

第 10 章 クエン酸発酵試験

第10章 クエン酸発酵試験

10-1 発酵試験の目的と方法

第4章「クエン酸の概要および製造技術」にても述べた様に、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は、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、日本で工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、工業化の可能性を調査する目的で、上記の原料・プロセスにて実際にクエン酸を製造している企業2社に発酵実験を委託した。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、濃縮ケーンジュース、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実験を委託した。

10-2 コーンスターチを原料とする発酵試験

10-2-1 基本方針

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)とジンバブエで製造されているコーンスターチ(商品名: STARCONおよびSTARTEX-45の2種類)との適合性の検討を行った。実験の手順は以下のとおりである。

- (1) 原料の分析を行い、ジンバブエ産原料の特性を把握する。
- (2) 工業生産に使用されている菌株・発酵条件にて、フラスコによる発酵試験を行い、原料とプロセスの適否の予備検討を行う。
- (3) 上記(1)、(2)の結果に基づき、発酵条件の検討を行う。
- (4) ジンバブエの原料に適すると判断された発酵条件(菌株は同一)にて、フラスコに

よる発酵試験を行い、原料とプロセスの適否を判断する。

- (5) 上記の試験の結果、ジンバブエ産原料が既存のプロセスに適用可能と判断された場合には、30ℓのジャーを用いた発酵試験を行う。

10-2-2 試料の分析

(1) 分析項目と分析方法

以下に分析項目と分析方法を示す。

(a) 外観

乾燥澱粉の外観（形状、色彩、異物等）を観察する。

(b) 水懸濁

試料 25 g と、あらかじめ煮沸して 25℃に冷却した蒸留水 75ml を 100ml ピーカーに入れ、よく攪拌・混合する。攪拌中に、澱粉の懸濁状態や液性等を観察する。

(c) 電気伝導度

上記 (b) のピーカーを電気伝導度計にかけて、試料中の電解質の量を測定する。

(d) pH

電気伝導度を測定したピーカーを pH メーターにかけて、水素イオン濃度を測定する。

(e) 上澄液

pH 測定の終了した試料をしばらく静置し、上澄部分の濁り状態を観察し、標準試料と比較する。

(f) 水分

試料 5 g を秤量し、赤外線水分計で 30 分間、105℃の条件下で加熱し、水分の減量を測定する。

(g) 糖分

澱粉を加水分解によりブドウ糖に変え、ソモギー変法により、その量を測定する。測定法の概要を以下に示す。

0.5 g 程度の試料を正確に秤量し 100ml の三角フラスコに移し、蒸留水 50ml と 25% 塩酸 5ml を加える。三角フラスコに冷却管を付け、沸騰水浴中で 2.5 時間加熱し、試料を加水分解する。冷却後、フェノールフタレインを指示薬として 6 N の水酸化ナトリウムで中和してから 250ml のメスフラスコに移し、蒸留水で正確に 250ml に希釈する。次に、この希釈液 10ml をピペットで分取し、100ml の三角フラスコに入れる。これに下記の A 液 20ml を加えホットプレート上で正確に 3 分間煮沸（軽く沸騰する程度）後、直ちに水冷却する。冷却後、下記の B 液および C 液をそれぞれ 10ml ずつ速やかに加えて攪拌後、澱粉を指示薬として、0.07 N のチオ硫酸ナトリウム溶液にて滴定する。同様の手順で空試験を行う。

A液：リン酸3ナトリウム 225 g、ロッシェル塩（酒石酸カリウム・ナトリウム）90 g、硫酸銅 30 g およびヨウ素酸カリウム 3.5 g を蒸留水に溶解し、蒸留水で 1 ℓ に希釈したもの

B液：シュウ酸カリウム 90 g およびヨウ化カリウム 40 g を蒸留水に溶解し、蒸留水で 1 ℓ に希釈したもの

C液：2 N の硫酸

試料中のブドウ糖の量は次式より算出される。

$$\text{試料 100 g 中のブドウ糖の量} = S \times (V_2 - V_1) \times 250 \div 10 \div W \times 100$$

S : 0.07 N のチオ硫酸ナトリウム 1 ml に相当するブドウ糖の量 (g) = 2.03

V₁ : 試料を加えた場合の、0.07 N チオ硫酸ナトリウムの滴定量 (ml)

V₂ : 空試験時の 0.07 N チオ硫酸ナトリウムの滴定量 (ml)

W : 採取した試料の量 (g)

(h) 澱粉価

澱粉価は上記 (g) にて測定されたブドウ糖の量 (%) に 0.9 を乗ずることにより算出される。

(i) 粗蛋白

ケルダール法により窒素量 (%) を求め、これに 6.25 を乗ずることにより、粗蛋白量を算出する。ケルダール法の概要を以下に示す。

4 g 程度の試料を正確に秤量し、ケルダール分解フラスコに入れ、分解促進剤（硫酸カリウムと硫酸銅を 9 : 1 の比率で混合したもの）約 10 g を加える。次いで、濃硫酸 25 ml と 35 % 過酸化水素水 5 ml を加え、注意深く加熱分解する。分解液をケルダール蒸留装置に移し、蒸留分析をして全窒素を求める。

(j) 粗脂肪

ソックスレー・エーテル抽出法により粗脂肪の量を測定する。ソックスレー・エーテル抽出法の概要を以下に示す。

10 g 程度の試料を正確に秤量し、円筒ろ紙（直径 2.2cm、高さ 9 cm）に移す。その上に、少量の脱脂綿を数回に分けて押さえるようにして入れる。試料を入れた円筒ろ紙を 95 ~ 100 °C にて 2 時間乾燥してから、脂肪秤量ビン（あらかじめ 95 ~ 100 °C にて乾燥しデシケーター中で放冷後、正確に秤量したもの）を連結したソックスレー脂肪抽出装置に入れ、試料中の脂肪分をエーテルで 16 時間抽出する。抽出後、円筒ろ紙を取り除き、脂肪秤量ビンを 95 ~ 100 °C の乾燥器に移しエーテルを揮散させる。デシケーター中で放冷後、抽出された脂肪の量を秤量する。試料中の粗脂肪の量は次式により算出される。

$$\text{粗脂肪量 (\%)} = (W_1 - W_2) \div W \times 100$$

W₁ : (脂肪秤量ビン+抽出物)の重量 (g)

W₂ : 脂肪秤量ビンの重量 (g)

W : 分析に使用した試料の重量 (g)

(k) 粗灰分

試料を 550 ~ 600 °C の電気炉中で灰化し、残量を測定する。

(l) 全金属

試料 10 g を王水 (塩酸 1、硝酸 3 の混合物) で分解・溶解した後、硝酸と硫酸で加熱分解して試料を完全に分解する。次に、希硝酸を加えて煮沸、冷却後、金属含有量を測定する。

