効期間を延長させる作用を持つ。クエン酸塩は、pH調製の緩衝剤・血液凝固防止剤(クエン酸ナトリウム)、貧血症治療の鉄剤(クエン酸鉄アンモニウム)、トラコーマおよび結膜炎用の軟膏(クエン酸銅)等に用いられる。

一方、クエン酸は、液体洗剤のビルダーとして使用されてきたトリポリリン酸ナトリウムの代わりに利用されつつある。クエン酸は、ビルダーとしての性能(金属イオンの封鎖性)においてはトリポリリン酸ナトリウムに劣るものの、湖沼等の富栄養化の問題を引き起こさないで、米国を中心に多くの洗剤メーカーに受け入れられている。また、クエン酸は金属洗剤、水処理、油田の油回収、煙道ガスの脱硫、プラスチックの可塑剤としても使用されている。

4-3 クエン酸の諸性質

クエン酸には、無水物と結晶水を一分子含む一水和物とがある。無水物は温水溶液からの結晶化により得られ、一水和物は冷水溶液からの結晶化により得られる。無水物と一水和物に分かれる温度を結晶水転移温度 (Transition Point) といい、その温度は 36.6 °C である。無水物は融点 153 °C の単斜結晶である。一水和物は斜方晶系の結晶で、湿気により一部潮解する。一水和物は、乾燥空気中または 40 ~ 50 °C に加熱することにより、結晶水を失う。クエン酸は、水、アルコールには溶解易いが、他の有機溶媒には一般に難溶である。クエン酸 0.1 モル溶液の pH は約 2.1 である。

生化学的には、クエン酸はクエン酸サイクルにおける重要な中間体であり、微生物、例えば *Aspergillus niger* により分解・合成反応が可逆的に行われる。これらは何れも酵素の作用によるものである。

4-4 クエン酸の規格

クエン酸の規格は、用途により、また国により異なる。近年の様に競争の激しい市場では、化学的に良品質であることは勿論のこと、物理的品質としての粒度分布等についても、ユーザーの要求は厳しいものがある。英国のクエン酸の規格を表 4-1 に示す。

Table 4-1 Specification for Citric Acid In United Kingdom
(British Pharmacopoeia)

Description	Anhydride	Monohydrate
Clarity & Color of Solution	within the limit	within the limit
Barium	within the limit	within the limit
Calcium	200 ppm or less	200 ppm or less
Heavy Metals(as Pb)	10 ppm or less	10 ppm or less
Iron	50 ppm or less	50 ppm or less
Chloride	50 ppm or less	50 ppm or less
Oxalate	350 ppm or less	350 ppm or less
Sulphate	150 ppm or less	150 ppm or less
Readily Carbonizable Substance	within the limit	within the limit
Sulphated Ash	0.1 % or less	0.1 % or less
Water	1.0 % or less	7.5 ~ 9.0 %
Content	99.5 ~ 101.0 %	99.5 ~ 101.0 %

4-5 クエン酸の製造技術

クエン酸の製造方法は、柑橘類に含まれる天然クエン酸を回収する方法と炭水化物を原料として発酵により製造する方法に大別される。発酵法が工業化される以前は、天然クエン酸の回収が行われていたが、現在工業的に生産されているクエン酸は全て発酵法による。

発酵方法は以下の3種類に大別される。

- (1) 表面発酵法：皿状の容器に液体の培地を仕込み植菌し、発酵を行う。
- (2) 液内発酵法：液体の培地を仕込んだタンク中に植菌し、無菌空気を通気しながら発酵を行う。
- (3) 固体発酵法：固体の培地を仕込み植菌したトレイを発酵室に入れ発酵を行う。

現在主流となっている発酵方法は液内発酵法である。固体発酵法は日本が独自に開発した技術で、日本および東南アジアの一部で採用されている。表面発酵法は古くから採用されているプロセスであるが、現在ではごく一部で小規模生産に用いられているのみである。発酵用の原料としては各種の炭水化物（澱粉、糖質）が利用可能であるが、実際には入手が容易で安価なビートモラセス、ケーンモラセス、澱粉糖化液、コーンスターチ、芋の澱粉搾り粕等を用いるプロセスが商業化されている。

なお、クエン酸発酵においては菌の生酸力の維持が重要な課題であり、菌の退化防止のために菌株の保存法および優秀な菌株の分離が必要とされる。一方、発酵の方式によって菌株の適性が異なるので、発酵方式や原料の種類に関係なく菌株を使用すると発酵は低成績にならざるを得ない。クエン酸製造会社は、発酵成績向上を計るために、菌株の研究と改良を進めている。表4-2に商業プラントに採用されている発酵プロセスをまとめる。

Table 4-2 Fermentation Process and Raw Material

Raw Material	Surface Culture	Submerged Culture	Solid Culture	Remarks
<< Starch >>				
Sweet Potato/Cassava		○	○	
Sweet Potato/Cassava Residues			○	
Cornstarch		○		
<< Sugar >>				
Cane Molasses	△	○		
Beet Molasses	△	○		
Pineapple Juice			△	Pilot Plant Only
Sugar		○		

Note ○ : Used at large scale commercial plant

△ : Used at small scale commercial plant and/or pilot plant

第5章 クエン酸および副産物の市場

本調査では対象とするクエン酸市場の範囲をジンバブエおよび南部アフリカ諸国に定めた。これはサブ・サハラ以北、中近東以東の市場に関しては世界大手クエン酸メーカーとの熾烈な競争が予想され、また世界的に需給バランスが適正に保たれている現況下、輸出先導型のクエン酸工業を導入する事はマーケティング上、未確定要因が多すぎるためによる。

本章では世界のクエン酸市場、ジンバブエ国内市場および周辺諸国の市場を調査し、潜在販売力・プラント生産能力の推定および製品販売価格の設定を行った。

5-1 世界のクエン酸市場

5-1-1 世界のクエン酸需給動向

1990年現在、世界のクエン酸総需要量は約50万トンと見積もられ、過去10年間、年平均4～5%の伸び率で着実に推移してきた。主な要因は欧米諸国におけるダイエットドリンク市場の拡大および液体洗剤にビルダーとして使用されてきたリン酸塩からのクエン酸への置換（富栄養化問題を誘起するため）が挙げられる。

世界のクエン酸実質生産能力は55～60万トン/年と推測され、Haarmann & Reimer（独）、Jungbunzlauer（オーストリア）、A.D.Midland（米）、Roche（スイス）、Pfizer（米）の5社で約75%の生産能力を保有する。クエン酸市場構造は寡占的と言える。地域的には西ヨーロッパが世界のクエン酸供給源であり、全世界の約45%の供給能力を持ち、そのうち約半分が輸出向けである。

需給バランスは図5-1に示されるように、概ね6年周期でタイトな状態が繰り返されている。クエン酸の需要は基本的にGNPの伸び率に近い状態で推移することが予想される。今後、年率3%で推移した場合の1996年の市場規模は約60万トンと推定される。

5-1-2 価格動向

クエン酸輸出価格の推移を図5-2に示す。アイルランド、イタリアおよび国際平均の価格は1.0～1.6US\$/kg、そして中国価格は0.9～1.1US\$/kgで推移している。同図よりクエン酸価格は需給バランスがタイトな時に上昇し、ルーズの場合は下降傾向であることを示している。1991年の平均国際価格（FOB）は1.3～1.5US\$/kgと推測される。

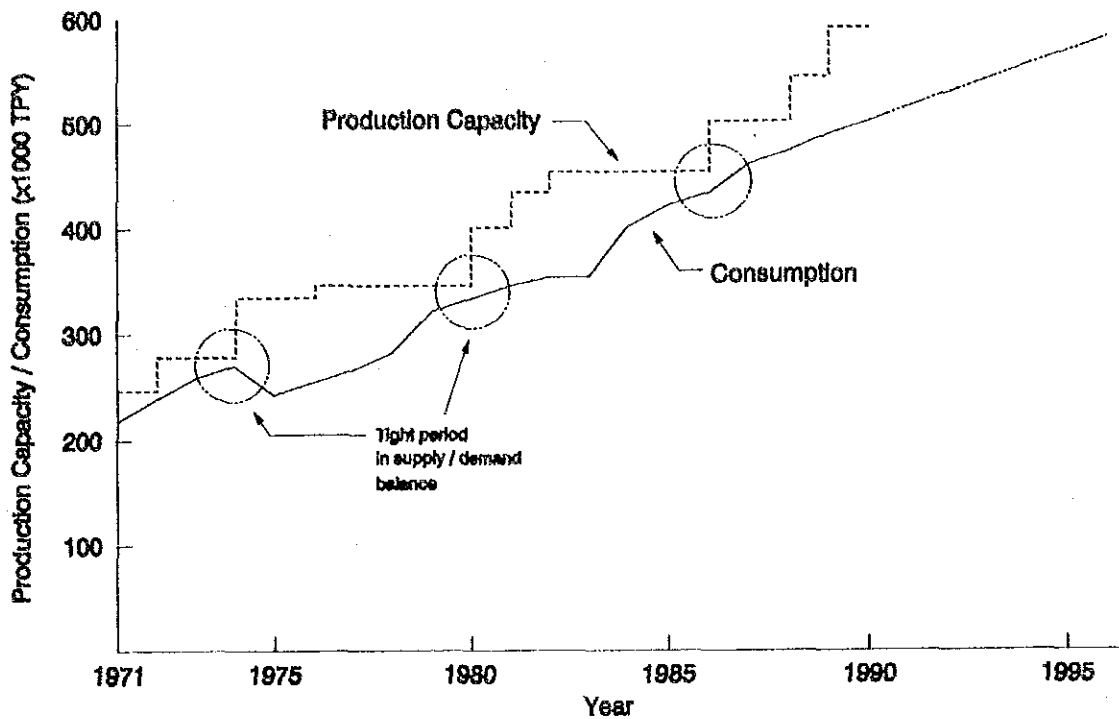


Figure 5-1 Worldwide Production Capacity and Consumption of Citric Acid

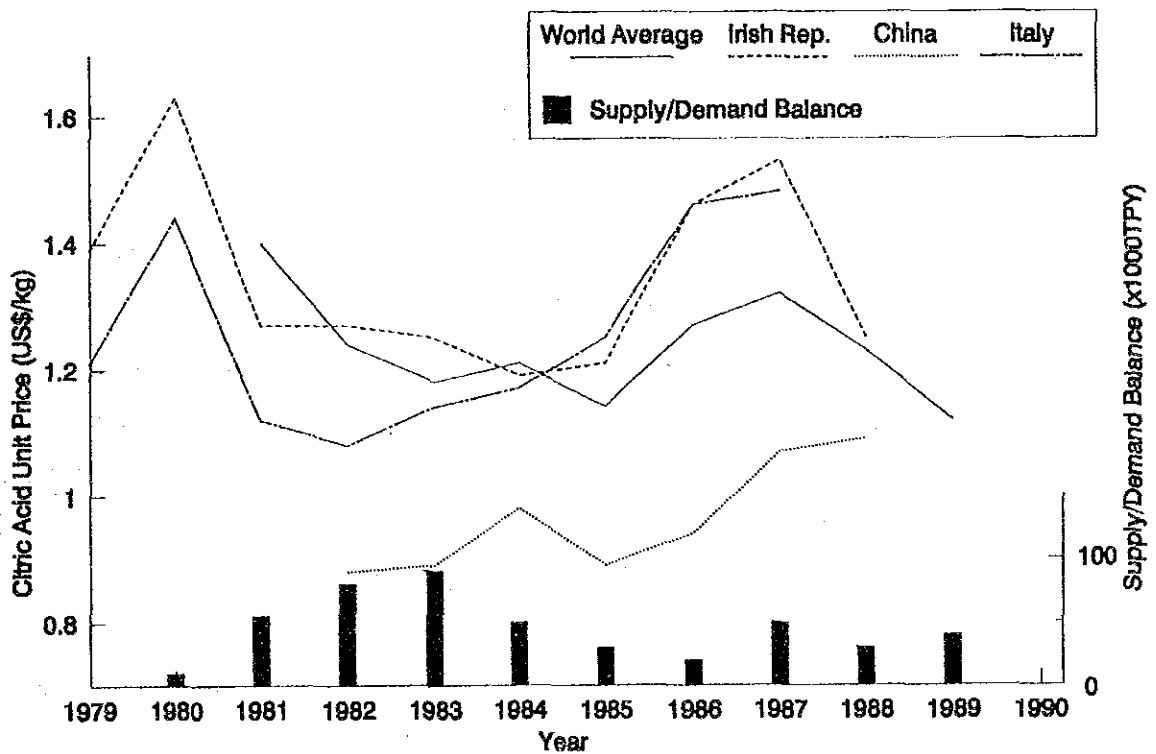
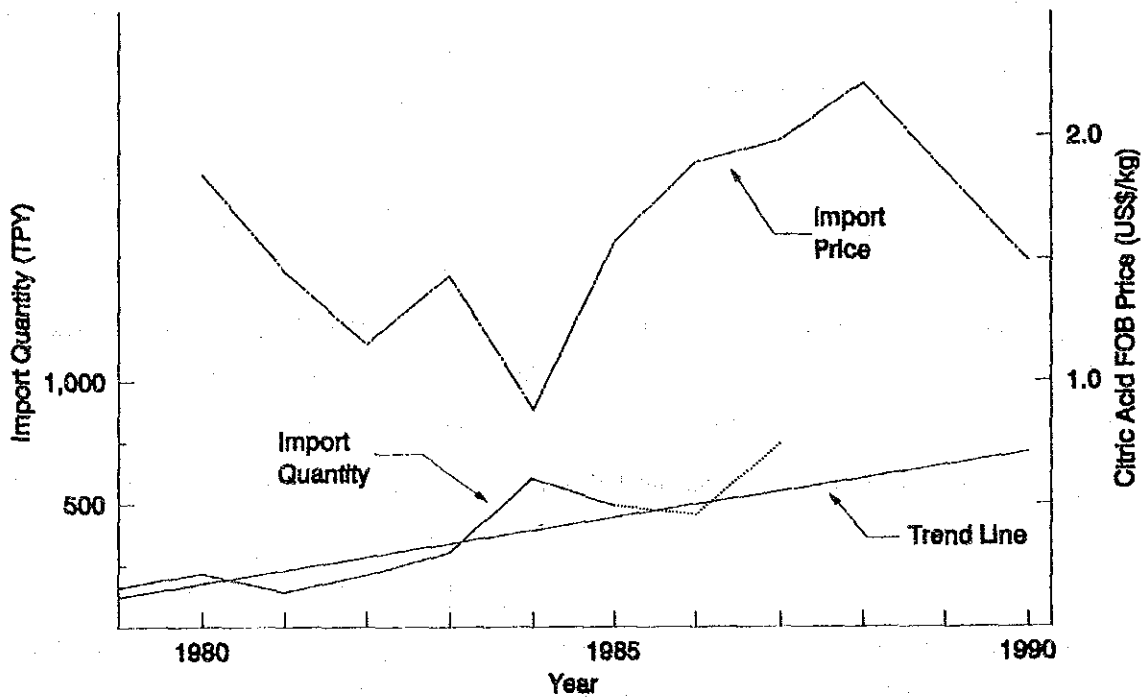


Figure 5-2 Citric Acid Export Price(FOB)

5-2 ジンバブエのクエン酸市場と副産物

5-2-1 国内クエン酸市場

ジンバブエにおけるクエン酸輸入量と輸入価格の推移を図 5-3 に示す。



Note : Figures from 1985 to 1989 for only reference

Figure 5-3 Citric Acid Imports in Zimbabwe

輸入量は概して価格の安い時期に増加しており、クエン酸の需要は価格に対して高い弾力性を持つことが推測される。主要取引国はベルギー、(西)ドイツ、英国、米国、中国の5カ国で輸入量の5割以上を占めている。