(2) 分析結果

ジンバブエ産のコーンスターチ 2 種と日本の標準品を、上記の方法により分析した結果を表 10 - 1 にまとめる。

Table 10-1 Analysis Results of Cornstarch

	Japanese	STARCON	STARTEX-45
Color & Form	Light-yellow Powder	White Powder	White Powder
Water Suspension	Normal	Normal	Normal
Supernatant Liquid	Normal	Normal	Normal
Water Content, %	12.9	4.8	14.8
Sugar Content, %	95.0	99.7	86.4
Starch Value, %	85.5	89.7	77.8
Protein, %	0.28	0.58	0.52
Lipid, %	0.050	0.063	0.088
Electric			
Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$	100	218	2,028
Ash, %	0.03	0.16	0.83
pH	4.70	5.80	5.39
Copper, ppm	3.6	1.0	< 1.0
Manganese, ppm	< 1.0	< 1.0	2.0
Iron, ppm	3.0	9.5	39.0
Zinc, ppm	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Magnesium, ppm	24	47	23

分析の結果、ジンバブエ産のコーンスターチは粗蛋白の含有量が多く (発酵実験を依頼し

た会社の粗蛋白の規格は 0.4 %以下)、クエン酸原料としてやや不適と判断される。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。

10-2-3 フラスコ試験(第1回)

三角フラスコによる発酵試験は、発酵条件の選定の基礎的な研究手段として広く用いられている。今回も、ジャー試験の予備試験としてフラスコによる発酵試験を行った。フラスコ試験の概要を以下に示す。なお、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。

(1) シード培養

試料 50 g に 0.05 g の α -アミラーゼ (10,000 ユニット/g) を加え、澱粉を液化する。液化液に窒素、リン酸、カリウムおよびマグネシウム等の無機栄養源と有機栄養源を加え、これに水を加えて 1 ℓ とする。次に、500ml の三角フラスコに、シード培地(栄養源を加えた澱粉液化液) 200ml を加えて培養用栓を施した後、オートクレーブで殺菌 (121 °C、20 分間) する。冷却後、白金耳(耳搔きサイズの藜さじ) 一杯分の変異菌株 *Aspergillus niger* C-32 の胞子を無菌的に移植し、ロータリーシェーカーで攪拌 (220rpm) しながら、45 時間 35 °C にて培養を行う。

(2) 主培養

規定量(後述)の試料に 0.15 g の α -アミラーゼを加え、澱粉を液化する。液化液に栄養源を加え、メスシリンダーを用いて水で 900ml とする。しかる後、10 本の 500ml の三角フラスコに、栄養源を加えた澱粉液化液を 90ml づつ分注し、培養栓をしてからオートクレーブで殺菌 (121 °C、20 分) する。冷却後、殺菌した培地に上記のシード 10ml を無菌的に移植し、ロータリーシェーカーで攪拌 (250rpm) しながら 35 °C にて培養を行う。6 ~ 8 日間、24 時間毎にフラスコを抜き取って分析の対象とする。

本試験では、クエン酸の収率を簡単に計算できるように、全仕込糖量(主培養にて仕込まれる糖とシードとして移植される糖の合計量)を 150 g/ℓ とした。STARCON を例に取り、主培養に用いる澱粉量の、計算方法を以下に説明する。

- (a) 主培養に必要な試料の量を A グラムとすると、この澱粉が α -アミラーゼにより分解されて生成するブドウ糖の量は $A \times 0.997$ g となる。この糖化液は、上記の様に、900ml に希釈され 90ml (10 %) が三角フラスコに分取されるので、三角フラスコ中のブドウ糖の量は $A \times 0.997 \times 10 \% = A \times 0.0997$ g となる。

(b) 一方、シード培養においては 50 g の澱粉が液化後 1 ℓ に希釈され、その内の 10ml が主培養用の三角フラスコに添加される。従って、三角フラスコに添加されるブドウ糖の量は $50 \times 0.997 \div 100 = 0.05$ g となる。

(c) 上記 (a)、(b) より、三角フラスコに添加されるブドウ糖の量は $(A \times 0.0997 + 0.05)$ g となる。また、三角フラスコ中の液量は $90 + 10 = 100$ ml となる。

(d) 上記 (c) より、三角フラスコ中のブドウ糖濃度は以下のとおりとなる。

$$(A \times 0.0997 + 0.05) \text{ g} / 100 \text{ ml} = (A \times 0.997 + 5) \text{ g} / \ell$$

(e) 上記 (d) の濃度が 150 g / ℓ であるので、次式を数学的に解くことにより、必要な澱粉量は 145.4 g となる。

$$A \times 0.997 + 5 = 150$$

(3) 発酵試験結果

24 時間毎に抜き取った三角フラスコ全てについて、分析を行った。分析項目と分析方法を以下に示す。

- (a) pH : ガラス電極にて測定する。
- (b) クエン酸 : 培養ろ過液 1 ml を正確に分取し、0.15 N の水酸化ナトリウムで滴定する。
- (c) 残糖 : 培養ろ過液をソモギー変法にて分析する。
- (d) 菌体量 : フラスコ内容物全てをろ過し、ろ紙上の固形物を純水にて洗浄後 105 °C にて乾燥し、固形物の重量を測定し菌体量とする。

発酵試験の結果を表 10-2 にまとめる。クエン酸の収率は以下のとおりである。

・ STARCON

$$\text{対全糖収率} : 115.5 \text{ g} / \ell \div 150 \text{ g} / \ell = 77.00 \%$$

$$\text{対消費糖収率} : 115.5 \text{ g} / \ell \div (150 - 12.8) \text{ g} / \ell = 84.18 \%$$

・ STARTEX-45

$$\text{対全糖収率} : 99.2 \text{ g} / \ell \div 150 \text{ g} / \ell = 66.13 \%$$

$$\text{対消費糖収率} : 99.2 \text{ g} / \ell \div (150 - 12.2) \text{ g} / \ell = 71.99 \%$$

Table 10-2 Results of Flask Test(1)

Fermentation Period,Hours	pH	Citric Acid(CAM) (g/ℓ)	Residual Sugar (g/ℓ)	Fungi (g/ℓ)
<< Sample Name : STARCON >>				
0	3.35	---	---	---
24	2.70	5.2	131.2	11.4
48	2.27	21.5	89.5	14.4
72	2.00	49.0	65.0	16.3
96	1.85	70.6	47.5	16.4
120	1.74	93.2	30.3	16.3
144	1.72	108.5	17.9	16.1
168	1.69	115.5	12.8	16.1

<< Sample Name : STARTEX-45 >>				
0	3.36	--	--	--
24	2.65	4.0	134.9	11.2
48	2.28	17.1	112.2	14.5
72	2.02	35.9	85.0	16.9
96	1.80	56.2	62.5	19.0
120	1.70	75.0	45.6	19.8
144	1.70	88.6	23.1	19.7
168	1.68	99.2	12.2	19.3

10-2-4 発酵成績の検討

ジンバブエ産のコーンスターチを原料とした場合のクエン酸収率は、日本産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る。

10-2-5 フラスコ試験（第2回）

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おこなった。その結果を表10-3に示す。

Table 10-3 Results of Flask Test(2)

Fermentation Period,Hours	pH	Citric Acid(CAM) (g/ℓ)	Residual Sugar (g/ℓ)	Fungi (g/ℓ)
<< Sample Name : STARCON >>				
0	3.36	--	---	---
24	2.75	5.5	127.0	12.0
48	2.27	22.5	82.5	15.2
72	1.99	48.6	60.3	15.8
96	1.85	75.8	42.2	15.5
120	1.80	97.2	27.0	15.4
144	1.75	110.0	18.2	15.5
168	1.70	117.6	13.6	15.5
<< Sample Name : STARTEX-45 >>				
0	3.35	--	---	---
24	2.67	4.5	130.0	11.3
48	2.26	17.5	100.5	13.2
72	1.98	36.5	76.6	14.2
96	1.90	61.0	54.0	14.7
120	1.72	81.7	35.1	15.5
144	1.65	101.2	21.2	15.6
168	1.65	113.5	15.7	15.9

クエン酸の収率は以下のとおりであり、第1回の試験結果に比較して相当の改善が認められた。

・ STARCON

対全糖収率 : $117.6 \text{ g} / \ell \div 150 \text{ g} / \ell = 78.40 \%$

対消費糖収率 : $117.6 \text{ g} / \ell \div (150 - 13.6) \text{ g} / \ell = 86.22 \%$

・ STARTEX-45

対全糖収率 : $113.5 \text{ g} / \ell \div 150 \text{ g} / \ell = 75.67 \%$

対消費糖収率 : $113.5 \text{ g} / \ell \div (150 - 15.7) \text{ g} / \ell = 84.51 \%$

10-2-6 ジャー試験

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産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（図10-1参照）を使用して確認実験

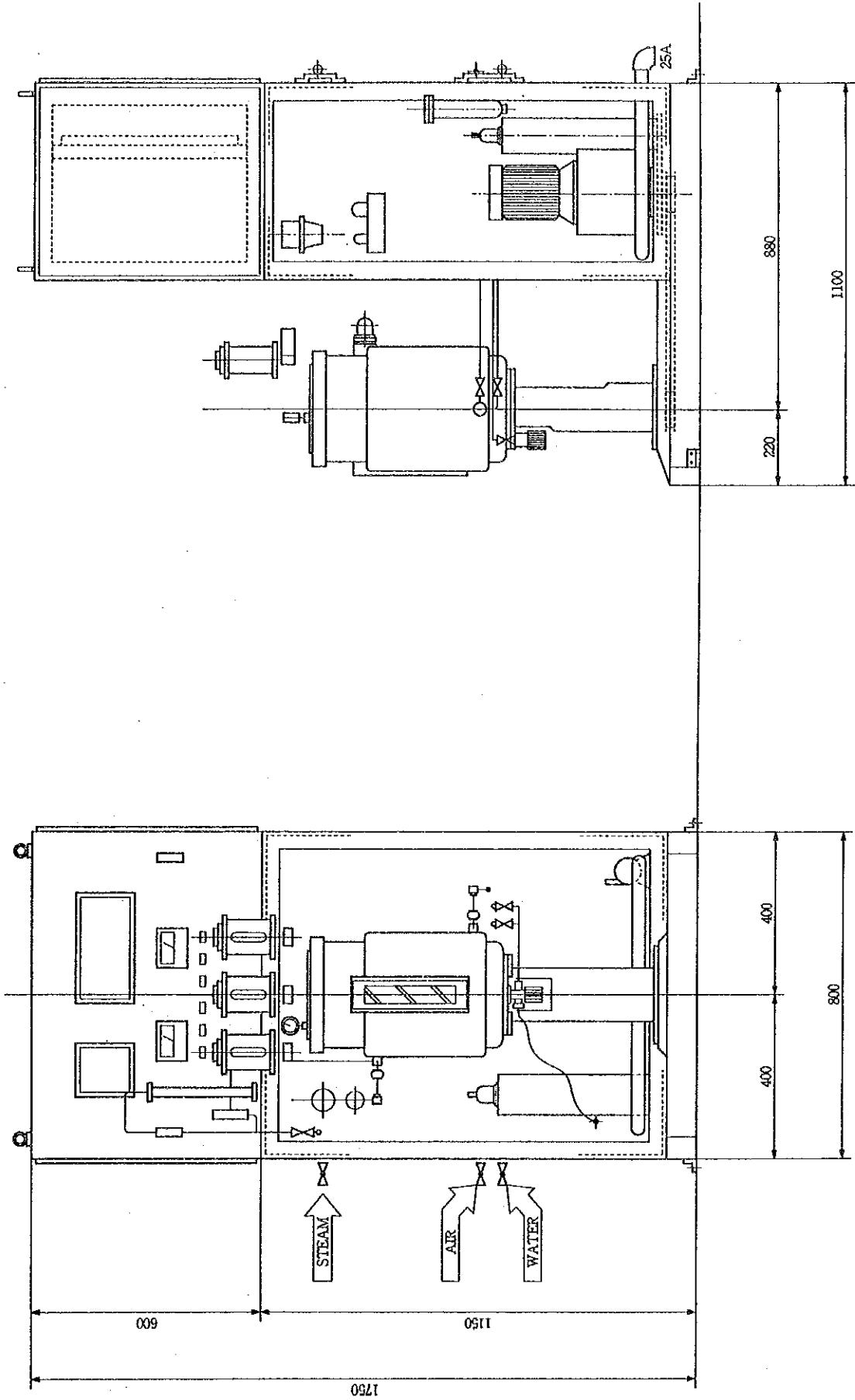


Figure 10 - 1 General View of a Jar Fermenter

を行った。培養試験に使用するジャーは、直径 28cm × 高さ 48cm の槽（内容量 30ℓ）で、6 枚の羽を持つ直径 14cm のタービンの型の下部インペラー、4 枚の羽を持つ同型の上部インペラー、消泡インペラーを備えた攪拌用シャフト邪魔板 2 枚、通気用スパージャー等を備え、温度、pH、攪拌速度、通気量等を自動あるいは手動で調整できる構造となっている。培地は、仕込水と共にジャー内に投入され、インペラーで攪拌されながらジャケットおよびスパージャーからスチームが吹き込まれ殺菌される。ジャー試験の概要を以下に示す。