国内の主なクエン酸需要家と現在の消費量を表 5-1 に示す。

Table 5-1 Citric Acid Consumption in Zimbabwe(June,1991)

Major End Users	Citric Acid Demand (ton/year)
(1) Soft Drink/Beverage Industry	
-Schweppes Ltd.	360-400
-Bush Boake Allen Zimbabwe Ltd.	20- 30
-United Bottlers	22- 30
-Lyons & Brooke Bond	24
-Coldrac Products Ltd.	24
-Coca Cola Export	65
	(515-573)
(2) Food Industry	
-Lever Brothers Ltd. Zimbabwe	5-7
-Cairns Holdings	5-6
-Lyons & Brooke Bond	6
-Arenel	20- 30
-Olivine Industries	5 (*1)
-Crystal Candy	10 (*1)
	(51-64)
(3) Pharmaceutical	
-CAPS(Central African Pharmaceutical Society)	1-2
-Sterling Products International, Ltd.	5 (*1)
	(6-7)
(4) Others	10- 20 (*1)
Total (approximately)	582-664

Note: (*1) Estimated figures

年間国内需要量は約 620 トンと推測され、そのうち清涼飲料部門が全体の約 87 %、加工食品部門が 9 % を占めている。清涼飲料水の国内生産量は約 2.3 億リットル。そのうち約 9 割が炭酸飲料水、残り 1 割が濃縮果汁飲料である。清涼飲料部門で消費されるクエン酸のうち 8 割近くが濃縮果汁飲料に向けられている。

過去 10 年間、実質国民所得レベルは減少傾向であるにもかかわらず、清涼飲料水の生産は高い伸びを示している。表 5-2 に示すように炭酸飲料の生産は過去 5 年間、年平均 13 % の伸び率で推移している。

Table 5-2 Annual Production of Aerated Beverages

Year	Annual Production (Million liters)	Growth Rate(%)
1986	129.7	
1987	146.7	13.1
1988	158.0	7.8
1989	173.3	9.7
1990	211.3	21.9

Source: Central Statistical Office

すなわち清涼飲料水の潜在需要は非常に高いことが推測され、クエン酸の需要は清涼飲料水の伸びとともに増加することが予想できる。表 5-3 にジンバブエ国内のクエン酸需要予測結果を示す。

Table 5-3 Forecast Demand For Citric Acid in Zimbabwe

Items	Demand(metric tons)			Average Annual Growth Rate(%) 1990-2000
	1990	1996	2000	
Beverages				
-Carbonated	110	196	285	10.0
-Crush/Quench	430	610	770	6.0
Food Processing	58	78	95	5.0
Pharmaceutical	7	8	10	3.0
Others	15	18	20	3.0
Total	620	910	1,180	6.7

5-2-2 クエン酸国内価格および流通状況

ジンバブエ国内での現行価格（工場引取り）構成を表 5-4 に示す。現地調査を通して得た最頻値は 7.0～9.0Z\$/kg である。

Table 5-4 Citric Acid Prices in Zimbabwe

Description	Price
(1) FOB price	1.3-1.6 US\$/kg
(2) Freight & insurance (*1)	
(Israel-Durban)	0.08US\$/kg
(Brazil-Durban)	0.11US\$/kg
(3) Inland transportation (*1)	
(Durban-Harare)	0.12-0.18Z\$/kg
(4) Surtax	CIF × 20 %
(5) Sales commission for suppliers	Landing price × (15-25) %
(6) Delivery price or wholesale price	6.0-10.0Z\$/kg

(*1) Transportation by 20ton container. Inland transportation by truckload.

クエン酸の大口需要家は自己消費の多くを自社輸入している。一方、中・小口需要家は化学品専門の国内サプライヤーまたはエージェントを経由して購入している。主なサプライヤーの数は10社程度である。一般に、クエン酸購入は短期スポット契約に基づき行われる。

5-2-3 他の有機酸との競合性

クエン酸に対して競合性を持つと考えられるリンゴ酸、乳酸、酒石酸のうち、リンゴ酸は若干(1~2割程度)代替可能性がある。しかし、風味上のパフォーマンスおよび価格面の問題、さらに大手需要家による国際的レベルでの製品管理等の見地より、大きな競合性は考えられない。乳酸、酒石酸にいたっては全く競合性はないと言える。

5-2-4 クエン酸製造に係わる副産物の市場動向

(1) さつま芋澱粉

さつま芋澱粉の生産にともない、さつま芋澱粉粕が産出される。その芋澱粉粕は固体発酵法によるクエン酸製造に利用される。ジンバブエ国内の澱粉市場では、さつま芋澱粉は使用されておらず、全てコーンスターチが用いられている。3,000トン/年程度のクエン酸製造に必要な芋粕を確保するためには47,000トン規模のさつま芋澱粉の生産が必要であるが、需要および供給の両面より、さつま芋澱粉産業の成立は非常に困難である。

(2) 石膏

クエン酸製造にともない約5,600トン/年の石膏が産出する。現在の国内市場では供給過多状態が続いている。石膏の販路を見出すことはかなり厳しい。

5-3 南部アフリカ地域のクエン酸市場

南部アフリカ地域は以下の国を含むものとする。

*** 南アフリカ共和国、南部アフリカ関税同盟諸国（ボツワナ、レソト、ナミビア、スワジランド）、アンゴラ、ケニヤ、マダガスカル、マラウイ、モザンビーク、タンザニア、ザイール、ザンビア、ジンバブエ ***

5-3-1 クエン酸需要

南部アフリカ地域でのクエン酸消費量は1990年現在、4,620トンと推定される。そのうち南アフリカ共和国（以下南アと略す）が約60%、スワジランド16%、ジンバブエ13%、そして残りの諸国が11%を占めている。

用途別にみると、域内消費の70%は清涼飲料水向けである（南ア、スワジランド、ジンバブエの各国ではそれぞれ64%、100%、88%が清涼飲料水向け）。残りの殆どは加工食品向けであり、南ア国内では医薬品や工業用途もある。

域内でのクエン酸需要の年平均成長率は2000年にかけて5.1%と推定される。96年の消費量は6,210トン、そして2000年では7,600トンと見積もられる。予測結果を表5-5に示す。

Table 5-5 Forecast Development in Citric Acid Demand
in Southern Africa, 1990 to 2000

Country	Demand (metric tons)			Average Annual Growth Rate, % 1990-2000
	1990	1996	2000	
RSA/SACU	3,500	4,700	5,750	5.1
Zimbabwe	620	910	1,180	6.7
Kenya	150	180	210	3.4
Madagascar	100	120	130	2.6
Zambia	100	120	130	2.6
Others	150	180	200	2.9
Total	4,620	6,210	7,600	5.1

域内クエン酸消費の3/4を南アが占める現在の市場構造は、今後も続くことが予想される。また清涼飲料水の需要は他の用途に比べ伸び率が高いことより、引き続きクエン酸用途の大半を占める。

5-3-2 クエン酸供給

クエン酸域内消費の殆どはベルギーやアイルランドの主要生産国からの輸入により賄っている。域内のクエン酸輸入の流れを図5-4に示す。南ア国内の幾つかの企業はかつてクエン酸生産を考慮したが、域内市場の狭小さ、世界的にみた現在の適正な生産規模、そして適切な原材料の不足を主な理由として、計画を断念した。しかし、ダーバンに本社を置くCG Smith Sugar社は依然、年産10,000トン規模のクエン酸プラントを調査中と伝えられる。

1980年代初期、小規模のクエン酸プラントがケニアで建設されたものの、一度も運転をされず現在に至っている。将来も運転される可能性はない。

南ア国内での工場引取価格は4.3～4.6R/kg (1.54～1.65US\$/kg)である。欧米大手メーカーのサプライヤーが進出していることもあり、輸入価格、国内価格ともに廉価である。

5-4 プラント生産能力と製品販売価格

5-4-1 市場の範囲とプラント生産能力

プラント生産能力を運転開始初年度、すなわち1996年の市場規模をもとに推定する。販売対象とする市場範囲はジンバブエ、南アそして他の近隣諸国のうち輸送上支障のない国または輸送費が高くない国を選定する。またプラント生産能力は96年の市場規模をもとに、廉価な中国製クエン酸の輸入分や、南ア市場の特徴(大手メーカーのサプライヤーまたはエージェントの進出)を考慮して決める。表5-6に選定された国別の潜在販売量を示す。

Table 5-6 Potential Sales, 1996

Country	Potential Sales (Tons/Year)
- Zimbabwe	820
- Republic of South Africa/SACU	2,115
- Madagascar	110
- Malawi	55
- Mozambique	50
- Zambia	110
Total	3,260

以上よりプラント生産能力は3,000～3,300トンの範囲が妥当である。

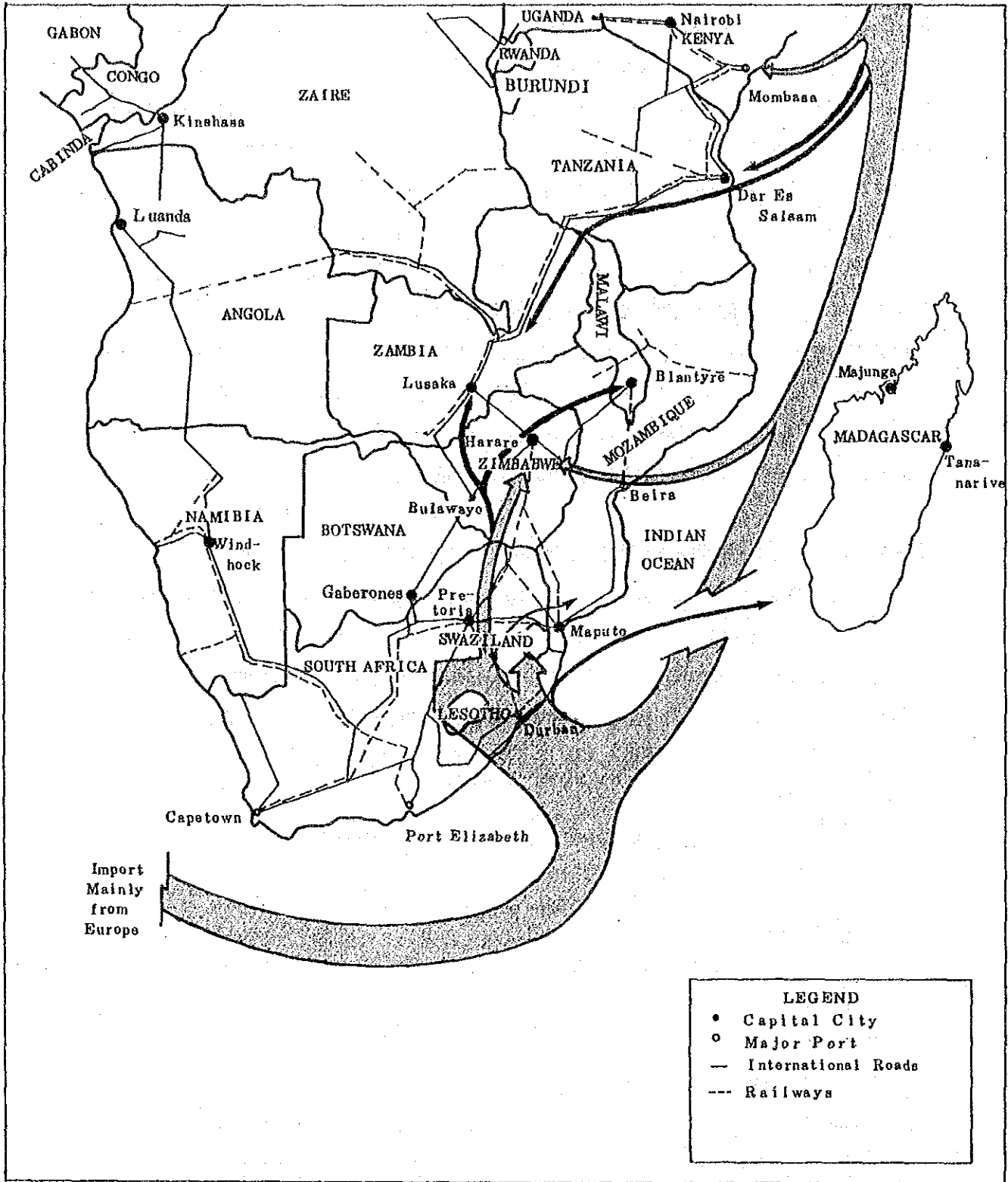


Figure 5-4 Citric Acid Movement In Southern Africa

5-4-2 製品販売価格

本章ではマーケティング的アプローチ（市場価格）、すなわち対象とする市場の現行価格をもとに、ネットバック方式での工場渡し価格を以下のように設定する。

(1) ジンバブエ国内販売価格	2.26 US\$/kg
(2) 南アフリカ共和国	1.47 US\$/kg
(3) ザンビア、マラウイ	1.54 US\$/kg
(4) モザンビーク、マダガスカル	1.40 US\$/kg

5-5 販売計画

販売計画作成にあたり、前提条件を以下のように設定する。

- (1) 公称生産能力を3,000トン/年とする。
- (2) 国別の販売量は需要の増加とともに、販売価格の高いものより優先順位をつける。
- (3) 運転初期の市場浸透性を考慮する。

以上より纏めた販売計画を表5-7に示す。

Table 5-7 Citric Acid Demand Summary/Sales Plan by Volume and Amount

(Unit: ton)

<CITRIC ACID DEMAND SUMMARY IN SOUTHERN AFRICA>

Year	1990	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. Zimbabwe	820	808	970	1035	1105	1179	1233	1289	1348	1409	1474	1541	1612	1686	1763	1844	1930	2019	2112	2210	2313
2. RSA/SAGU	3500	4893	4933	5188	5456	5741															
3. Other Countries																					
Kenya	150	183	190	196	203	210															
Madagascar	100	117	120	123	126	129															
Zambia	100	117	120	123	126	129															
Mozambique	45	53	55	57	58	60															
Malawi	50	59	61	63	65	67															
Tanzania	30	36	37	38	39	40															
Zaire	25	30	31	31	32	33															
Angola																					
Total	4620	6197	6515	6852	7210	7588															

(Unit: ton)

<SALES PLAN BY VOLUME>

Year	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1. Zimbabwe	703	809	862	917	977	1020	1065	1113	1162	1213	1267	1324	1383	1444	1509	1577	1647	1721	1799	1880
2. Zambia	105	108	111	113	116	119	122	126	129	132	136	139	143	147	150	154	158	162	167	171
3. Malawi	53	55	57	58	60	62	63	65	67	69	71	73	75	77	80	82	84	87	89	92
4. RSA/SAGU	1267	1776	1971	1911	1847	1799	1749	1642	1585	1526	1464	1398	1331	1261	1187	1110	1029	945	857	
5. Mozambique	48	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Madagascar	105	108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2281	2905	3008	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090	3090
Capacity Utilization	76%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Domestic Sales	31%	28%	29%	31%	32%	34%	36%	37%	39%	40%	42%	44%	46%	48%	50%	52%	55%	57%	60%	63%
Export Sales	69%	72%	71%	69%	67%	66%	64%	63%	61%	60%	58%	56%	54%	52%	50%	47%	45%	43%	40%	37%

<SALES PLAN BY AMOUNT>

Citric acid unit price
 - Zimbabwe : 2.26 US\$/kg
 - Zambia/Malawi : 1.54 US\$/kg
 - RSA/SAGU : 1.47 US\$/kg
 - Mozambique/Madagascar: 1.40 US\$/kg

(Unit: x1000US\$)