(1) シード培養

ジャー試験の前培養であるシード培養は 2 段で行った。なお、シード培養に使用した澱粉は、条件を統一するために、日本産を用いた。

(a) 1 段目

α-アミラーゼで液化した試料 50 g に栄養源を加え、これに水を加えて 1 ℓ とする。次に、500ml の三角フラスコに、上記のシード培地 200ml を加えて培養用栓を施した後、オートクレーブにて 121 °C にて 20 分間殺菌する。冷却後、殺菌済みの培地に白金耳（耳掻きサイズの葉さじ）一杯分の変異菌株 *Aspergillus niger* C-32 の胞子を無菌的に移植し、ロータリーシェーカーで攪拌 (220rpm) しながら、35 °C にて 45 時間培養を行う。

(b) 2 段目

1 段目と同一の濃度 (50 g / ℓ) の澱粉液化液 180ml づつを 500ml の三角フラスコ 10 本に分注し、殺菌する。冷却後、45 時間培養をした 1 段目のシード 20ml を無菌的に移植する。ついで、ロータリーシェーカーで攪拌 (220rpm) しながら 35 °C にて 24 時間培養する。

(2) 主培養

必要量（後述）の澱粉を液化し栄養源を加えジャーに入れ、蒸気を吹き込んで殺菌を行う。冷却後、500ml の三角フラスコ 10 本で培養した上記のシードを全量（2 ℓ、澱粉量 100 g）加える。シード移植後、殺菌済みの水を加えて液量を 20 ℓ にし、通気量：0.5 v v m（10 ℓ / 分）、35 °C にて培養を行う。

なお、原料澱粉の量はブドウ糖換算で 150 g / ℓ とした。必要となる澱粉量は次式にて算出される（STARCON を例とする）。

$$\text{澱粉量} = 150 \text{ g} / \ell \times 20 \ell \div 0.997 = 3,009 \text{ g}$$

(3) 発酵試験結果

24 時間毎にジャーより 150ml の発酵液を抜き出し、最初の 50ml を除いて次の 100ml を測定用のサンプルとする。分析項目と分析方法はフラスコ試験と同様である。発酵試験の結果を

表 10 - 4 にまとめる。

Table 10-4 Results of the Jar Tests

Fermentation Period,Hours	pH	Citric Acid(CAM) (g/l)	Residual Sugar (g/l)	Fungi (g/l)
<< Sample Name : STARCON >>				
0	3.32	--	--	--
24	1.95	18.0	--	7.4
48	1.88	52.6	89.0	8.7
72	1.80	83.5	68.9	9.8
96	1.69	108.4	49.7	10.5
120	1.66	124.9	34.2	11.3
144	1.66	135.0	25.5	11.4
168	1.66	137.9	14.5	11.5

<< Sample Name : STARTEX-45 >>				
0	3.27	--	--	--
24	2.01	24.3	--	11.0
48	1.85	69.1	80.4	11.3
72	1.78	91.0	68.0	11.9
96	1.69	116.0	39.3	12.2
120	1.68	131.2	24.0	13.3
144	1.68	136.2	18.8	13.4
168	1.67	136.8	18.2	13.0

<< Sample Name : Japanese Cornstarch >>				
0	3.22	--	--	--
24	1.99	23.1	--	6.9
48	1.86	55.7	77.9	8.5
72	1.79	84.4	58.4	9.2
96	1.70	109.1	38.3	9.8
120	1.65	125.0	22.6	10.1
144	1.66	135.2	13.9	11.0
168	1.68	139.0	11.3	10.8

クエン酸の収率は以下のとおりである。

(a) STARCON

液量 : 培養停止時液量 (実測値) + 採取サンプル量 (150ml × 8) = 18.4 ℓ

仕込糖量 : 仕込糖量 + シードよりの糖量
= 150 g / ℓ × 20 ℓ + 100 g × 0.95 % = 3,095 g

対全糖収率 : 137.9 g / ℓ × 18.4 ℓ ÷ 3,095 g = 81.98 %

対消費糖収率 : (137.9 g / ℓ × 18.4 ℓ) ÷ (3,095 g - 14.5 g / ℓ × 18.4 ℓ) = 89.71 %

(b) STARTEX-45

液量 : 培養停止時液量 (実測値) + 採取サンプル量 (150ml × 8) = 18.2 ℓ

仕込糖量 : 仕込糖量 + シードよりの糖量
= 150 g / ℓ × 20 ℓ + 100 g × 0.95 % = 3,095 g

対全糖収率 : 136.8 g / ℓ × 18.2 ℓ ÷ 3,095 g = 80.45 %

対消費糖収率 : (136.8 g / ℓ × 18.2 ℓ) ÷ (3,095 g - 18.2 g / ℓ × 18.2 ℓ) = 90.09 %

(c) 日本産コーンスターチ

液量 : 培養停止時液量 (実測値) + 採取サンプル量 (150ml × 8) = 18.7 ℓ

仕込糖量 : 仕込糖量 + シードよりの糖量
= 150 g / ℓ × 20 ℓ + 100 g × 0.95 % = 3,095 g

対全糖収率 : 139.0 g / ℓ × 18.7 ℓ ÷ 3,095 g = 83.98 %

対消費糖収率 : (139.0 g / ℓ × 18.7 ℓ) ÷ (3,095 g - 11.3 g / ℓ × 18.7 ℓ) = 90.14 %

10-2-7 結果および考察

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が確認された。ジンバブエ産のコーンスターチは、日本品に比較して、粗蛋白、粗灰分、鉄等の金属が多いが、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

10-3-1 基本方針

日本に於ける固体発酵によるクエン酸工業生産の主原料はさつま芋澱粉粕（生芋を原料とする澱粉製造に於いて生成する残渣）である。調査団は、日本と同様の方法で製造された澱粉粕を入手（現地にて調製された澱粉粕を輸入、あるいは現地産の生イモを輸入し日本で澱粉粕を調製する）すべく努力した。しかし、ジンバブエでは芋澱粉の生産は行われておらず、澱粉粕の調製を依頼できる研究機関もないため、現地で澱粉粕を入手することは不可能であった。また、検疫上の問題から、生芋を日本に輸入することも極めて困難と判断された。従って、次善の策として、現地で調製したさつま芋およびキャッサバの切干を日本に輸入し、日本にて芋粕を調製することとした。試験方法は、入手した試料の量（さつま芋切干：20kg、キャッサバ切干：3 kg）を考慮し、以下とおりにした。

- (1) さつま芋／キャッサバ切干の分析を行う。
- (2) さつま芋／キャッサバ切干を原料に、発酵試験用の芋粕を調製する。
- (3) 調製したさつま芋およびキャッサバの澱粉粕の分析を行う。
- (4) さつま芋粕を原料とする発酵試験を行う。
- (5) キャッサバ粕を原料とする発酵試験を行う。
- (6) さつま芋粉碎品を原料とする発酵試験を行う。
- (7) キャッサバ粉碎品を原料とする発酵試験を行う。

10-3-2 試料の分析

(1) 分析項目と分析方法

ジンバブエより輸入したさつま芋／キャッサバ切干の分析を行った。分析項目と分析方法を以下に示す。

(a) 水分

正確に秤量した試料を 100～110℃の定温乾燥器中で3時間乾燥する。冷却後、正確に秤量する。乾燥前後の重量の差を水分とする。

(b) 糖分（ブドウ糖）

試料を塩酸にて加水分解し、ソモギー変法（10-2節参照）にて測定する。

(c) 澱粉価

澱粉価は上記 (b) にて測定されたブドウ糖の量に 0.9 を乗ずることにより算出される。

(d) 粗繊維

2 g程度の試料を正確に秤量し、0.255 Nの硫酸で30分間煮沸する。温水で洗浄後、0.313 Nの水酸化ナトリウム水溶液にて30分間煮沸する。アルカリ分解後の試料をグーチルツボに移す。洗浄後、110℃にて乾燥し、冷却後正確に秤量する。さらに、これを450～550℃の電気炉中で灰化し、冷却後正確に秤量する。灰化前後の重量の差をもって粗繊維量とする。

(e) 粗蛋白

ケルダール法（10-2節参照）により窒素量を求め、これに6.25を乗ずることにより、粗蛋白量を算出する。

(f) 粗脂肪

ソックスレー・エーテル抽出法（10-2節参照）にて粗脂肪の量を測定する。

(g) 粗灰分

試料を550～600℃の電気炉中で灰化し、残量を測定する。

(2) 分析結果

分析結果を表10-5に示す。なお、参考までに、日本におけるさつまいも切干の標準分析値を併記する。

Table 10-5 Analysis Results of Dried Sweet Potato and Dried Cassava

(Unit: %)

	Sweet Potato (Zimbabwean)	Sweet Potato (Japanese)	Cassava (Zimbabwean)
Water Content	9.80	14.70	11.09
Glucose	75.21(83.38)	81.10(95.08)	76.12(85.61)
Starch Value	67.69(75.04)	72.99(85.57)	68.51(77.06)
Fiber	2.33(2.58)	1.98(2.32)	2.79(3.14)
Protein	4.97(5.51)	3.96(4.64)	1.66(1.87)
Lipid	0.88(0.98)	0.74(0.87)	0.83(0.93)
Ash	3.36(3.73)	2.23(2.73)	4.00(4.59)

Note: Figures in parentheses are dry basis.

10-3-3 澱粉粕の調製

ジンバブエ産のさつま芋およびキャッサバを原料として、澱粉粕を調製した。澱粉粕の調製は、(1) 原料芋の粗粉碎、(2) 水浸漬（攪拌、静置、上澄液排水を6回繰り返す）、(3) 水を加えてミキサーによる粉碎、(4) ふるい分け、(5) 澱粉分離の工程からなる。切干から澱粉粕を調製した際の収率は、乾物換算で以下のとおりであった。

- ・さつま芋：21.0%
- ・キャッサバ：19.1%

10-3-4 澱粉粕の分析

発酵試験用に調製した澱粉粕を分析した結果および日本の標準分析値を表10-6に示す。分析項目および分析方法は、切干の場合と同一である。なお、日本の標準分析値は乾燥品（水分約18%）のものであるので、今回調製した澱粉粕の分析も乾燥品について行った。

Table 10-6 Analysis Results of Starch Extraction Residues from Sweet Potato & Cassava

(Unit: %)

	Sweet Potato (Zimbabwean)	Sweet Potato (Japanese)	Cassava (Zimbabwean)
Water Content	15.00	18.10	13.59
Glucose	64.45(75.82)	53.14(64.88)	61.18(70.80)
Starch Value	58.00(68.24)	47.83(58.40)	55.06(63.72)
Fiber	8.47(9.96)	12.40(15.14)	11.40(13.19)
Protein	2.75(3.24)	1.40(1.71)	0.79(0.91)
Lipid	0.54(0.64)	0.80(0.98)	0.47(0.54)
Ash	1.73(2.04)	1.80(2.20)	2.45(2.84)

Note: Figures in parentheses are dry basis.

10-3-5 さつま芋澱粉粕を原料とする発酵試験

調製したさつま芋澱粉粕を原料とし、(1) シャーレ、(2) ピーカー、(3) 工業生産に使用されているトレイの順でスケールアップをしながら、発酵試験を行った。

(1) シャーレによる発酵試験

(a) 試験方法

澱粉粕 15 g (水分: 70.80%、無水物全糖: 75.82%) に栄養源 (脱脂米糠を澱粉粕の 2~6%あるいは小麦フスマ 3~5%) を加えた培地を、直径 8.7cm、深さ 1.8cm のシャーレに均等に充填する。次いで、このシャーレを加圧オートクレーブ (1.2kg/cm²) に入れ、30 分間殺菌する。冷却後、殺菌済みの培地に、別途培養した菌体を移植し、30℃にて培養する。48 時間および 168 時間経過後、シャーレを抜き取りクエン酸生成量を分析する。分析は以下の方法による。

シャーレ内容物全量を 300ml の三角フラスコに移し、水 250ml を加えて加熱する。沸騰し始めたら加熱を止めて、直ちに流水中で冷却する。上澄液 25ml を分取し、0.1 N の水酸化ナトリウムで滴定し全酸量を求め、これをクエン酸量とする。なお、澱粉粕 15 g 中に含まれるブドウ糖の量は、 $15 \text{ g} \times (100 - 70.80) \% \times 75.82 \% = 3.32 \text{ g}$ である。

(b) 試験結果

発酵試験の結果を表 10-7 にまとめる。対糖収率は、生成したクエン酸の量を澱粉粕中の糖量で除することにより算出される。

Table 10-7 Results of Fermentation Tests using Sweet Potato Residues in Petri Dishes

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Nutrient	RB 2%	RB 3%	RB 4%	RB 5%	RB 6%	WB 3%	WB 4%	WB 5%
<< Fermentation Period; 48 Hours >>								
CAM(g)	0.92	1.09	1.22	1.37	1.29	1.08	1.29	1.32
Yield(%)	27.7	32.8	36.7	41.3	38.9	32.5	38.9	39.7
<< Fermentation Period; 168 Hours >>								
CAM(g)	2.68	2.53	2.44	2.23	2.03	2.48	2.39	2.19
Yield(%)	80.7	76.2	73.5	67.2	61.1	74.7	72.0	66.0

Note: RB and WB represent Rice Bran and Wheat Bran.