Year	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
1. Zimbabwe	1568	1829	1947	2073	2208	2306	2403	2514	2625	2742	2864	2992	3125	3265	3410	3563	3723	3890	4065	4248	57388
2. Zambia	162	166	170	175	179	184	189	193	199	204	209	214	220	226	232	238	244	250	257	263	4172
3. Malawi	82	85	87	90	92	95	98	100	103	106	109	113	115	119	122	125	128	131	134	138	2188
4. RSA/SAGU	1853	2611	2898	2809	2714	2644	2571	2494	2414	2330	2243	2152	2057	1957	1853	1745	1632	1513	1390	1260	43158
5. Mozambique	57	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137
6. Madagascar	147	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	298
Total	3909	4910	5102	5147	5194	5229	5265	5302	5342	5383	5426	5471	5518	5567	5618	5672	5728	5787	5849	5913	107332
Domestic Sales	41%	37%	38%	40%	43%	44%	46%	47%	49%	51%	53%	55%	57%	59%	61%	63%	65%	67%	70%	72%	
Export Sales	59%	63%	62%	60%	57%	56%	54%	53%	51%	49%	47%	45%	43%	41%	39%	37%	35%	33%	30%	28%	
Average Unit Price(US\$/kg)	1.71	1.69	1.70	1.72	1.73	1.74	1.75	1.77	1.78	1.79	1.81	1.82	1.84	1.86	1.87	1.89	1.91	1.93	1.95	1.97	

第6章 ジンバブエの農業

6-1 ジンバブエの農業事情

6-1-1 農業概況

ジンバブエの農業生産の中心はトウモロコシ（メイズ）である。近年、サトウキビや他の工芸作物（綿、タバコ、コーヒー、紅茶等）、そして果樹の作付け面積も増加し、多様化している。それら作物の生産性は次第に向上して、輸出も行われている。

1988年、ジンバブエの総人口は約912万人で、その約70%に当たる約630万人が農業に従事している。

6-1-2 農業政策

第2次経済開発5ヵ年計画では、大規模商業農家によって所有されている土地を政府が買い上げ、これを共有地域の農民に分割譲渡する再入植計画の推進を計っている。また、主食である白色種メイズの価格安定化を計っている。

ジンバブエでは現在100万家族以上が共有地に居住している。共有地のほとんどは農業生産性の低い土地であり、貧困レベルの生活を強いられている家庭が多い。一方、共有地においても、成功した農民とそうでない者との間で格差が広がる傾向が現れてきている。

新5ヵ年計画では更に500万haの土地を大規模商業農家から買い上げて110,000家族を入植させる計画を立てている。

ジンバブエでは全体として食糧が不足する状況ではないが、貧困層の間には十分な食糧が得られないという問題がある。貧困家族の食糧問題はインフレによって一層深刻になることが懸念されている。また、ジンバブエでは輸送手段が十分でないこと、流通機構が未発達であることより、共有地域の一部で食糧価格の高騰がみられる。この問題については、政府はこれまで厳しく行っていた農作物の移動に対する規制を緩和し、自由化の方向により解決しようとしている。

6-1-3 規模別農業形態

農業経営形態は次の3つに分類される。

(1) 大規模商業農業 (Large Scale Commercial Farming)

主としてヨーロッパ系の入植者が独立以前から所有している大規模農地（4,500戸）。

(2) 小規模商業農業 (Small Scale Commercial Farming)

主としてアフリカ人が土地を買い、経営する商業農家 (約 1 万戸)。

(3) 共有地農家 (Communal Peasant Farming)

アフリカ人が共有地域で営む自営農業 (約 78 万戸)。

6-1-4 農業関係機関と組織

農業発展のために、政府は農業・国土省の中に次のような機関を設立している。

農業調査・専門サービス局 : Department of Research & Specialist Services

農業技術普及局 : AGRITEX

畜産局 : Veterinary Services Department

農業経済組織活動は以下の 3 組合により行われている。

- ① 大規模商業農家からなる「商業農業組合」(CFU: Commercial Farmers Union)
- ② 小規模商業農家からなる「ジンバブエ全国農業組合」(ZNFU: Zimbabwe National Farmers Union)
- ③ 共有地農家からなる「ジンバブエ全国農業連合」(NFAZ: National Farmers Association of Zimbabwe)

6-1-5 自然条件

(1) 土壌

一般にジンバブエの土壌は、大部分が砂土で、透水性は比較的良好であるが、保水性は低く、肥沃度も低い。特に窒素、リン酸、硫黄の含有量が不足しているところが多い。また、赤色粘土、壤土および熱帯性黒色土の土壌もあり、それらは有機質含量が少ないため易効性有効水分含量も少なく、作土の浅いところは旱魃を受けやすい。肥沃度も砂土と同様に低い。

(2) 降雨

ジンバブエ国には、乾期 (5～9 月) と雨季 (10～4 月) がある。年間 1,000 mm 以上の降雨量があるところは、東部山間部とハラレ付近およびマシゴ (Masvingo) とシュルグワイ (Shurugwi) 地区の一部だけである。一方、年間降雨量が 600～1,000 mm のところは、標高が 900～1,500 m の高原台地で、国土の約 2/3 を占めている。大部分の農地と草地はここにある。降雨量が 600 mm 以下のところは、南部と西部にあり、草地となっている。

6-2 農業生産概況

主食であるトウモロコシと小麦、ソルガム等を含めた穀類の年間生産高は、平均 200～300

万トンであり、かなりの余剰を生じている。トウモロコシの生産高は旱魃年には90万トン前後となり、約30万トンが不足となるが、約39万トンの備蓄により不足分を解消している。トウモロコシは84～86年の間、年平均220万トン生産された。このうち国内利用分の内訳は飼料(36万トン)、種子(4万トン)、損失(24万トン)、食糧(106万トン)である。総生産量は、最近5ヵ年では減少傾向にあるが、1987年旱魃時の93万トンを除けば、国民への供給は確保されている。

ソルガム生産量は一時期35万トンに達したが、最近は需要減少とともに10万トン前後まで減少している。小麦は需要の増加にともない、約20万トンから30万トン近くまで生産量が増加している。

いも類の生産は馬鈴薯が2万トンから3万トンに、キャッサバが5万トンから9万トンに増加しているが、さつまいもは1千トン以下で横這いである。

サトウキビの生産は砂糖工場近隣の農場で直接生産されており、年平均360万トン前後で比較的安定している。ha当たり収量は、製糖工場が保有する灌漑技術を用いて栽培生産されているため、110トン前後の生産を上げている。この収率は世界的にみても高水準にある。また、他の国のサトウキビより砂糖歩留まりが高いと言われている。

換金作物であるコーヒー、紅茶、タバコ、綿、果実の生産高は年々増加傾向にある。

6-3 クエン酸製造原料としての考察

(1) 農業開発の共通の問題点と対策

畑作物(トウモロコシ、さつまいも等)の栽培に適するとされる地帯は、年平均気温がやや冷涼な地域(17.5～20℃)で、降水量が比較的多い(650～1,000mm)地帯である。一方、これらの地域の土壌は砂土から埴壌土と様々であり、作土が浅く、易効性有効水分が少ないため、4年に一度ぐらいの割合で発現する旱魃の被害を受けやすい。

旱魃被害軽減対策として灌漑用水を確保するには、多額の資金と年月を要し、早急には整備できない。従って、その対策として、有機肥料による土壌の改良、作土の深耕、作畦方法・圃場整備の改善を計る等して土壌の有効水分の増加、降雨の有効化、蒸発散の抑制等を達成して、旱魃被害を少しでも軽減することが大切である。

(2) トウモロコシ(メイズ)

クエン酸を年間3,000トン生産するためには、トウモロコシ(メイズ)が約6,000トン必要である。ジンバブエの現状のトウモロコシ生産量からみれば問題にならない程微量である。トウモロコシの生産量は年次変動が大きく暫減の傾向にある。これは生産性の高い大規模商

業農場の作付け面積が減って、生産性の低い共有地農場の作付け面積が増加したためである。

大規模商業農場は、灌漑施設が整っている。一方、共有地農場はほとんど灌漑施設を持たないので、天水栽培に頼らざるをえない。天水栽培では、幾つかの旱魃被害対策を実行すれば、トウモロコシの生産性は向上することが充分予想される。

(3) さつま芋

さつま芋の澱粉粕からクエン酸を年間 3,000 トン生産するためには、約 20 万トンのさつま芋が必要である。現在の生産量は、1 千トン以下であるから原料としては絶体量が不足である。

そこで、仮にジンバブエでさつま芋を 20 万トン生産するために必要な耕地面積を試算すると、現況では、収率が 2.4t/ha であるから 8.3 万 ha 必要となる。栽培技術が向上して収率が 10t/ha になったとしても 2 万 ha の農場が必要となる。従って、さつま芋を 20 万トン生産することは、現況の栽培面積や栽培技術から考えると不可能と判断される。

(4) キャッサバ

キャッサバの澱粉粕からクエン酸を年間 3,000 トン生産するためには、約 15 万トンのキャッサバが必要である。現在の年間生産量は、約 9 万トンであるから大幅に不足である。現況の収率は 4t/ha 前後であるから、年間 15 万トン生産するためには約 4 万 ha の作付面積が必要である。

第7章 原料および副原料

7-1 クエン酸発酵原料の選定

クエン酸は炭水化物を原料とした発酵技術により商業生産が行われている。原料となる炭水化物のジンバブエ国内価格は廉価で、かつ供給量が十分確保できる必要がある。クエン酸発酵原料としてビートモラセス（甜菜糖の廃糖蜜）がヨーロッパを中心に、そしてさつま芋またはキャッサバの澱粉粕がアジアを中心に使用されている。それら原料は糖や澱粉を抽出した後で得られる廃液または粕という点で、これら原料によるクエン酸発酵は農作物の廃棄物を有効利用したものと言える。一方、価格が安くて大量に入手可能なコーンスターチがアメリカを中心に利用されている。クエン酸発酵は一般に *Aspergillus niger* と呼ばれる黒かび菌の一種を用いる。原料と発酵プロセスにより、この種に属する菌の中でも特に優れた特性を示す菌を選抜、育成する。従って菌種と原料およびプロセス設計は一体となりクエン酸製造技術の重要なノウハウを構成している。

日本では九州化工(株)とサツマ化工(株)がさつま芋の澱粉粕を原料として、また磐田化学工業(株)がコーンスターチを原料としてクエン酸の製造を行っている。更に、商業ベースでの生産には至らないものの早稲田大学が糖類を原料にしてクエン酸発酵の研究・生産を行っている。

以上の状況下、以下の原料を候補として調査を行った。

- (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) 粗糖、および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、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

クエン酸の製造は、液内発酵法がコーンスターチを原料として用い、固体発酵法が上述のうちコーンスターチ以外の原料を用いている。固体発酵法は液内発酵法に比べ労働集約的かつ資本節約型のクエン酸製造方法である。従って、ジンバブエ経済・社会の実状により適合したものである。

しかしながら、(1) さつま芋の澱粉粕については、さつま芋の現在の生産量が1,000t/年以下と少なく、商業レベルでのさつま芋の栽培技術が確立していない。さらに、さつま芋を原料とする澱粉工業およびさつま芋澱粉の需要は現在のところ存在しない。さつま芋澱粉産業を興すための芋澱粉の市場についての見通しを得ることは困難であるが、ジンバブエにはさつま芋栽培に適した十分広い農地があり、長い年月と資金を投入して開発すれば商業規模

でのさつま芋を生産できる潜在的可能性はある。

(2) 項のキャッサバの澱粉粕については、ジンバブエではまだキャッサバが試験栽培を始めた段階であり、大規模生産の見通しを得ることはさつま芋以上に困難である。

(4) 項の粗糖およびさとうきびから粗糖を得る工程から得られる原料については、いずれも量的には確保可能である。但し、モラセスはすでに全量がガソリン混入用のエタノール製造用原料として利用されており、増加するエタノール需要に対してモラセスを一部輸入により補っている状況にある。従って、モラセスを確保するにはエタノール製造量を減少して原料を得るか、またはモラセスの輸入を増大するしか方策は無く、好ましい方法とは言えない。一方、濃縮ジュースは粗糖回収の原料として用いられるため、その価格は粗糖と同程度である。従って、プロセス開発を促進するインセンティブに乏しい。

(5) 項の粗糖から精製糖を得る工程で得られる原料についても、前述同様、モラセスはすでに十分活用されており、シロップは砂糖原料であるので価格が高い。従って、いずれも望ましい原料ではない。

以上より、候補に挙げたいづれの原材料（コーンスターチを除く）も固体発酵法による商業規模でのクエン酸製造には適さないと判明した。

(3) 項のコーンスターチについては若干の課題はあるものの、液内発酵法による原料として可能性のあることが判明した。以下にそれを述べる。

7-2 コーンスターチ

ジンバブエでは現在 Delta Consolidated 社の一部門である Food & Industrial 社がコーンスターチを製造している。コーンスターチの販売価格は比較的高く、小規模な乾式法による生産方式のため、品質も若干落ちる。同社の現行販売価格は用途により差があるものの 1,341 ~ 1,528Z\$/t である。その主な原因は、GMB（穀物販売公団）の価格統制下、メイズ原料の購入価格が高く、生産規模が月産 1,000 トンと小さいことにある。さらに製造方法が今では余り用いられていない乾式法によるため、コーン油、グルテンミール等の副産物が有効に取り出されていないことによる。

GMB の価格統制については、黄色種メイズの価格が 1990 年 4 月以降、緩和されており、生産者からの直接買い入れが可能となっている。一方、コーンスターチ生産技術について Food & Industrial 社は既設の乾式法より近代的な湿式法を近々導入する計画である。Food & Industrial 社のコーンスターチ生産能力はジンバブエ国内需要を充足するのに一杯である。従って、さらにクエン酸生産に必要な量を充足するためには、同工場の拡張、または別工場の建設が必要である。この場合、現在主流である湿式法を導入することは充分期待可能である。

クエン酸製造原料としてのコーンスターチは白色種メイズまたは黄色種メイズから製造されたものでもよい。ジンバブエでは黄色種メイズに生産性の高い品種があり、専門の生産農家は10～12t/haの高い収率をあげることが可能である。この生産収率はメイズの主輸出国である米国の7t/haよりも優れている。従って、コーンスターチベースでのクエン酸製造は十分期待できる。

7-3 副原料

コーンスターチを主原料としてクエン酸発酵を行う場合、*Aspergillus niger* 菌のための栄養素として硝酸アンモニウム、リン酸二水素アンモニウム、酢酸マグネシウム等の化学が必要である。この内、硝酸アンモニウムはジンバブエにおいて Sable Chemicals 社が製造している。他の化学品については輸入品を使用することになるが、必要量が少ないため、特に大きな問題はない。

発酵によって得られたクエン酸は消石灰で中和し、クエン酸石灰として回収され、さらにこれを硫酸で溶解して精製する。この精製過程では相当量の消石灰と硫酸が必要である。消石灰と硫酸はジンバブエで現在生産されているものの、消石灰の品質改善が必要である。硫酸については量・質ともに十分なものが得られる。一方、精製工程ではクエン酸の脱色用に少量の活性炭が必要である。現在、ジンバブエでは砂糖の脱色用に骨炭が生産されているが、骨炭は本用途に適していない。精製工程の他の化学品としてろ過助剤を輸入することが必要である。これら消石灰、活性炭、ろ過助剤はいずれも比較的入手の容易なものである。

7-4 包装用材料

クエン酸は吸湿性があり、製品出荷に際して特に良質な包装を行うことが肝要である。ジンバブエには穀物用の袋を製造する会社はいくつかあり、注文に応じて適切な包装袋生産が可能である。