(2) ビーカーによる発酵試験

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 (直径 9 cm、高さ 12cm) による発酵試験を行った。

(a) 試験方法

試験方法は、シャーレによる試験と基本的に同一である。異なる点は、(1) 試験に用いる試料の量を 105 g に増やしたこと、(2) 培地に適度の通気性を持たせるためにバガス 5 g を加えたことである。

(b) 試験結果

発酵試験の結果を表 10-8 にまとめる。

Table 10-8 Results of Fermentation Tests using Sweet Potato Residues in 500ml Beakers

Sample No.	Nutrient	Yield(%)	
		Fermentation 48 Hours	Fermentation 168 Hours
1	Rice Bran 1%	21.0	78.9
2	Rice Bran 2%	26.9	79.3
3	Rice Bran 3%	32.1	76.1
4	Rice Bran 4%	31.5	70.4
5	Rice Bran 5%	36.4	62.2
6	Wheat Bran 2%	24.8	75.5
7	Wheat Bran 3%	27.0	73.4
8	Wheat Bran 4%	30.8	67.7

(3) トレイによる発酵試験

ピーカーによる試験でも良好な結果を得たので、工業生産に使用されているトレイと発酵室を用いて発酵試験を行った。

(a) 試験方法

工業生産と基本的に同様の方法を用いた。ただし、原料となる澱粉粕の量に制限があるので、トレイの約 1/5 容を間仕切して、澱粉粕 2,000 g とバガス 100 g を混和した培地を用いて発酵試験を行った。

(b) 試験結果

168 時間経過後のクエン酸の対糖収率は以下のとおりであった。

- ・栄養源として米糠 1% を添加した場合：80.2%
- ・栄養源として米糠 2% を添加した場合：71.4%

なお、日本に於ける工業生産の平均的な収率は約 85% である。

(4) まとめ

シャーレ試験に於いては、対糖収率 80.7 %を得、ピーカーテストでは対糖収率 79.3 %を得た。トレイと発酵室を用いた培養試験では対糖収率 80.2 %を得た。この実験結果は日本に於ける工業生産に於ける数値と大差がなく、ジンバブエ産の芋は発酵原料として使用可能である。栄養源に関しては、米糠の他に小麦フスマを使用して比較試験を行った。小麦フスマを栄養源として使用してもクエン酸発酵は可能であるが、米糠を使用した場合に比較して収率が 10 %程度低い。

10-3-6 キャッサバ澱粉粕を原料とする発酵試験

調製したキャッサバ澱粉粕を原料とし、シャーレによる発酵試験を行った。なお、現地にて入手したキャッサバの量が少ないため、ピーカーおよびトレイによる試験は省略した。

キャッサバ澱粉粕 15 g に栄養源（米糠あるいは小麦フスマ）とバガス（0～1 g）を加え、さつま芋の場合と同様の方法にて発酵試験を行った。発酵試験結果を表 10-9 に示す。

Table 10-9 Results of Fermentation Tests using Cassava Residues in Petri Dishes

Sample No.	Nutrient	Bagasse	Yield(%)	
			Fermentation 48 Hours	Fermentation 168 Hours
1	Rice Bran 1%	--	10.1	62.3
2	Rice Bran 2%	--	16.0	75.7
3	Rice Bran 3%	--	19.4	85.4
4	Rice Bran 4%	--	26.9	81.0
5	Rice Bran 5%	--	32.1	72.8
6	Rice Bran 1%	1g	--	80.6
7	Rice Bran 2%	1g	--	84.0
8	Rice Bran 3%	1g	--	87.7
9	Rice Bran 4%	1g	--	81.7
10	Rice Bran 5%	1g	--	80.2
11	Wheat Bran 1%	--	9.0	66.0
12	Wheat Bran 2%	--	15.7	75.7
13	Wheat Bran 3%	--	19.8	77.6
14	Wheat Bran 4%	--	26.5	76.5
15	Wheat Bran 5%	--	33.2	67.9

キャッサバの場合には、現地より輸入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せざるを得なかった。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工業生産は可能であると判断される。本試験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。

10-3-7 さつまいも粉砕品を原料とする発酵試験

日本に於いて、さつまいも澱粉粕がクエン酸発酵の原料として利用されている主な理由は、その価格が安く、工業原料として適当であるからである。さつまいも全体の使用は、日本に於いては価格が高く、採算が取れない。しかし、ジンバブエにおいては条件が異なる可能性があることを考慮して、さつまいもの粉砕品を原料として発酵試験を行った。

(1) シャーレによる発酵試験

さつまいも粉砕品 5 g、バガス (1~2 g) および栄養源 (米糠 0~1.5%) を混和した培地を調製し、澱粉粕と同様の方法にて発酵試験を行った。発酵試験結果を表 10-10 に示す。

Table 10-10 Results of Fermentation Tests using Whole Sweet Potatoes in Petri Dishes

Sample No.	Rice Bran	Bagasse	Yield(%)		
			48 Hours	96 Hours	168 Hours
1	0.0%	1.0g	41.2	73.8	58.8
2	0.5%	1.0g	40.4	74.1	54.5
3	1.0%	1.0g	48.9	73.8	51.3
4	1.5%	1.0g	45.5	71.4	50.2
5	0.0%	1.5g	48.9	78.1	61.0
6	0.5%	1.5g	50.0	78.9	62.6
7	1.0%	1.5g	51.6	79.7	55.9
8	1.5%	1.5g	52.1	76.7	55.1
9	0.0%	2.0g	52.4	80.5	60.2
10	0.5%	2.0g	51.9	81.0	61.7
11	1.0%	2.0g	54.9	80.7	60.2
12	1.5%	2.0g	54.9	77.2	56.4

(2) ビーカーによる発酵試験

さつまいも粉砕品 50 g、バガス (15 ~ 20 g) および栄養源 (米糠 0 ~ 1 %) を混和した培地を調製し、シャーレと同様の方法にて発酵試験を行った。発酵試験結果を表 10 - 11 に示す。

Table 10-11 Results of Fermentation Tests using Whole Sweet Potatoes in 500ml Beakers

Sample No.	Rice Bran	Bagasse	Yield(%)	
			48 Hours	96 Hours
1	0.0%	15g	13.3	75.4
2	1.0%	15g	20.0	75.3
3	0.0%	20g	14.1	77.5
4	1.0%	20g	17.7	76.6

(3) まとめ

さつまいも全体を用いる場合には、窒素分過多による発熱過多がある。工業生産を行うためには発酵条件、設備等に検討を要する。しかし、発酵速度が速く、収率も良いので、さつまいも全体がクエン酸原料となり得る可能性はある。

10-3-8 キャッサバ粉砕品を原料とする発酵試験

(1) シャーレによる発酵試験

キャッサバ粉砕品 5 g、バガス (1 ~ 2 g) および栄養源 (米糠 1 ~ 3.5 %) を混和した培地を調製し、澱粉粕と同様の方法にて発酵試験を行った。発酵試験結果を表 10 - 12 に示す。

Table 10-12 Results of Fermentation Tests using Whole Cassava in Petri Dishes

Sample No.	Rice Bran	Bagasse	Yield(%)		
			48 Hours	120 Hours	168 Hours
1	1.0%	1.0g	27.2	75.9	67.2
2	2.0%	1.0g	35.4	77.0	65.9
3	2.5%	1.0g	35.2	76.5	63.2
4	3.0%	1.0g	40.2	76.2	64.8
5	3.5%	1.0g	42.6	73.0	62.2
6	1.0%	1.5g	43.4	81.0	70.3
7	2.0%	1.5g	43.4	81.7	68.0
8	2.5%	1.5g	45.2	82.3	67.5
9	3.0%	1.5g	47.3	80.9	67.5
10	3.5%	1.5g	48.1	79.8	57.4
11	1.0%	2.0g	50.3	84.9	71.7
12	2.0%	2.0g	50.5	85.4	69.3
13	2.5%	2.0g	52.6	83.6	64.3
14	3.0%	2.0g	52.1	83.0	64.0
15	3.5%	2.0g	21.0	82.5	64.3

(2) ビーカーによる発酵試験

キャッサバ粉碎品 50 g、バガス (15 ~ 20 g) および栄養源 (米糠 1 ~ 2 %) を混和した培地を調製し、シャーレと同様の方法にて発酵試験を行った。発酵試験結果を表 10-13 に示す。

Table 10-13 Results of Fermentation Tests using Whole Cassavas in 500ml Beakers

Sample No.	Rice Bran	Bagasse	Yield(%)	
			48 Hours	120 Hours
1	1.0%	15g	16.9	79.1
2	2.0%	15g	19.2	80.4
3	1.0%	20g	17.3	81.1
4	2.0%	20g	22.6	82.5

(3) まとめ

キャッサバ全体を用いた場合、シャーレ試験にて良好な成績を得、ピーカー試験に於いても対糖収率 80 %を越える良好な成績得た。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。従って、工業的培養においては、発酵条件、設備等に検討を要するが、キャッサバ全体はクエン酸原料として有望である。

10-3-9 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室的に調製した澱粉粕を原料とするクエン産発酵試験を行い、良好な結果を得た。キャッサバの場合には、現地にて収集した試料の量が充分ではなかったため、トレイと発酵室を用いる実験を省略せざるを得なかった。しかし、今回の試験結果からみて、トレイと発酵室を用いる実験でも良好な結果が得られるものと推定される。

芋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（工業生産）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。

栄養源として、米糠の代替として、小麦フスマは多少成績は劣るが、固体培養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

10-4-1 基本方針

ジンバブエにて安価に入手可能な糖質原料を用いるクエン酸製造の可能性を検討した。実験に採用した半固体法は、適当な担体に炭水化物を加えて発酵を行うものであり、実験室レベルで研究されているが、商業プラントは存在しない。

10-4-2 担体および原料

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：粗糖

粗糖から精製糖を得る工程で得られるシロップ（Affination Syrup）

濃縮ケーンジュース (Condensed Sugar Cane Syrup)

粗糖から精製糖を得る工程で得られるモラセス (Process Molasses)

粗糖を2回析出させた後の母液 ("B" Molasses)

10-4-3 原料の分析

高速液体クロマトグラフ法により、上記の5種類の糖質原料の分析を行った。分析結果を表10-14に示す。

Table 10-14 Results of Raw Material Analysis

	(Unit: %)				
	Oligosaccharide	Sucrose	Glucose	Fructose	Total
Raw Sugar	0.0	91.5	5.3	2.8	99.6
Affination Syrup	2.3	1.5	26.3	25.0	55.3
Condensed Sugarcane Syrup	6.7	52.5	4.8	4.0	68.0
Process Molasses	11.8	32.1	4.6	4.7	53.2
"B" Molasses	23.4	35.0	4.5	7.1	70.0

10-4-4 発酵試験

直径9 cmのシャーレに担体として乾燥バガス 3.9 gをとり、これに調製した培地 15mlをふりかけ、蒸煮殺菌する。冷却後、菌体 (*Aspergillus niger* yang No. 2) を移植し、30 °Cにて静置発酵を行う。培地中には栄養源として、硝酸アンモニウム 30mg、リン酸2水素カリウム 150mg、硫酸マグネシウム 3.75mg、硫酸マンガン 0.21mg、塩化第2鉄 0.3mgが含まれる。

3日目と5日目のクエン酸生成量および対糖収率を求め、培地条件と発酵試験結果を表10-15にまとめた。

Table 10-15 Results of Fermentation Tests using the Semi-solid Culture Process

Test No.	Culture Medium		Fermentation Results			
	Raw Material	Total Sugar as Glucose	CAM(g)		CAM Yield(%)	
			3days	5days	3days	5days
1	Raw Sugar	2.10g(140g/ℓ)	1.305	1.508	62.1	71.8
2	Raw Sugar	2.25g(150g/ℓ)	1.328	1.643	59.0	73.0
3	Raw Sugar	2.40g(160g/ℓ)	1.373	1.935	57.2	80.6
4	Raw Sugar	2.70g(180g/ℓ)	1.485	2.073	55.0	76.7
5	Affination Syrup	2.10g	0.195	0.458	16.8	39.5
6	Condensed Sugarcane Juice	1.34g	0.486	0.567	53.4	62.3
7	Process Molasses	2.40g	0.486	0.953	38.0	74.5
8	"B" Molasses	3.00g	0.525	trace	25.0	trace

粗糖を原料とする場合には最高収率 80.6 %を得、半固体法によるクエン酸製造が技術的に可能であることが明らかとなった。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

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。これは、次の理由に依っている。サブ・サハラ以北は、世界のクエン酸主要供給源であるヨーロッパの玄関口に当たり、中近東以東は中国や東南アジア諸国の生産圏にある。従って、南部アフリカ域外では熾烈な競争が予想される。また、世界的に需給バランスが適正に保たれていることにより、輸出先導型のクエン酸工業（例えば4,000トン/年以上の生産規模）を導入することは、マーケティング上（販路）、未確定要因が多すぎる。

ジンバブエ国でのクエン酸の市場規模は、1996年のプラントの運転が開始する時期においては、910トン/年が見込まれている。また南アフリカ共和国の1996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/年と予想されており、対象市場の総需要は6,210トン/年と考えられる。一方、第5章「クエン酸および副産物の市場」で述べたように、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/年と考えられる。