第8章 プラントサイトおよびインフラストラクチャ

8-1 プラントサイトの選定

クエン酸工業は、大規模資本集約的なプラントが中心の化学産業の中では、比較的規模の小さい産業である。3,000トン/年のクエン酸を生産するのに必要な1日当たり原料の量はコーンスターチの場合12トンであり、原料の輸送・貯蔵に大きな問題を生じることはない。電気・水の使用量もあまり大きくなく、工業基盤がある程度整備された都市であれば、クエン酸工場を建設することが可能である。

クエン酸は好気性の菌の働きにより製造されるので、発酵タンクでの溶液攪拌と通気が重要となる。停電が起これると、攪拌と通気が停止し、菌の性質が悪化するので、電力供給が安定していることが、重要な立地条件の一つである。

第11章「プロジェクトスキーム」で述べる様に、本プロジェクトの主原料にはコーンスターチが選定される。本章では、第7章「原料および副原料」にて検討した全ての原料候補につき、工場立地に適した地域を検討した。

さつま芋澱粉粕を原料とする場合には、ハラレ市周辺および砂糖工場（Triangle および Hippo Valley 社）の隣接地がクエン酸工場の建設候補地となり得る。両地域は地質・気象の面からさつま芋の栽培に適している。ハラレは工業基盤が最も整備された地域であるため、澱粉工場を建設し、廃棄物である澱粉粕を利用する場合には、最適の候補地の一つとなる。一方、砂糖工場に付設あるいは隣接して工場を建設する場合には、砂糖工場より電力・蒸気等の供給を受けられる利点がある。

キャッサバは Zambezi 河岸の Binga で試験栽培されているが、この地域はインフラストラクチャの整備が充分でない。むしろ、この地域に近い Hwange に立地する方が現実的である。サトウキビから粗糖を得る工程で得られる原料を発酵原料として利用する場合には、Triangle あるいは Hippo Valley 社の製糖工場に付設あるいは隣接してクエン酸工場を建設するのがよい。

粗糖からの精製糖製造工程で得られる原料を利用する場合には、ハラレとブラワヨにある精糖工場の何れかに近い場所を選択すべきである。

コーンスターチを原料とする場合については、ハラレ市の Msasa 工業地帯にある Zimphos 社の隣接地を立地場所として選定した。その理由を以下に述べる。

8-2 コーンスターチを原料とする場合の立地

第7章でも述べた様に、現在ジンバブエでは、コーンスターチの生産者は Food & Industrial 社のみであり、その工場は Chitungwiza 市にある。しかし、同社工場は新規クエン酸工場に対するコーンスターチの供給余力はないため、工場の拡張または新工場の建設が必要である。

ジンバブエにおけるメイズの商業的生産はハラレ市を含み、同市の北および北東方向に広がる Mashonaland 地域で行われている。従って、コーンスターチの生産は、新工場が建設される場合でも、この地域で行われると考えられる。コーンスターチを原料とする場合、クエン酸工場は同様に Mashonaland に立地することが有利である。Mashonaland のメイズ生産の拠点としては、ハラレ市とその周辺都市、Chinhoy / Banket、Bindura / Glendale の3箇所がある。これらの地域は工業基盤が整備されており、クエン酸工場の建設候補地に充分なり得る。さらに、これらの3地区の内、工業基盤、技術者/技能者の確保、交通の便等の条件において、ハラレ市が最も優れているため、ハラレ市を対象をしぼって候補地を調査した。

ハラレ市の工業地帯は、同市の南部を東西に通過する鉄道路線に沿って発達している。特に、市の南西部が工業地帯として発展している。ただし、同地区には空き地が少なく、適当な広さの工場用地の確保が困難である。一方、南東部は比較的工場が少ないため、適当な工場用地を確保することが可能である。本調査では、ハラレ市南東部に在る Zimphos 社の過リン酸石灰工場に隣接する空き地を工場建設予定地とした。その理由を以下にまとめる。

- (1) Zimphos 社では、クエン酸製造に必要な硫酸を製造している。同工場に隣接してクエン酸工場を建設することにより、危険を伴う硫酸輸送の問題が軽減される。
- (2) Zimphos 社は、過リン酸石灰を製造する工程で副生する石膏を貯蔵する山積場を有し、クエン酸製造工程から副生する石膏を同社の山積場に貯蔵することができる。
- (3) 鉄道および幹線道路が近くを通っている。
- (4) 上下水道、電力が Zimphos 社まで来ており、その延長が可能である。
- (5) クエン酸の主な消費地は 20 ~ 30km の圏内にあり、製品の輸送に便利である。

8-3 電力

ジンバブエの電力は Z E S A (Zimbabwe Electric Supply Authority) により全国に供給されている。主要都市は、330kV の送電網により電力の供給を受けている。特にハラレ市に対しては、Kariba ダムおよびザンビアの水力発電所より C A P C (Central Africa Power Company) の 330kV 送電線 2 回線が布設されている。さらに、それらの回線は Hwange 発電所に Sherwood 変電所を介して接続されている。一方、市内には非常用および補助用の発電所がある。以上より、ハラレ地区では Z E S A の適切な管理運営により、電力を安定的に

受けることが可能である。

8-4 上下水道

ジンバブエには雨期と乾期がある。乾期に備えて貯水池が多数設けられており、そこから水が供給されている。水源となる貯水池の建設および維持管理は原則として国が行い、上下水道の運営は市が行っている。ハラレ地区には Robertson 湖および McIlwaine 湖の2つの大きな貯水湖をはじめ、多数の小さな貯水湖があり豊富な水を貯えている。従って、水の供給に基本的な問題はない。民生用上水道は工業用上水道と区分されておらず、同一の配管システムにより水が供給されている。一方、工場は簡単な処理を行った後、廃水を市の下水道へ排水している。

8-5 輸送

ジンバブエの道路網はよく整備されており、舗装された道路が全国の主要都市を結んでいる。しかし、トラックの数が少ないため、物資の輸送は鉄道が主体となっている。なお、旅客の輸送はバスに頼っている。鉄道はNRZ (National Railways of Zimbabwe) により運営されている。全線単線路であるが、全国の主要都市を結ぶ鉄道網が整備されている。また、Machipanda 経由でモザンビークの Beira 港、Chicualacuala 経由でモザンビークの Maputo 港、Beit Bridge 経由で南アフリカ共和国のダーバン港と接続している。ハラレから最も近い海港はモザンビークの Beira 港である。しかし、このルートはモザンビークの内乱のために運行が不安定である。また、モザンビークの Maputo 港にいたるルートも、同様の理由から、運行が不安定である。従って、かなりの資材輸送は南アフリカ共和国のダーバン港を通して行われている。

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は表9-1に示す物質が排出される。この内、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。

公害防止対策の策定に当たっては、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。大気汚染防止法では、規制対象となる物質、地域、業種は規定されているが、ガス、ダスト、ばい煙等に関する規制値は定められていない。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ることとなっている。評価基準は決められておらず、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。水質汚濁防止法では、河川を2つの流域に区分し、流域毎に廃水および流出水に対する規制値を定めている。また、ハラレ市では、下水管に工場廃水を流入させる場合についての規制値を定めている。

9-2 大気汚染防止対策

本クエン酸プラントでは製品の結晶、乾燥工程用に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。上記の様に、ダストに対する具体的な規制値はないが、工場の建設に際しては厚生省の認可が必要である。現地調査時に行った、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、予想される排ガス中のダストの量・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、ジンバブエでも広く用いられている。本調査は、サイクロンの採用を検討した結果、10 μ m以上のダストに関しては99%以上、ダスト全体では91%以上の集じん率が得られることが判明したので、サイクロンを採用することとした。サイクロンを設置するのに必要な面積は8m \times 4.7m程度である。

Table 9-1 Kinds, Quantities and Properties of Wastes from a Citric Acid Plant

Kinds of Waste	Amount Discharged	Properties
<<Air Pollution>>		
Boiler exhaust gas	3,668 ~ 6,927Nm ³ /h	Dust Concentration: 17.1g/Nm ³

<<Water Pollution>>		
Waste water	135m ³ /d	pH : 6 - 9 BOD: 10,000 mg / ℓ COD: 16,000 mg / ℓ SS : 200-300 mg / ℓ
Floor drains and cleaning water	100m ³ /d	pH : 6 - 9 BOD: 500mg / ℓ SS : 20mg / ℓ
Waste water from the cooling tower	900m ³ /d	pH : 6 - 9 BOD: 15mg / ℓ SS : 10mg / ℓ
Domestic waste water from plant employees	0.2m ³ /d/head	pH : 6 - 9 BOD: 200mg / ℓ SS : 200mg / ℓ
Domestic waste water from company residences	0.2m ³ /d/head	pH : 6 - 9 BOD: 200mg / ℓ SS : 200mg / ℓ

<<Waste>>		
Waste mycelium	9 t/d	Water cont. : 80%
Gypsum	17 t/d	Water cont. : 25%
Waste carbon	513kg/d	Water cont. : 65%
Coal ash	2 ~ 3.2 t/d	Water cont. : 20%
Excess sludge	45 m ³ /d	Water cont. : 99%
Dust removed from boiler exhaust gas	1 ~ 2.3 t/d	Water cont. : 5%
Incineration ash	7 ~ 72 kg/d	Water cont. : 5%

9-3 水質汚濁防止対策

クエン酸工場の廃水は、適当な処理を行った後に、ハラレ市の下水道管に放流されることになる。クエン酸工場の廃水はBOD、COD (Chemical Oxygen Demand) 値が高く、S

S (Suspended Solid) 濃度が低い点に特徴がある。また、この廃水には有害物質は含まれていない。ハラレ市は工場排水を下水道に放流する場合の基準を設けているが、BOD、CODに対しては規制がなく、SSに対する規制も緩やかである。従って、法規を満足するだけであれば、特別の公害防止対策は不要である。しかし、ハラレ市の下水処理水が流入している McIlwaine 湖は、工場廃水、生活污水、農薬などにより富栄養化が著しく進んでいる。同湖はハラレ市の水源の一つになっており、大きな社会問題となっている。従って、湖への流入負荷を増加させないためにも、クエン酸工場の廃水を適切に処理する必要がある。本調査では、ハラレ市の規制値および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した。

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

クエン酸製造プロセスから排出される廃水の内、設定した処理基準を越える排水は、精製プロセスからの高濃度廃水である。プロセス廃水の処理に際しては、原水のBODが10,000mg/ℓという高濃度のため、冷却塔の排水(265m³/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 / m³ · 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。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り、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、省エネルギー化が可能である。
- ・ 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。

なお、他の排水は、BOD濃度が低いので、処理せずに下水管に放流する。

9-4 廃棄物処理

クエン酸プラントから発生する廃棄物（副産物）の処理方法を以下にまとめる。廃棄物の処理に当たっては、できる限り再利用を計ることが望ましい。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。

(1) 菌体

菌体の排出量は約9トン/日である。菌体は水分が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（堆肥）として農地への利用を考える。

(2) 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、セメント、石膏ボード、プラスター、焼石膏、農業用等に利用可能である。

(3) 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、路盤強化材等に利用可能である。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 焼却灰

廃活性汚泥処理の基本は肥料とすることであるが、工場の近くに適当な農地が確保できない場合には焼却処理を行う。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。

第10章 クエン酸発酵試験

10-1 発酵試験の目的と方法

クエン酸は炭水化物を原料とする発酵法により製造されている。発酵法は微生物の作用を利用するので、原料と発酵プロセス(菌株、発酵条件)の適否が発酵成績に大きく影響する。工業化されている技術は、安価に入手可能な原料に適した菌株の選別・改良、特定の菌株・原料に適した発酵条件の研究・開発を経て完成されたものである。原料と発酵プロセスの適合性について、ある程度までは経験的に判明しているが、不明の部分も多い。従って、既存の技術を特定の原料に適用する場合には、発酵試験が不可欠である。ジンバブエで現在あるいは近い将来入手可能な原料と、日本で商業化されている技術の組み合わせは以下のとおりである。

(1) コーンスターチを原料とする液内発酵法

(2) さつま芋澱粉粕/キャッサバ澱粉粕を原料とする固体発酵法

本調査では、ジンバブエ国内でのクエン酸製造の商業化可能性を調査する目的で、上記の原料・プロセスをもとに、日本国内で実際にクエン酸を製造している企業2社に発酵試験を委託した。一方、実験室レベルの研究ではあるが、ジンバブエで安価に入手可能な糖質原料(粗糖、濃縮ケージュース、ケーンモラセス等)もクエン酸原料として利用可能である。それ故、糖質原料によるクエン酸製造の可能性を調査する目的で、上記の技術を開発中の早稲田大学に発酵試験を委託した。

10-2 コーンスターチを原料とする発酵試験

本調査では、日本で工業生産に利用されている発酵技術(菌株・発酵条件)とジンバブエにて入手したコーンスターチ(商標名STARCONおよびSTARTEX-45の2種類)との適合性の検討を行った。試験は(a) 試料の分析、(b) フラスコ試験、(c) 発酵結果の解析および発酵条件の検討、(d) フラスコによる再試験、(e) 30ℓのジャーによる試験の順で行った。

上記の2種類のコーンスターチを分析した結果、粗蛋白の含有量が多く、クエン酸原料としてやや不適と判断された。また、電気伝導度が高い点(不純物として電解質を多く含む)も問題である。原料の化学分析に次いで、フラスコによる発酵試験を行った。発酵試験の条件は、商業プラントにて採用されている条件と同一である。クエン酸の収率(培養時間:7日間)は以下のとおりで、日本産のコーンスターチを原料とした場合に比較して、劣る結果

となった。特に、STARTEX-45の場合には菌体の過剰増殖が起こり、クエン酸の生成量が少なかった。しかし、両原料共に、発酵条件を変更することにより、クエン酸原料として使用可能であると判断された。

・STARCON : 対全糖収率… 77.00 %、対消費糖収率… 84.18 %

・STARTEX-45 : 対全糖収率… 66.13 %、対消費糖収率… 71.99 %

第1回の発酵試験の結果に基づき、菌体の発育を抑制すべく、発酵条件を一部変更してフラスコ試験を再度行った。その結果、以下に示す様に、相当の改善が認められた。

・STARCON : 対全糖収率… 78.40 %、対消費糖収率… 86.22 %

・STARTEX-45 : 対全糖収率… 75.67 %、対消費糖収率… 84.51 %

フラスコ試験の結果、ジンバブエ産のコーンスターチがクエン酸発酵の原料として使用可能と判断されたので、より大型の試験機であるジャーを使用して確認試験を行った。発酵試験結果は以下に示す様に、日本産のコーンスターチを使用する場合とほぼ同等の成績を得た。

・STARCON : 対全糖収率… 81.98 %、対消費糖収率… 89.71 %

・STARTEX-45 : 対全糖収率… 80.45 %、対消費糖収率… 90.09 %

・日本産コーンスターチ : 対全糖収率… 83.98 %、対消費糖収率… 90.14 %

フラスコ試験・ジャー試験の結果、ジンバブエ産コーンスターチがクエン酸発酵原料として使用可能であることを確認した。ジンバブエ産のコーンスターチは、日本産に比較して、粗蛋白、粗灰分、鉄等の金属を多く含むが、これがそのまま致命的な発酵阻害に通じるものではないことが判明した。

10-3 さつま芋/キャッサバを原料とする発酵試験

本調査では、ジンバブエで調製したさつま芋およびキャッサバの切干を日本にてイモ粕およびイモの粉碎品に調製し、発酵試験を行った。発酵試験は(a) シャーレ、(b) ビーカー、(c) 発酵室で商業生産に使用されているトレイの順でスケールアップして行った。なお、キャッサバは入手出来た試料の量が少なかったため、ビーカーおよびトレイ試験を省略せざるを得なかった。

(1) さつま芋澱粉粕を原料とする発酵試験

栄養源として日本産米糠あるいは小麦フスマを添加し、シャーレによる発酵試験（培養時間：7日間）を行った。クエン酸の対全糖収率は以下のとおりであった。

・さつま芋澱粉粕 + 米糠 : 80.7 %

・さつま芋澱粉粕 + 小麦フスマ : 74.7 %

シャーレによる試験で良好な結果を得たので、試料の量を増やして 500ml のビーカーによ

る発酵試験を行った。試験方法は、シャーレによる試験と基本的に同一であるが、培地に適度の通気性を持たせるためにジンバブエ産バガスを少量添加した。クエン酸の対全糖収率は以下のとおりであった。

・さつま芋澱粉粕 + バガス + 米糠 : 79.3 %

・さつま芋澱粉粕 + バガス + 小麦フスマ : 75.5 %

ピーカーによる試験でも良好な結果を得たので、商業生産に使用されているトレイを用いて実際の発酵室内で試験を行った。試験方法は、商業レベルと基本的に同様であるが、原料となる澱粉粕の量に制限があるので、トレイ容積の約1/5を間仕切して澱粉粕にバガスを混入した培地を仕込み、発酵試験を行った。クエン酸の対糖収率は80.2%（日本における平均値は約85%）であった。

(2) キャッサバ澱粉粕を原料とする発酵試験

キャッサバ澱粉粕に栄養源（日本産米糠あるいは小麦フスマ）とバガス（培地の通気性を良くするため）を加え、さつま芋の場合と同様の方法にてシャーレによる発酵試験を行った。クエン酸の対全糖収率は以下のとおりであった。

・キャッサバ澱粉粕 + 米糠 : 85.4 %

・キャッサバ澱粉粕 + 米糠 + バガス : 87.7 %

・キャッサバ澱粉粕 + 小麦フスマ : 77.6 %

(3) さつま芋粉碎品を原料とする発酵試験

さつま芋の粉碎品を原料、バガスを担体、米糠を栄養源として発酵試験を行った。クエン酸の収率は96時間目で最大となり、対全糖収率は81.0%（シャーレ試験）、77.5%（ピーカー試験）であった。さつま芋全体を用いる場合には、窒素分過多による発熱過多が観察された。

(4) キャッサバ粉碎品を原料とする発酵試験

キャッサバ粉碎品を原料、バガスを担体、米糠を栄養源として発酵試験を行った。クエン酸収率は120時間目で最大となった。対全糖収率はシャーレで85.4%、ピーカーで82.5%を得た。さつま芋と比較すると、キャッサバ中の窒素分は少ないが、発酵は旺盛で相当の発熱が認められた。

(5) 結論

ジンバブエ産のさつま芋およびキャッサバから実験用に調製した澱粉粕を原料とするクエン酸発酵試験を行い、良好な結果を得た。キャッサバの場合には、現地で入手した原料の量

が少なく、ピーカーおよびトレイ試験を省略した。しかし、シャーレ試験で良好な結果を得、キャッサバ澱粉粕を原料とするクエン酸の商業生産は可能であると判断される。本調査ではバガスを加えた培地についても試験を行った。この理由は、澱粉粕の状態から判断して、担体としてバガスを補えば、発酵成績が向上すると思われたからである。試験結果は予想以上に好成績を示した。

イモ全体の粉碎品を使用する発酵試験に於いても、適切な担体を使用することにより、相当の好成績を収めることが確認された。ただし、含有窒素分その他の栄養過多による相当の発熱が認められるため、大量培養（商業生産）を行うためには発熱を抑制する培養条件の検討が必要である。

以上のことから、さつま芋およびキャッサバを原料とするクエン酸製造は技術的に可能であると判断される。なお、小麦フスマは、米糠に比較すると多少成績は劣るが、固体発酵法の栄養源として使用可能である。

10 - 4 糖質原料を用いた発酵実験

現地調査時に収集した以下の担体および原料を使用して発酵試験を行った。

- 担 体：バガス
- 糖質原料：① 粗糖
 - ② 粗糖から精製糖を得る工程で得られるシロップ (Affination Syrup)
 - ③ 濃縮ケーンジュース (Condensed Sugarcane Syrup)
 - ④ 粗糖から精製糖を得る工程で得られるモラセス (Process Molasses)
 - ⑤ 粗糖を2回析出させた後の母液 ("B" Molasses)

クエン酸の対全糖収率は以下のとおりであった。

- | | |
|-----------------------------|----------|
| - 粗糖 | : 80.6 % |
| - Affination Syrup | : 39.5 % |
| - Condensed Sugarcane Syrup | : 62.3 % |
| - Process Molasses | : 74.5 % |
| - "B" Molasses | : 25.0 % |

以上の実験結果より、粗糖を原料とする半固体発酵法によるクエン酸の製造は技術的に可能である。濃縮ケーンジュースおよびプロセスモラセスを原料とした場合の発酵成績も比較的良好であった。

第 11 章 プロジェクトスキーム

11-1 プラント規模

本調査では対象とするクエン酸市場の範囲をジンバブエ国内および南部アフリカ諸国に定めた。

ジンバブエ国でのクエン酸の市場規模は、1996年(プラントの運転開始年)には約900トン/年が見込まれている。また南アフリカ共和国の同年の需要は4,700トン/年、そして他の周辺諸国の需要は600トン/年と予想される。従って、1996年の対象市場の総需要は6,200トン/年と推定される。一方、本プラントより期待される潜在販売量はこの総需要の53%にあたる約3,300トン/年と見積もられる。

クエン酸生産プラントは経済的観点からはできるだけ大規模な生産能力を持った工場を建設するのが望ましい。一方、大型工場を建設し、製品販売が予定通り達成されないで、工場の操業度を下げるような事態は極力避けなければならない。従って、プラント生産能力は予想される潜在販売量より幾分控え目とし、年間生産量3,000トンと設定する。

11-2 原料の選択

クエン酸の生産用原料として、以下のものが考えられる。

- (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) 砂糖きびの精糖工程で得られるモラセス
- (5) 砂糖きびから精製糖を得る工程の途中で得られる粗糖、濃縮ジュース等

このうち(1)のさつま芋澱粉粕と(2)キャッサバ澱粉粕によるクエン酸生産は固体発酵法によるものである。固体発酵法は液内発酵法に比較して、初期投資額が少なく、労働集約型であり、ジンバブエの国情に合致している。従って、さつま芋澱粉粕、キャッサバ澱粉粕をクエン酸原料の候補として検討対象としたが、それらはジンバブエでは全く生産されていない。さつま芋あるいはキャッサバそのものも極めて小量が家庭菜園的に栽培されているだけである。従って、本計画調査の対象原料としては不適当なため、本計画から除外した。

(4)の砂糖きびより得られるモラセスは、ガソリンに混入するエタノールの原料等に有効活用されており、不足分を隣国ザンビアより輸入している状況である。(5)の粗糖および濃縮ケーンジュースを原料とするクエン酸プラントは商業化されたものはなく、それらはモラセスよ

り高価である。以上の理由で(4)のモラセスおよび(5)の粗糖、濃縮ケーンジュースを対象原料より除外した。以上の原料選択の検討過程で現実的な候補原料として残ったものはコーンスターチである。

ジンバブエ国のメイズ生産量は近年減少してはいるものの、年間100万トン内外である。単位面積当たりの収穫量も高く、国際競争力も充分ある。本計画に必要となるコーンスターチ生産のためのメイズの量は年間約6,000トンであり、この程度の量は十分に確保できる。ジンバブエ国のコーンスターチの生産量は年間12,000トンであり、本プロジェクトに必要な4,100トン/年のコーンスターチの供給余力はないが、クエン酸原料としての用途以外の需要も高く、増設は可能である。また、価格は現在のところ高価であるが改善の余地が大きい。従って、本計画ではコーンスターチを主原料に選定した。

11-3 クエン酸製造プロセスの比較

11-3-1 固体発酵法

ジンバブエ産のさつまいも、キャッサバを原料として、それら澱粉粕と日本産米糠を用いた試験では、対糖収率がさつまいもの場合で約80%、キャッサバの場合が約85%と良好な結果を示した。従って、両原料の澱粉粕を主原料とした固体発酵法によるクエン酸製造は技術的に可能である。

しかしながら、原料となるさつまいも澱粉粕あるいはキャッサバ澱粉粕、および栄養源となる米糠がジンバブエ国では入手不可能と判明したので、固体発酵法を本計画に採用することは断念した。

11-3-2 液内発酵法

液内発酵法による工場は、原料仕込みタンク、発酵タンク、ポンプ、エアコンプレッサ、熱交換器、ろ過器、弁等を配管で接続した近代的な化学プラントである。このため、工場の投資額は固体発酵法に比較して高価であり、かつ、かなりの電力を消費する。

液内発酵法に利用される原料の種類は多く、コーンスターチ、ビートモラセス、ケーンモラセス、さつまいも等が世界各国でクエン酸製造用に使用されている。それぞれのプロセスオーナーは独自の菌を開発している。現在運転中の液内発酵法の工場は下記の通りである。

- ・コーンスターチ： 磐田化学工業(株)
Cargill, Pfizer, Miles
- ・ビートモラセス： Sturge
- ・ケーンモラセス： Bayer

・さつま芋 : 中国 (Vogelbusch)

ジンバブエ産のコーンスターチを用いた発酵試験の結果は対全糖収率約 81 %、対消費糖収率約 90 %と日本産コーンスターチによる試験とほぼ同等の成績を示した。従って、ジンバブエ産コーンスターチを主原料とした液内発酵法によるクエン酸製造は充分可能である。

また、ジンバブエ国では電力料金が低廉なこと等を考慮して、本計画には液内発酵法を採用することとした。

11 - 4 環境対策

微生物発酵によるクエン酸プラントからは有機物を含んだ廃水（精製プロセスより）や排ガス（ボイラーより）が排出されるため、環境対策が必要である。廃液については改良型ラグーン処理設備を設けて処理し、排ガスについてはサイクロンを設けることにより汚染防止を計る。また、副産物として産出する液体や石膏等につき、できる限り再利用を計る。

11 - 5 プラントサイト

ハラレ市近郊のノートン市 (Norton)、チトウングウィザ市 (Chitungwiza) およびムクビシ (Mukuvisi) 地域を対象として現地踏査した結果、ムクビシにあるジンフォス社燐酸肥料工場に隣接する敷地が最適と判断した。ここはメイズ集荷場所やコーンスターチ製造場所にも比較的近く、原料・製品の輸送用鉄道引込線があること、地盤が固く良好であること、高圧電線および工業用水・下水道管が近くまで来ていること等、工場立地場所としての好条件を具備している。

11 - 6 プロジェクトスキームのまとめ

本計画調査のプロジェクトスキームは次のようにまとめられる。

- ・工場生産能力 : クエン酸 3,000 トン/年
(クエン酸一水和物、BP 規格準拠)
- ・原料 : ジンバブエ産コーンスターチ (消費量約 4,100 トン/年)
- ・プロセス : 液内培養法
- ・プラントサイト : ハラレ市の中心より東へ約 10 km のムクビシ地域

本計画調査の概念設計、建設コスト、操業計画、財務分析等は上述したプロジェクトスキームに基づき実施された。

第 12 章 プラントの概念設計

第 11 章で述べたプロジェクト・スキームをもとに、年間 3,000 トンのクエン酸一水和物(BP 規格準拠)を製造するプラントの概念設計について記述する。

12-1 プラント設計の前提条件

クエン酸プラントの建設用地には、ハラレ市南東部のムクビシ (Mukuvisi) 地区にあるジンフォス (Zimphos) 社の隣接地が選定された。同地区は工業用インフラストラクチャが整備されている。すなわち、鉄道・道路等の交通の便が良く、停電の可能性も非常に少ない。そして地盤も強固である。

プラントの概念設計は、第 10 章で述べた発酵試験結果に基づき行った。運転はバッチ操作を基本とし、運転、維持・管理が容易な設計とした。以下にプラント設計の主要前提条件をまとめる。

- (1) 生産能力 : クエン酸一水和物 3,000 トン/年
- (2) 菌株 : *Aspergillus niger*
- (3) 原料 : ジンバブエ産コーンスターチ (商標名 STARCON)
- (4) 製品規格 : BP (British Pharmacopeia) 規格
- (5) 荷姿 : 50kg の袋詰め (紙 4 層 + ポリエチレン 1 層)
- (6) 電力 : ZESA よりの 2 回線受電、自家発電設備を設置しない。
- (7) 用水および廃水
 - ・プロセス水 : 公共用水
 - ・冷却水 : 冷却塔による循環方式
 - ・廃水 : 環境規制上の対策を実施後、公共下水道に排出
- (8) 計装・制御 : 主要工程は自動制御 (その他は手動操作)

12-2 クエン酸製造プロセスの概要

(1) 発酵工程の概要

クエン酸発酵工程では、試験室で純粋培養されたクエン酸生成菌をサイズの異なる 3 種類の発酵槽に順次、植菌・培養することにより商業生産規模量のクエン酸を液体培地に蓄積する。発酵工程では原料の加熱殺菌と発酵工程中の雑菌汚染防止が重要である。また、発酵に際しては熱の発生を伴うので、冷却に多量の用水を必要とすることが、本プロセスの特徴である。発酵工程は以下の工程からなる。なお、本プラントは、主発酵槽 3 本、一次種母タン

ク1本、二次種母タンク1本を持つ。主発酵は3バッチ/7日間となる。両種母タンクの操作サイクルは、主発酵槽のサイクルに合わせて、48あるいは72時間となる。

(a) コーンスターチの液化

クエン酸発酵1バッチ分のコーンスターチ(28,540kg)に水を加え、濃度30%のスターチ乳液を調製する。スターチ乳液に酵素アミラーゼを加えた後、蒸気を吹き込み90℃まで加温する。そして反応タンクに送り、高温に維持しながら酵素の働きでスターチを液化する。

(b) フラスコ種母培養

コーンスターチ50g、アミラーゼ0.05gおよび水800mlで乳液を調製する。90℃にてスターチを液化した後、栄養源および水を加えて1,000mlとする。2ℓ三角フラスコ3本に330mlずつ分注し、オートクレーブで加熱殺菌する。この培地に *Aspergillus niger* を植菌し、35℃にて45時間培養を行う。

(c) 一次種母発酵

一次種母タンクにコーンスターチ液化液48kgと栄養源を入れ、さらに水を加えて680ℓの培地とする。培地に蒸気を吹き込み殺菌した後、冷却する。フラスコ種母3本を殺菌済みの培地に植菌し、攪拌・通気を行いながら、35℃にて36時間発酵を行う。

(d) 二次種母発酵

二次種母タンクにコーンスターチ液化液6,743kgと栄養源を入れ、水を加えて9.4kℓの培地とする。培地に蒸気を吹き込み殺菌した後、冷却する。一次種母を殺菌済みの培地に植菌し、攪拌・通気を行いながら、35℃にて36時間発酵を行う。

(e) 主発酵

培地仕込タンクに温水と栄養源を仕込み、10kℓとする。この栄養源、反応タンク内のコーンスターチ液化液、温水を連続的に殺菌、冷却しながら主発酵槽に移送する。主発酵槽内の培地容量は168kℓとなる。二次種母を殺菌済みの培地に植菌し、攪拌・通気を行いながら、35℃にて160時間発酵を行う。

(2) 精製工程の概要

クエン酸精製工程の基本原理は、クエン酸を溶解度の低いクエン酸カルシウムとして晶析・分離し、分離したクエン酸カルシウムを硫酸で分解しクエン酸水溶液を得、これを濃縮して結晶クエン酸を得ることである。精製工程は以下の工程からなる。精製工程の設計においては、母液、洗浄水等を循環させることにより、クエン酸の損失を最小限にするよう工夫した。

- (a) 発酵終了液の受入
プロスタックに発酵終了液を全量受け入れる。
- (b) 菌体ろ過
菌体ろ過機にろ過助材を塗布し、減圧下で発酵終了液中の菌体をろ過する。
- (c) クエン酸カルシウムの晶析（中和）
菌体ろ過液と二次母液を中和タンクに入れ、蒸気で 50℃ に加温する。消石灰スラリーを添加し、攪拌しながら pH 5.0 に中和し、溶解度の低いクエン酸カルシウムを得る。
- (d) クエン酸カルシウムの分離
晶析したクエン酸カルシウムを含有するスラリーをろ過機に移送し、結晶と溶液に分離する。分離された溶液は廃水処理工程へ送られる。
- (e) クエン酸カルシウムの酸分解
分離されたクエン酸カルシウムに硫酸を加え、クエン酸カルシウムを分解して、遊離クエン酸と硫酸カルシウム（石膏）のスラリーを得る。
- (f) 遊離クエン酸と硫酸カルシウムの分離
上記のスラリーを遠心分離機に送り、遊離クエン酸と硫酸カルシウムとに分離する。硫酸カルシウムは系外に排出される。
- (g) クエン酸液の一次濃縮
上記の遊離クエン酸液に一次母液、二次結晶および最終母液を加え、減圧下で濃縮する。
- (h) クエン酸結晶の一次晶析
クエン酸濃縮液を攪拌しながら 35℃ まで冷却する。次いで、少量の種晶を加えて温度を 20℃ 以下まで冷却し、クエン酸の結晶を析出・熟成させる。
- (i) 一次クエン酸粗結晶の分離
熟成したクエン酸のスラリーを遠心分離機に送り、クエン酸の一次結晶と一次母液に分離する。分離された一次母液は、一次濃縮工程と二次晶析工程に送られる。
- (j) クエン酸二次結晶の回収
一次母液の 40% 量を減圧下で濃縮した後、冷却してクエン酸の結晶を析出・熟成させる。熟成したクエン酸のスラリーを遠心分離機に送り、二次クエン酸結晶と二次母液を得る。二次クエン酸粗結晶は一次濃縮工程に、二次母液はクエン酸カルシウム晶析工程に移送される。
- (k) クエン酸液の脱色
クエン酸一次粗結晶と最終母液を脱色タンクに入れ、80℃ に加温後、活性炭を加えて 30 分間脱色を行う。

(l) クエン酸液のろ過

クエン酸脱色液を高温度のままですろ過する。分離された廃活性炭は系外に排出される。

(m) クエン酸最終晶析

脱色液を攪拌しながら 35℃まで冷却する。少量の種晶を加えて 20℃以下まで冷却し、クエン酸の結晶を析出・熟成させる。

(n) クエン酸最終結晶の分離

熟成したクエン酸のスラリーを遠心分離機に送り、クエン酸最終結晶と最終母液を得る。最終母液は脱色工程と一次濃縮工程に送られる。

(o) クエン酸の乾燥

分離されたクエン酸を連続的にコンベヤーで乾燥機に送り、60℃の熱風で乾燥する。

(p) クエン酸の充填

規格外のサイズの結晶を除いた後、50kg 入り袋に充填する。

(3) 工程図

図 12 - 1 にプロセスフローシートを示す。

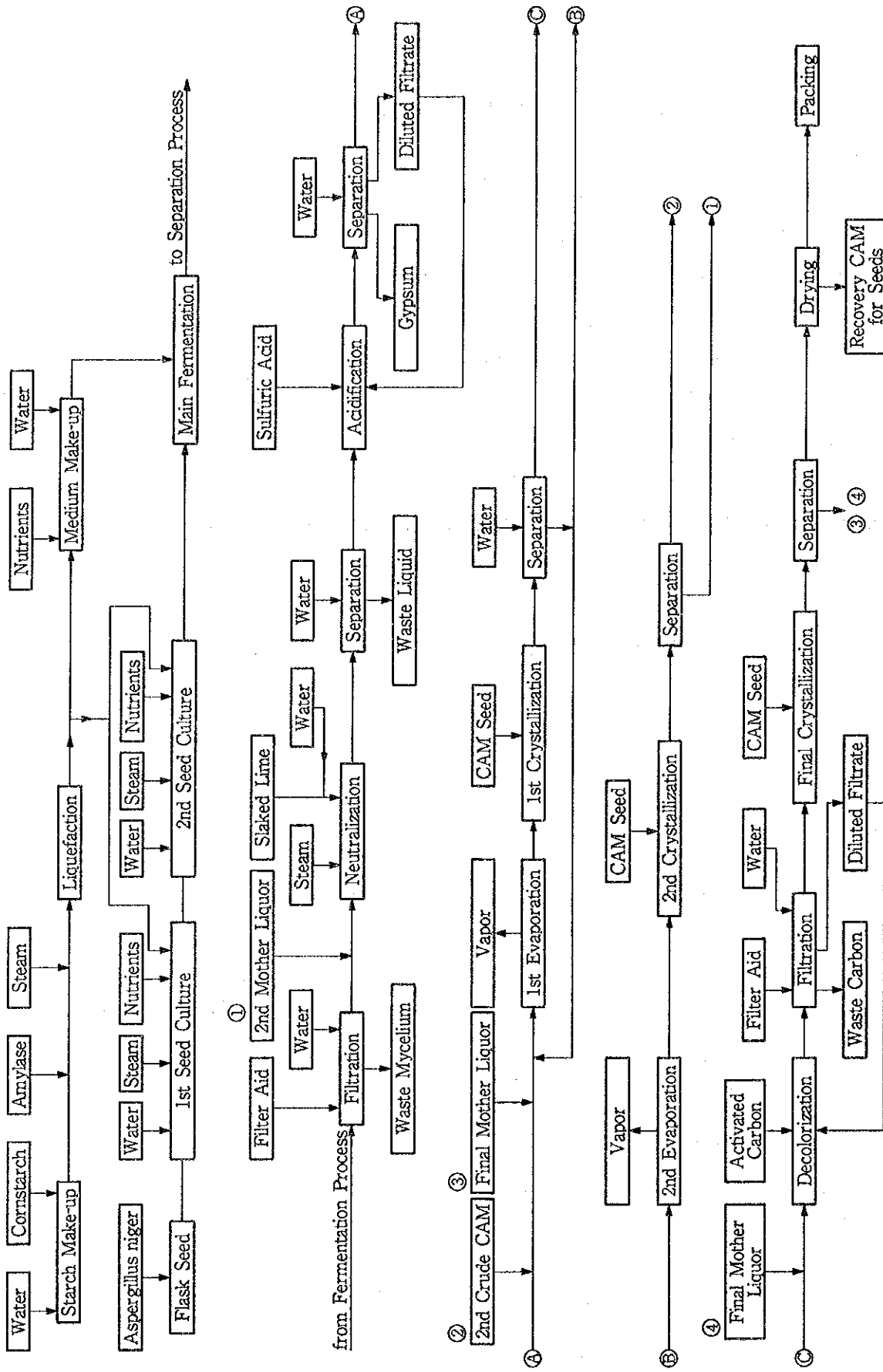


Figure 12-1 Block Flow Diagram

12 - 3 原料

クエン酸の製造に必要な原料を以下にまとめる。

(1) コーンスターチ

発酵試験に使用したコーンスターチの内、成績の良かったSTARCONを使用する。

(2) 硫酸

ジンフォス (Zimphos) 社製の濃硫酸を使用する。

(3) 消石灰

クエン酸製造用の消石灰には、マグネシウム、鉄、シリカ等の不純物をできるだけ含まないことが要求される。マグネシウムは製品の回収率、鉄は製品の色、シリカは製品中の灰分に影響する。ジンバブエ産の消石灰は純度が低く、本プロセスには使用できない。本調査では、ザンビア産の消石灰 (Ndola Lime) を使用するものとしたが、より良質なものを使用することが望ましい。

(4) 活性炭

ジンバブエで生産されている精糖用の骨炭は、クエン酸に溶解可能な不純物を多く含むため、本プロセスには利用できない。従って、適当な品質の活性炭を輸入する必要がある。

(5) その他

本プロセスでは、上記の原材料以外に、ろ過助材、酵素アミラーゼおよび栄養源 (硝酸アンモニウム、リン酸一カリウム、その他の微量成分) が必要となる。この内、ジンバブエ産の製品が利用できるものは、栄養源の硝酸アンモニウムのみである。他については、ジンバブエでは要求性状を満たす製品が生産されていないため、輸入を必要とする。

12 - 4 原単位

物質収支計算は発酵収率を 82 % (発酵試験結果)、精製収率を 90 % (日本のプラントの実績値) とし、全体収率を 73.8 % として行った。以下に製品 1 トンを得るのに必要な原料の量をまとめる。

- ・ コーンスターチ : 1,359 kg
- ・ 硫酸 : 1,000 kg

・消石灰	:	750 kg
・ろ過助材	:	110 kg
・硝酸アンモニウム	:	29 kg
・りん酸一カリウム	:	17 kg
・活性炭	:	10 kg
・その他栄養源	:	3.7kg

クエン酸一水和物を1トン製造するのに必要な用役の量は、石炭（蒸気発生用）：1.2トン、水：145m³、電気：4,000kWhである。

なお、副産物の生成量は第9章「環境対策」で述べた通りである。

12-5 プロットプラン

本工場は、生産設備（発酵工程、精製工程、用役設備、倉庫）、環境対策施設、その他の施設（事務所、実験室等）、駐車場、道路および空地・緑地からなる。工場敷地の面積は約27,250m²である。

発酵工程、精製工程の建物は7m×7mのコラムスパンを基本とする。建物は何れも鉄筋コンクリート造とした。

12-6 設備の要点

(1) 発酵工程設備

本工程は、コーンスターチの液化装置、3種類の通気・攪拌型発酵タンクを中心に構成されている。発酵タンクは、培地の殺菌、空気の除菌などの設備を備え、冷却可能な構造となっている。

(2) 精製工程設備

精製工程は、発酵液中のクエン酸を高純度、高収率で単離精製するために、菌体ろ過、晶析、分離、濃縮、溶解、脱色、ろ過、乾燥、移送、充填などの可能な機器を備えている。発酵液中のクエン酸に消石灰を加えて溶解度の低いクエン酸カルシウムを析出・分離し、製品の純度を上げる方法は、本プロセスに独自のものである。しかし、本工程で使用される機器自体は、他の類似製造品の工程でも広く用いられている。

第 13 章 建設工事および建設コスト

13-1 ジンバブエのケミカルエンジニアリング産業

ジンバブエの建築・土木関連企業は豊富な工事実績を持ち、この分野での設計・建設に関する能力については何等懸念するところはない。しかし、化学工場の建設については、やや事情が異なる。即ち、ジンバブエにおいては、化学工業の規模があまり大きくないため、欧米・日本等において見られるようなケミカルエンジニアリングを専業とする企業は存在しない。化学工場の建設においては、建築・土木を本業とするコンサルタント・エンジニアリング会社等が元請けとなって工事を受注し、部分的に単位プロセス毎に装置メーカーに下請け発注している例が多い。

13-2 建設工事

(1) 機器、資材の調達

(a) 機器の概要

クエン酸製造プロセスの内、発酵工程は発酵槽、エアフィルター、連続殺菌装置等、いわゆるバイオテクノロジー独特の機器の組合わせにより構成されている。これらの機器はバイオエンジニアリングのノウハウに基づき設計・製作される。発酵工程の全ての機器は、雑菌汚染防止およびクエン酸による腐食防止のために、ステンレス鋼材を多用して製作される。他の工程の機器は通常の化学プロセスに多用されている遠心分離機、濃縮装置、結晶缶、乾燥装置等から構成されている。

(b) 機器および資材の調達

本調査では、可能な限りジンバブエ国産品を使用するよう努めた。しかし、主発酵槽（容量 240Kℓ）、連続蒸煮装置、蒸発缶、遠心分離機、エアコンプレッサー、ステンレス鋼製の部品（一部を除く）、実験室用機器（一部を除く）等については輸入を必要とする。

(c) 機器の輸送

本調査では、プラント建設のための資機材の輸入は南アフリカ共和国のダーバン経由で行われるものとした。機器の陸上輸送は、ジンバブエの鉄道が狭軌であり、大型機器の輸送に適さないことを勘案し、トレーラーによる道路輸送とした。

(2) 機器の据付・配管工事

クエン酸製造工場で使用される機器の中で最大のものは、直径 5.3m、長さ 15m、重量 65 トン程度の主発酵槽である。従って、ジンバブエ国内における各種重化学工業、大型火力発電所等の建設実績を生かせば、本プラントのための機器据付は大きな問題ではない。

一方、発酵工程には工程の無菌管理上、独特の設計、施工ノウハウが求められる。その内容は図面に示しきれない内容を含んでいるため、プロセスおよび機器を熟知した技術者の建設現場での指導が必須となる。配管溶接施工の結果、パイプの内面に凹凸が生じた場合には、これが雑菌汚染の原因ともなる。従って、熟練した溶接技術者の確保が重要である。

保温・保冷工事に関しては、ジンバブエの気候は一般に温和であるので、保温・保冷対策は比較的容易である。なお、本プラントは食品添加物を製造するので、アスベスト（石綿）を含む断熱材は一切使用しないものとする。

(3) 電気・計装工事

最近では計装にコンピューターコントロールを採用している化学工場も多い。しかし、本プロジェクトにおいては、最先端の電気・計装設備を採用する必要はない。従来の電気・計装設備を採用する場合には、国内調達が可能で、メンテナンスも容易となる。また、既存の各種工場での実績が活かせる施工上の利点がある。

(4) 建築・土木工事

ハラレ市周辺は地盤が強固で地震も極めてまれである。特に、工場建設予定地としたムクビシ地区は小石と粗砂で構成される強固な地盤よりなり、建屋・工場の建設に際し杭打ちは不要である。

ジンバブエでは、建屋に一般に使用される大型型鋼の製造が行われておらず、輸入に依存している。従って、本調査では、型鋼の使用を避け建築物は全て鉄筋コンクリート構造とした。壁には国産のレンガを使用する。ジンバブエは、地震が極めて少ないので、上記の構造に問題はないと判断される。

(5) 建設工期

この種のプラントの建設工期は、一般に建設契約締結後 2 年前後である。本プロジェクトにおいても、資材・資金等の問題がなければ、2 年で建設可能である。ただし、ジンバブエではセメント、ステンレス鋼材、配管材料、板ガラス等の材料が不足しているので、事前に十分な対策を講じる必要がある。図 13-1 に建設工程表を示す。

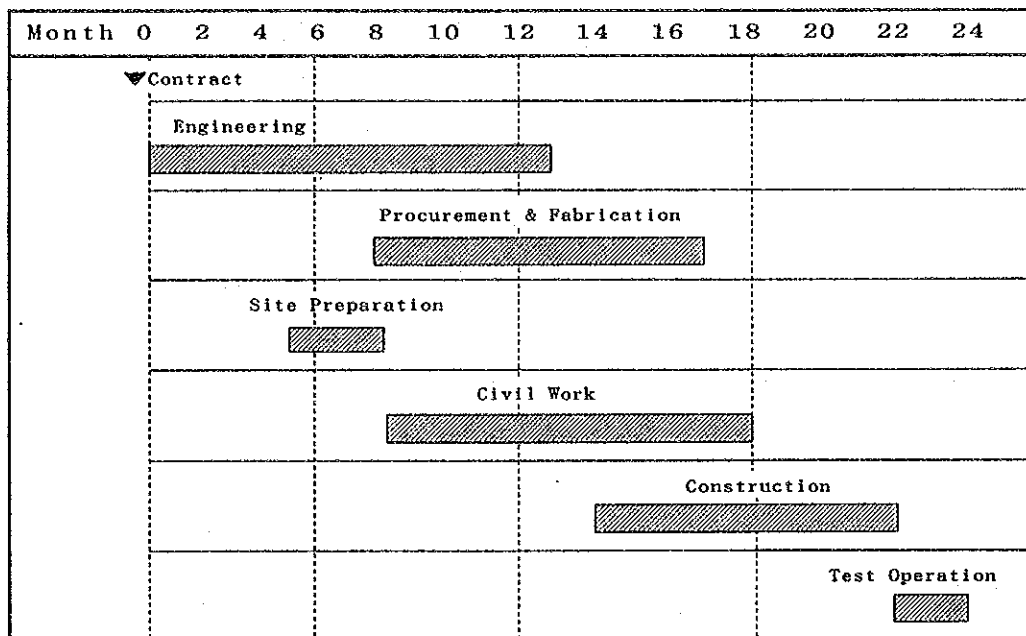


Figure 13-1 Master Schedule

13-3 建設コストの積算

建設費用の積算は現地調査を実施した1991年の価格にて行った。内貨部分の積算に際しては、できる限り現地情報を重視するよう努めたが、統計資料の不足、インフレーションと貨幣価値の下落による価格変動、流通経路の差による極端な価格差等により、十分な情報を得られなかった項目もある。十分な情報を得られなかった一部の項目については、日本の情報を参考にして推定した。輸入品については、日本にて調達し、ダーバンまで海上輸送し、ダーバンからハラレまではトレーラーにより輸送するとの前提に基づき積算した。

なお、建設工事は、ライセンサーより派遣されるスーパーバイザーの指導の下に、現地の建築・土木関係のコンサルタント・エンジニアリング会社が行うものとする。

積算は、内貨部分についてはジンバブエドル(Z\$)、外貨部分は日本円にて積算し、さらに以下の換算レートを用いて米ドルに換算した。

・ US\$1=Z\$3.15

・ US\$1=132円

積算結果を表13-1にまとめる。なお、本積算にはプラント外からの道路・水・電線の延長に係わる負担金、運転員の訓練費および試運転費用は含まれていない。

Table 13-1 Total Plant Cost,US\$

Item	Foreign Scope	Local Scope	Total
Land Aquisition &			
Site Preparation Cost	0	641,889	641,889
License Fee	1,000,000	0	1,000,000
Engineering Fee	1,072,000	299,000	1,371,000
Machinery & Equipment	6,369,000	3,887,000	10,256,000
Spare Parts and Spare Pumps	191,000	154,000	345,000
Inland Transportation			
Cost(Durban to Beitbridge)	0	131,000	131,000
Surtax	0	1,338,200	1,338,200
Inland Transportation			
Cost(Beitbridge to Harare)	0	72,000	72,000
Installation & Piping Cost	0	2,739,000	2,739,000
Electrical & Instrument Cost	0	1,430,000	1,430,000
Civil & Building Cost	0	3,342,000	3,342,000
Insulation & Painting Cost	0	318,000	318,000
Supervision	429,000	99,000	528,000
Contingency	196,800	625,594	822,394
TOTAL	9,257,800	15,076,683	24,334,483

第14章 プロジェクトの実施計画

本章ではプロジェクトの実施上重要となる建設、教育訓練、操業計画等について記述する。

14-1 プラントの設計および建設

本調査では、プラントの設計および建設業務を可能な限りジンバブエの業者に委託するものとした。しかし、クエン酸プラントの設計・建設にはバイオテクノロジー独特の技術が必要であるため、全ての作業をジンバブエの業者に委託することはできない。プラントが完成するまでの一連の作業は、(1) プロセス、ノウハウの提供、(2) 基本設計、(3) 詳細設計、(4) 機器の製作、(5) 現地工事に大別される。この内、(1) と (2) は技術提供国の作業とならざるを得ない。(4) 機器の製作も主要な機器については、外国の業者に委託せざるを得ない。(5) の現地工事に関しては、ジンバブエの技術水準、人件費等を考慮すると、ジンバブエの業者を起用することが得策である。(3) の詳細設計についてはジンバブエの業者が、基本設計を行った外国のエンジニアリング会社の指導の下に、詳細設計を行うスキームとする。

14-2 操業計画

14-2-1 操業日数および時間

本プラントはバッチ操作が基本となり、333日間連続運転を行う。従って、勤務体勢は4直3交代が基本となる。非操業期間は32日間で、定期修理（通常2週間程度）および定期修理後の操業立ち上がり期間等に充てられる。

14-2-2 操業率と生産量

財務的な観点からは、操業開始時より設計能力どおりの生産を行うことが望ましい。しかし、操業開始直後は、運転操作の未習熟と機器の初期トラブル等のために、設計どおりの生産が行われないことが往々にして起こり得る。一方、操業開始初年度から3,000トン全量を販売することは困難である。従って、本調査では、操業率および生産量を以下のように定めた。

- ・初年度 : 76.2 %、2,286 トン
- ・2年度 : 97.2 %、2,916 トン
- ・3年度以降 : 100.0 %、3,000 トン

生産量に対応する発酵工程の仕込バッチ数は、初年度 : 109、2年度 : 139、3年度以降 : 143

となる。従って、初年度は3日に1回、2年度以降は7日に3回の割合で発酵工程における仕込を行うこととなる。

14-3 組織と陣容

14-3-1 組織と役割

クエン酸工場の運営に必要な組織を図14-1に示す。

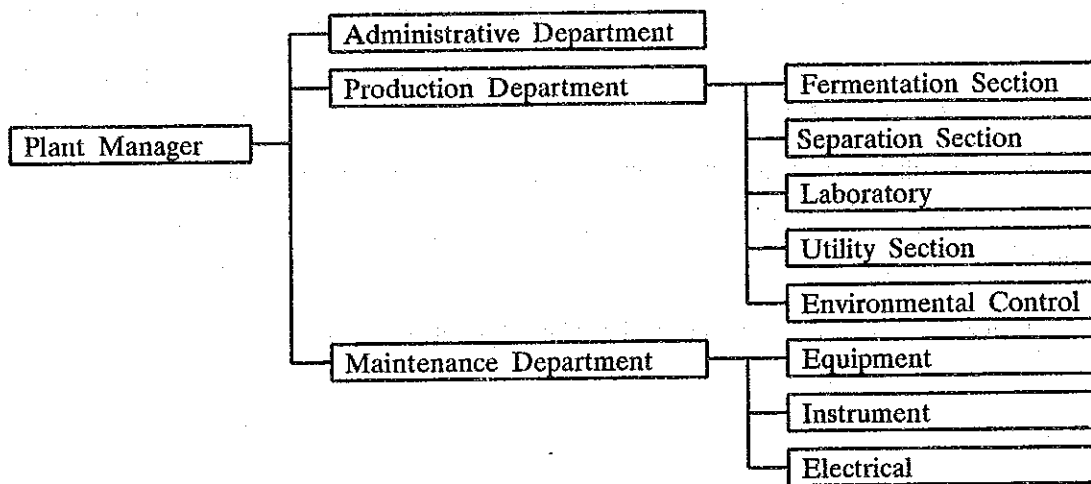


Figure 14-1 Organization Chart of a Citric Acid Production Plant

14-3-2 要員計画

プラントの運転に必要な人員は下記の114名にプラントマネージャーを加えた115名となる。

(1) 製造部門

	人数
- 部長	1
- 発酵工程	23
- 精製工程	29
- 実験室	7
- 用役工程	19
- 環境対策	12
	(91)

(2) メンテナンス部門

	人数
- 部長	1
- エンジニア	3
- 技能作業員	4
- 一般作業員	2
	(10)

(3) 管理部門

	人数
- 部長	1
- 事務員	7
- 守衛	5
	(13)

なお、以上は工場の操業に直接必要な要員で経営、福利厚生等の担当者は含まれていない。

14-4 操業指導と訓練計画

ジンバブエには本プロセスに類似した工場は極めて少ないので、他工場にて経験を積んだ運転員を雇用することは極めて困難である。従って、雇用後の教育訓練が極めて重要となる。本調査では、試運転開始時点の半月前から3.5月間にわたり、プロセスオーナーを中心に構成される専門技術者チームを現地に派遣し、運転技術の教育訓練を行うものとする。専門技術者チームは4名（発酵、精製、実験室および用役・環境対策：各1名）からなる。専門家による教育訓練は、発酵工程、精製工程、試験室、用役・環境対策の4クラスに組分けして行われる。保全部門の要員は適宜何れかのクラスに編入され、教育訓練を受けることとなる。教育訓練は、(1) 建設工事末期、(2) 水試運転期間および(3) 実液試運転期間の3フェーズからなる。実液試運転終了後には専門技術者チームが確認運転を行い、引き続き運転技術・ノウハウの移転を行う。

なお、プラントの運転中に用役停止等の緊急事態が発生すると、クエン酸生産に直接被害が及ぶのみならず、機器・設備に破損が起こる恐れがある。適切な判断の下に対応し、二次的、三次的事故を誘発しないように緊急事態への対応策に付いての指導と訓練が行われる。

第 15 章 総所要資金

15-1 概論

本章では、第 13 章に記載した建設コストの積み上げ結果に操業前費用、初期運転資金および建設期間中の金利を加算し、本計画の実施に必要な総所要資金を算出する。総所要資金の算出に当たっては、以下の条件を設定した。

(1) 通貨の換算レート

所要資金の算出に当たり、将来の換算レートを予測することは非常に困難である。従って、本調査では、以下に示す 1991 年時点の換算レートを適用した。

$$\text{US\$1.0} = \text{Z\$3.15} = 132 \text{ 円}$$

(2) 価格の基準

全ての価格を 1991 年現在の価格で算出した。

(3) 税金

本調査では、輸入資機材に賦課される付加税（CIF 価格の 20 %）以外の税金は全て免除されるものとする。

(4) 資金源

本計画の実施に必要な資金の内、 $\frac{1}{3}$ は自己資金で、外貨分は外国からの長期借入金で、残りはジンバブエ国内の銀行からの長期借入金でまかなわれるものとする。なお、建設期間中の金利は各々の借入金の元本に繰り入れることとする。外国からの長期借入金については融資機関が未定のため、融資条件を決定できない。本調査では、財務評価の実施を目的に、年利 10.75 %（ケース 1）および 4.5 %（ケース 2）を想定する。国内の銀行からの借入金については、IDC との打ち合わせに基づき年利 20 %の金利が賦課されるものとした。なお、この金利はジンバブエドル建の金利であるので、米ドル建の金利に換算した。金利換算の方法については次章で述べられる。

15-2 総所要資金

総所要資金はプラント建設費、操業前費用、初期運転資金、そして建中金利から構成される。それら建設期間中の所要資金と資金調達案を表 15-1 (ケース 1) および表 15-2 (ケース 2) にまとめる。

Table 15-1 Total Capital Requirements(Case-1)

Project Year	(Unit: US\$ in Thousand)				Total
	-2		-1		
	I	II	I	II	
Application of Funds					
Foreign Currency Portion					
Plant Construction Cost	1,388.7	2,777.3	4,166.0	925.8	9,257.8
Pre-operation Cost	0.0	0.0	0.0	212.0	212.0
Initial Working Capital	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Interest during Const.	37.3	151.3	346.0	507.2	1,041.8
Sub-total	1,426.0	2,928.6	4,512.0	1,644.9	10,511.6
Local Currency Portion					
Plant Construction Cost	1,507.7	3,769.2	6,784.5	3,015.3	15,076.7
Pre-operation Cost	35.7	35.7	40.7	416.5	528.6
Initial Working Capital	0.0	0.0	0.0	103.4	103.4
Interest during Const.	6.5	31.7	87.3	148.4	273.9
Sub-total	1,549.9	3,936.6	6,912.5	3,683.6	15,982.6
Total Application	2,975.9	6,765.2	11,424.5	5,328.6	26,494.2
Source of Funds					
Equity	977.4	2,194.1	3,663.7	1,557.7	8,392.8
Foreign Loans	1,426.0	2,928.6	4,512.0	1,644.9	10,511.6
Local Loans	572.5	1,642.5	3,248.8	2,126.0	7,589.8
Total	2,975.9	6,765.2	11,424.5	5,328.6	26,494.2

Table 15-2 Total Capital Requirements(Case-2)

Project Year	(Unit: US\$ in Thousand)				Total
	-2		-1		
	I	II	I	II	
Application of Funds					
Foreign Currency Portion					
Plant Construction Cost	1,388.7	2,777.3	4,166.0	925.8	9,257.8
Pre-operation Cost	0.0	0.0	0.0	212.0	212.0
Initial Working Capital	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Interest during Const.	15.6	62.8	142.4	205.2	426.1
Sub-total	1,404.3	2,840.2	4,308.4	1,343.0	9,895.9
Local Currency Portion					
Plant Construction Cost	1,507.7	3,769.2	6,784.5	3,015.3	15,076.7
Pre-operation Cost	35.7	35.7	40.7	416.5	528.6
Initial Working Capital	0.0	0.0	0.0	103.4	103.4
Interest during Const.	6.5	31.7	87.3	148.4	273.9
Sub-total	1,549.9	3,836.6	6,912.5	3,683.6	15,982.6
Total Application	2,954.2	6,676.8	11,220.9	5,026.7	25,878.5
Source of Funds					
Equity	977.4	2,194.1	3,663.7	1,557.7	8,392.8
Foreign Loans	1,404.3	2,840.2	4,308.4	1,343.0	9,895.9
Local Loans	572.5	1,642.5	3,248.8	2,126.0	7,589.8
Total	2,954.2	6,676.8	11,220.9	5,026.7	25,878.5

第16章 財務分析

16-1 財務分析の基本方針

本章ではコーンスターチを原料とする液内発酵法によりクエン酸 3,000 トン／年を製造する計画の収益性の検討を行う。財務評価に当たっては、製造原価計算書、損益計算書、資金繰り表および貸借対照表を作成し、本プロジェクトの経常収支、資金繰り等を検討する。次いで、キャッシュフロー表を作成し、DCF (Discounted Cash Flow) 法により内部収益率 (Internal Rate of Return) を算出する。

16-2 主要前提条件

(1) プロジェクトの期間

- ・建設期間：2年
- ・運転期間：20年

(2) 価格の基準

財務分析で用いる建設費、製造コスト、製品価格等は1991年固定価格とし、インフレーションは見込まない。計算は米ドルベースで行い、現地通貨あるいは日本円にて見積もった金額は以下の交換レートにて米ドルに換算した。

- ・US\$1=Z\$3.15=132円

(3) 販売および生産計画

市場調査結果に基づき作成した販売計画を表16-1に示す。生産計画は販売計画に基づくものである。仕向地別の工場出荷価格を以下に示す。

- ・ジンバブエ国内 : 2.26US\$ / kg
- ・ザンビアおよびマラウイ : 1.54US\$ / kg
- ・南アフリカ共和国および南アフリカ関税同盟諸国 : 1.47US\$ / kg
- ・モザンビークおよびマダガスカル : 1.40US\$ / kg

プロジェクト全期間中の平均売上単価は約1.81US\$ / kgとなる。

(4) 法人税

本計画に対しては、1991年7月に制定され1992年4月から適用される税制に基づき、42.5%の法人税が賦課されるものとする。損金が発生した場合には損金の繰り越しが可能である。

Table 16-1 Sales Plan, tons/year

Year	Zimbabwe	Zambia	Malawi	RSA/SACU	Mozambique	Madagascar	Total
1	703	105	53	1,267	48	105	2,281
2	809	108	55	1,776	49	108	2,905
3	862	111	57	1,971	0	0	3,000
4	917	113	58	1,911	0	0	3,000
5	977	116	60	1,847	0	0	3,000
6	1,020	119	62	1,799	0	0	3,000
7	1,065	122	63	1,749	0	0	3,000
8	1,113	126	65	1,697	0	0	3,000
9	1,162	129	67	1,642	0	0	3,000
10	1,213	132	69	1,585	0	0	3,000
11	1,267	136	71	1,526	0	0	3,000
12	1,324	139	73	1,464	0	0	3,000
13	1,383	143	75	1,399	0	0	3,000
14	1,444	147	77	1,331	0	0	3,000
15	1,509	150	80	1,261	0	0	3,000
16	1,577	154	82	1,187	0	0	3,000
17	1,647	158	84	1,110	0	0	3,000
18	1,721	162	87	1,029	0	0	3,000
19	1,799	167	89	945	0	0	3,000
20	1,880	171	92	873	0	0	3,016

Note: RSA/SACU means Republic of South Africa & South African Customs Union.

(5) 減価償却

減価償却の方法を以下のとおりとする。

- ・プラントおよび建中金利 : 5%定額、残存価値 5%
- ・建物 : 5%定額、残存価値 10%
- ・操業前費用 : 100%定額、残存価値 0%

(6) 資金計画

現時点では本計画実施のための資金計画は確定していない。本調査では、第15章「総所要資金」にて述べたように、建中金利を除く費用の半を自己資金で、外貨分は外国からの借入金で、残りはジンバブエの銀行からの借入金で賄われるものとする。建設期間中の金利は各々の借入金の元本に繰り入れることとする。外国からの借入金については融資機関が未定であ

るため、以下に示す2ケースの融資条件を設定した。

	ケース1	ケース2
・金利	年率 10.75 %	年率 4.50 %
・返済	30回 / 15年	30回 / 15年
・返済猶予期間	操業開始より3年間	操業開始より5年間

内貨の借入金の融資条件は、IDCとの打ち合わせに基づき、金利：20%/年、返済：14回/7年（返済猶予期間なし）とする。ただし、上記の金利はジンバブエドル建の利率であるので、外貨交換レートの変動を加味した米ドル建の金利に変換する必要がある。本調査では、想定した内貨建の金利から外貨交換レートの変動分15.4%/年（1980～1990年の平均値）を減じた金利：4.6%を用いることとした。

操業開始後に資金不足が発生した場合には、年率18%の短期借入金が導入される。この金利もジンバブエドル建であるので、長期借入金と同様に15.4%を減じて米ドル建金利を2.6%とする。

16-3 運転費用

(1) 原材料および用役費

クエン酸を製造するのに必要な原材料費を表16-2にまとめる。

Table 16-2 Raw Material and Utility Costs

	Unit Consumption (tons/ton-CAM)	Unit Price (Z\$/ton)	Cost (Z\$/ton-CAM)
Cornstarch	1.359	562	763.758
Sulfuric Acid	1.000	610	610.000
Slaked Lime	0.750	308	231.000
Activated Carbon	0.010	880	8.800
Filter Aid	0.110	920	101.200
Ammonium Nitrate	0.029	430	12.470
Potassium Phosphate	0.017	700	11.900
Other Nutrients	--	--	2.380
Amylase	0.0014	22,000	30.800
Bag for Packing	20 bags	2	40.000
Electricity	4,000 kWh	5.97Z ¢ /kWh	238.800
Water	145	50 Z ¢ /ton	72.500
Coal	1.2	133.32	159.984

(2) 副製品控除

クエン酸の生産量の 1.86 倍量得られる石膏を 25Z\$ / トンで販売するものとし、石膏の販売代金を運転費用から控除するものとする。石膏以外の副産物の販売収入は考慮しない。

(3) 人件費

本プラントの操業に必要な要員は 115 人で、その費用を 2,400,000Z\$ / 年と推定した。なお、操業初年度は上記以外に外国人の運転指導員 1 名を雇用するものとし、その費用を US\$ 191,000 と見積もった。

(4) 管理費

外国人の運転指導員の経費を除く人件費の 25 % とする。

(5) 補修費

年間の補修費をプラント建設費（土地および整地代を除く）の 2 % とする。

(6) 保険代

年間の保険代をプラント建設費（土地および整地代を除く）の 0.35 % とする。

16-4 財務分析結果

(1) ケース 1

クエン酸の平均製造原価は 1.87US\$ / kg（初年度：2.93US\$ / kg、最終年度：1.60US\$ / kg）であり、平均販売単価 1.81US\$ / kg を大きく上廻っている。本ケースでは最終年度まで資金不足が続き、最終的に 26 万 US\$ の負債が残ることとなる。プロジェクト終了時のキャッシュポジションがマイナスであり、財務状況が良好とは言えない。IRROI は税引前で 2.9 %、税引後で 1.5 % であった。IRROE はキャッシュフローが全てマイナスとなり算出不能であった。

(2) ケース 2

クエン酸の平均製造原価は 1.75US\$ / kg（初年度：2.62US\$ / kg、最終年度：1.60US\$ / kg）であった。13 年目には短期借入金の導入が不要となり、プロジェクト終了時に約 830 万 US\$ の現金が手元に残ることになる。本ケースでは 12 年度まで短期借入金を導入することによりプラントの運転を継続することは可能であるが、十分な利益を上げることはできな

い。IRROEは、税引前で0.9%、税引後で-0.1%であった。IRROIは当然のことながらケース1と同率である。

16-5 感度分析

外国よりのソフトローンの導入を前提とするケース2を基本ケースとして、設定条件が基本ケースに対して変動した場合の影響を検討した。感度分析結果を表16-3にまとめる。

Table 16-3 Summary of Sensitivity Analysis

	Base Case	Product Price 20% up	Operation Cost 20% down	Plant Cost 30% down
IRROI(b/tax)	2.9%	7.9%	6.5%	7.2%
IRROI(a/tax)	1.5%	4.9%	3.9%	4.5%
IRROE(b/tax)	0.9%	10.8%	8.2%	9.5%
IRROE(a/tax)	-0.1%	7.0%	5.1%	6.2%
Production Cost	1.75US\$/kg	1.75US\$/kg	1.50US\$/t	1.54US\$/t
Total Profit after Tax	2.0MMUS\$	14.8MMUS\$	10.8MMUS\$	9.5MMUS\$
Cum. Cash Surplus at 20th year	8.3MMUS\$	21.1MMUS\$	17.2MMUS\$	14.0MMUS\$

16-6 財務分析結果のまとめ

世界のクエン酸業界は極めて厳しい競争下にあり、業界の再編成が行われている。現在利益を上げているプラントは何れも減価償却を終了した年産数万トン規模のプラントあるいは原材料費・人件費等が極めて安価な地域のプラントである。ジンバブエは原材料費・人件費などが安いとは言えないので、3,000トン規模のプラントを新設してクエン酸業界へ新規参入することは容易ではない。財務分析の結果は、本プロジェクトの実施が困難であることを示している。

第17章 経済分析

17-1 経済分析の基本方針

本経済分析では、以下の方法によりプロジェクトの妥当性を定量的に評価する。

- (1) 経済的便益と費用を評価しプロジェクトの経済的内部収益率を算出する。
- (2) プロジェクトの外貨バランスを検討する。

17-2 主要前提条件

17-2-1 経済的パラメーター

本調査では以下のパラメーターを導入し、財務分析に用いた売上およびコストを経済価格に変換した。

(1) 修正為替レート

本調査では、輸出入統計に基づき外貨プレミアムを1.33と算出した。しかし、以下の理由から基本ケースでは1.50を採用した。また、感度分析において、外貨プレミアムを1.33および2.00とした場合の経済的内部収益率を算出した。

- ・ジンバブエにおいては外貨プレミアムを1.5～2.0として修正為替レートを算出するのが一般的となっている。
- ・本調査にて使用したプレミアム計算式は統計資料の不備を補うための簡便法である。
- ・プラント建設に必要な機器、資機材、原材料に限定して同様の計算を行う（統計資料は完備していない）と、上記の計算値より大きな値が得られるはずである。
- ・クエン酸製造に必要な原材料の価格は国際価格に比較して割高であり、これらの値差を修正するためには計算値よりも大きな外貨プレミアムを適用する必要がある。
- ・個々のプロジェクトにおいて異なった修正為替レートを使用すると、他のプロジェクトとの優劣の比較が困難となる。

(2) 修正賃金

ジンバブエの労働力調査1986/87によれば、全労働可能人口の内、現金収入を得ている者は全体の37%にすぎない。残りの63%は共同農場の農業従事者か失業者である。本調査では、彼らの雇用機会費用をゼロと仮定し、未熟練労働者の修正賃金率を0.37とした。

17-2-2 経済的便益

本プロジェクトがもたらす直接的な便益はクエン酸である。クエン酸は貿易材であるので、国境価格にて経済価値が算出される。仕向地別のクエン酸の経済価格は以下のとおりである。

- ・ジンバブエ : 1.53US\$ / kg
- ・南アフリカ共和国 : 1.47US\$ / kg
- ・ザンビア/マラウイ : 1.54US\$ / kg
- ・モザンビーク/マダガスカル : 1.40US\$ / kg

17-2-3 経済的投資費用

プラント建設期間中に必要な費用は外貨部分と内貨部分に大別される。外貨部分は自由競争を想定して積算された金額であるので、財務分析に使用した金額がそのまま経済費用となる。内貨部分については移転項目の削除、未熟練労働者の費用の調整および為替レートの修正が必要となる。以上の手法に基づき算出された経済的建設費を表 17-1 にまとめる。

Table 17-1 Total Economic Plant Cost, US\$

Item	Foreign	Local	Total
Land Aquisition & Site Preparation Cost	0	427,926	427,926
License Fee	1,000,000	0	1,000,000
Engineering Fee	1,072,000	199,333	1,271,333
Machinery & Equipment	6,369,000	2,591,333	8,960,333
Spare Parts and Spare Pumps	191,000	102,667	293,667
Inland Transportation Cost	0	135,333	135,333
Installation & Piping Cost	0	1,640,789	1,640,789
Electrical & Instrument Cost	0	920,300	920,300
Civil & Building Cost	0	1,965,519	1,965,519
Insulation & Painting Cost	0	186,089	186,089
Supervision	429,000	66,000	495,000
Contingency	196,800	391,731	588,531
TOTAL	9,257,800	8,627,022	17,884,822

操業前費用をプラントコストと同様に調整し、初期運転資金および建中金利を移転項目として削除することにより、経済的総所要資金は 18,445,685US\$ となる。

17-2-4 経済的運転費用

(1) 変動費

コーンスターチおよび電力を除く国産の原料・用役については、修正為替レートを用いて市場価格を経済価格に変換した。輸入品の費用は財務分析にて用いた価格をそのまま用いた。

(2) 固定費

固定費は人件費、管理費、補修費および保険代からなる。人件費については、守衛を未熟練労働者と考え修正賃金率で調整した後に、修正為替レートを用いて米ドルに換算する。管理費は経済的人件費の25%とする。補修費は表17-1に示すプラント建設費（土地および整地代を除く）の2%とする。保険代は移転項目と考えられるので、経済分析では考慮しない。

金利、元本償還および法人税は移転項目と考えられるので、経済分析ではゼロとする。

17-3 経済的内部収益率

以上の前提条件に基づき算出された経済的内部収益率は5.5%で、財務的内部収益率を若干上回る。経済的便益が20%増加した場合、経済的内部収益率は11.0%に、20%減少した場合には-2.5%となる。一方、外貨プレミアムを1.33とした場合の経済的内部収益率は3.7%、2.0とした場合には9.4%となる。

17-4 外貨収支への影響

本計画の実施により期待される国家レベルでの外貨収支は以下のとおりである。

- ・通常の銀行ローンを想定したケース：約5,683万US\$のプラス
- ・ソフトローンを想定したケース：約6,392万US\$のプラス

17-5 経済評価のまとめ

本プロジェクトの便益は現在輸入されているクエン酸を国内で生産し外貨を節約すると共に、余剰分を近隣諸国に輸出し積極的に外貨を獲得することである。プロジェクトの実施により期待される外貨の獲得・節約額の累計は通常の銀行ローンが適用される場合でプラント建設費の約2.3倍に相当する5,683万US\$、ソフトローンが適用される場合では2.6倍に相当する6,392万US\$となる。この金額は20年で達成されるものであり、ジンバブエ国全体の外貨収支の改善への寄与は少ない。

第18章 結論と提言

発酵試験の結果、ジンバブエ産のコーンスターチを原料としたクエン酸の生産が技術的には可能であることが明かとなった。また、技術導入、原料・用役供給、環境対策、プラント建設等の面でクエン酸工業設立の妨げとなるものはないことが判明した。一方、本プラントの操業開始が予想される1996年におけるクエン酸の需要は、ジンバブエ：900トン、南アフリカ共和国：4,700トン、ザンビア：110トン程度であり、南部アフリカ地域の総需要は6,200トン/年にすぎない。南アのクエン酸需要家の多くは欧州のクエン酸メーカーと取引の上で密接な関係にあり、南ア市場全てを本プラントの対象市場とすることはできない。また、ジンバブエの地理的な条件を勘案すると、欧州へ輸出することも得策とは言えない。従って、本プロジェクトにおけるプラントの規模は、最低経済規模と言われる10,000トン/年を大きく下回る3,000トン/年程度とならざるを得ない。

世界のクエン酸業界は発展途上国の新規参入、大手メーカーによる資本集約型の大規模設備の導入等により極めて厳しい競争下にあり、業界の再編成が行われている。世界のクエン酸メジャーは化学・薬品系企業から原料サイドの穀物加工企業に移行している。クエン酸を安価に供給してきた中国においても、輸出補助金の削除により中小規模のクエン酸メーカーは生産の停止を余儀なくされている。このような状況下において、利益を上げているクエン酸プラントは何れも減価償却を終了した年産数万トン規模のプラントあるいは原材料費・人件費などが極めて安い地域のプラントである。

財務分析の結果は必ずしも良好な収益性を示していない。これは上述の世界のクエン酸業界の厳しい状況や、限られた市場規模に加え、ジンバブエの産業が抱える以下のような固有の課題に起因している部分が多い。

- (1) ジンバブエは過去、経済の自立化を目指したために産業の多様化が進んでいる。しかし、同国の製造業の多くは独占または寡占的構造下にあり、クエン酸の原材料の価格が国際的に見て割高である。例えば、ジンバブエにおける硫酸の価格は米国の2.59倍の194US\$ /トン、消石灰（ザンビアよりの輸入品）は米国の2.04倍の98US\$ /トン、石炭は南アの4.45倍の42.32US\$ /トンとなっている。
- (2) 内陸に位置するために輸送費が割高になっている。
- (3) ジンバブエは他の発展途上国に比較して、必ずしも人件費が安いとは言えない。

従って、年産3,000トン規模のプラントを新設してクエン酸業界へ新規参入することは容易ではない。

本プロジェクトを輸入代替と考えると、自国内市場での販売に関しては割高の輸送費、輸入業者の高率のマージン等が本プロジェクトにとっては有利に働く。しかし、この部分は全体販売量の約1/3であり、残り2/3はヨーロッパ等からの輸出品と競合可能な価格にて輸出されなければならない。本計画を財務的に可能なプロジェクトにするためには以下の様な対策が必要となる。

- ・プラント建設のために輸入される資機材に対する付加税を免除する。
- ・政府が出資あるいは融資することにより金利コストの低減を図る。
- ・外国からできるだけ有利な条件の融資を受ける。
- ・プラント建設に必要な資機材を安価に入手する調達方法を工夫する。
- ・貿易自由化・価格統制の撤廃等により企業の合理化を進め、原材料価格を国際価格に近づける。
- ・必要があれば近隣諸国に輸出されるクエン酸に対し補助金を出す。
- ・南部アフリカ域内でのクエン酸産業を確立するために、南部アフリカ諸国の需要家の資本参加を検討する。

しかし、上記の対策を実現することは極めて難しい。本プロジェクトを推進することは困難であると判断する。

JICA