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

微生物の発酵によるクエン酸の生産用原料として、本計画調査の対象原料は以下のものが考えられる。

1. さつまいの澱粉粕
2. キャッサバの澱粉粕
3. コーンスターチ
4. 砂糖きびから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.のさつまい澱粉粕と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、ジンバブエ国の国情に合致している。従って、この固体発酵法に合った原料のさつま芋粕、キャッサバ粕を第一優先的に検討対象としたが、第7章原料および副原料に詳述されているように、さつま芋澱粉粕、キャッサバ澱粉粕はジンバブエ国に存在していない。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ジンバブエ国においては、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いる。また、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のプラントは商業化されたものではなく、商業化には膨大な費用と長期の時間が必要となる。また、粗糖および濃縮ケーンジュースはモラセスより高価であり、商業化のための協力者を得ることが難しい。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。本計画に必要な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、この程度の量は確実に確保できる。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4,000トン/年のコーンスターチの供給余力はないが、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。

第7章で原料の選択の事由を詳述したが、主原料選定の判断基準に関係する要因とその実状を以下の表のようにまとめた。

Table 11-1 Selection of a Raw Material

Material	Process	Availability	Industrial Technology	Material Cost	Adoption for the Project
Sweet potato residues	○ Solid culture	× No	○ Exists	N.A	× Reject
Cassava residues	○ Solid culture	× No	○ Exists	N.A	× Reject
Cornstarch	○ Submerged culture	○ Good	○ Exists	△ *	○ Adopt
Sugarcane molasses	○ Solid culture	× Import	× No	○ Reasonable	× Reject
Sugarcane intermediate products	○ Solid culture	○ Good	× No	× Expensive	× Reject

Remark: * Expensive, but possibility of price reduction exists.

Symbol: ○ ... Acceptable

× ... Rejected

△ ... Not ideal but acceptable

上表よりわかるように、本計画の主原料としては、コーンスターチが唯一の対象原料として残った。従って、本計画ではコーンスターチを主原料とする。

11-3 クエン酸製造プロセスの比較

第4章にクエン酸製造プロセスの概要を述べた。本章では第10章で述べた発酵試験の結果、原料入手性等を踏まえ、製造プロセスの本プロジェクトへの適用可能性を検討した。

11-3-1 固体発酵法

固体発酵法においては、クエン酸を生成する菌が好気性の雰囲気でのみ増殖可能であるので菌が空気との接触を常時維持出来るよう通気性の良い培地を作る必要がある。従って、原料が通気性の良い培地を形成する性質をそなえていることが必要である。さつま芋澱粉粕またはキャッサバ澱粉粕は原料のなかに多量の繊維質を含有しており、これが気孔の多い培地を形成する。これに栄養素等をまぜ、殺菌後トレイに充填しクエン酸生成菌を植菌し、発酵室の棚段に並べ発酵させる。本発酵法によるクエン酸工場の建設費は液内発酵法に比べて廉価である。また、培地のトレイへの充填、トレイの発酵室への運搬・積みつけ、発酵完了後のトレイの取り出し、使用後のトレイの洗浄等、人力を必要とする作業が多く、雇用創出型であり、本プロジェクトの目的の一つに合致している。

ジンバブエ産のさつま芋、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、対糖収率がさつま芋の場合で約 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、原料となるさつま芋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ぬか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。

固体発酵法にはこの他に培地に通気性を持たせるために担体を使用し、その担体に炭水化物の発酵原料をまぶし、クエン酸を製造する方法がある。担体には砂糖きびのしぼり粕のバガス、炭水化物の発酵原料には粗糖、砂糖きびシロップ、モラセス等が考えられる。この発酵法は大学では、適度の収率でクエン酸を製造した実験結果が報告されているが、実証された商業プラントはない。従って、この方法を採用することは出来ない。

11-3-2 液内発酵法

液内発酵法はステンレス鋼製の発酵タンクに液状原料を充填し、菌をタンク内に植菌し、外部より滅菌された空気を圧入し、発酵タンク内の攪拌機により菌に空気を常時接触させ、発酵を進ませ、クエン酸を製造する方法である。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、濾過器、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、攪拌機、空気圧縮機等を駆動するモータを必要とするため、かなりの電力を消費する。

液内発酵法に利用される原料は広く、コーンスターチ、ビートモラセス、ケーンモラセス、さつま芋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)

ジンバブエ国にはコーンスターチの原料となるメイズは大量に生産されており、日本では磐田化学工業（株）がコーンスターチを原料として液内発酵法でクエン酸を生産している。

ジンバブエ産のコーンスターチ（2種類）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

上述のように本プロジェクトではコーンスターチを主原料とし、これを微生物で発酵し、クエン酸を製造するものである。環境に有害な鉱物や重金属を使用しないため、基本的には環境に対してマイルドなプラントである。

しかし、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。廃液については活性汚泥処理槽を設けて処理し、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菌体や石膏等につき、できる限り再利用を計る。

11-5 プラントサイト

本計画調査のプロジェクトスキームの絞り込み過程を経て、原料がコーンスターチと選定されると、工場立地場所は自づとメイズの集荷場所、あるいはコーンスターチの製造場所に近い所が適当となる。

ハラレ市の南西約 60 km で、大型メイズ貯蔵設備があるノートン市 (Norton)、ハラレ市の南約 30 km のチトウングウィザ市 (Chitungwiza) およびハラレ市の中心より東へ約 10 km のムクビシ (Mukuvisi) 地域を対象として実地踏査した。その結果、ムクビシにあるジンフォス社 (Zimbabwe Phosphate Industries) 燐酸肥料工場に隣接する敷地が最適と判断した。ここには原料、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、高圧送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おり、この地点を工場建設予定のプラントサイトとして選定した。

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る。

第12章 プラントの概念設計

第12章 プラントの概念設計

本章では、ジンバブエ産のコーンスターチを主原料とする液内発酵法により、高品質のクエン酸（一水和物）3,000トン／年を製造するプラントの概念設計について記述する。また、プラントの概念設計に関連して、原料、用役、発酵・精製の技術等に関する基本事項についても言及する。

12-1 プラント建設用地の概要

クエン酸プラントの建設用地には、第8章にて述べた様に、ハラレ市南東部のムクピシ地区にあるジンフォス社の隣接地が選定された。建設用地の概要を以下に述べる。

(1) 位置

ムクピシ地区はハラレ市の中心部から東へ約10kmの地点に位置し、コーンスターチを製造している Food & Industrial 社からも近いところにある。同地区は鉄道・道路等の交通の便が良く、原料、副原料、燃料（石炭）、製品の輸送に便利である。また、住宅地に近く、従業員の通勤にも便利である。ハラレ市はコーンスターチの原料であるメイズの生産圏内にあり、クエン酸消費の中心地でもある。

(2) 気象条件

ハラレ市の気象条件は以下に示すとおりで、クエン酸プラントの建設・運転に際して特別に問題となる点はない。

- ・ 標高 : 1,472 m
- ・ 気圧 : 856mb
- ・ 気温 年平均 : 18.1 °C
 最高記録 : 35.4 °C (1960年12月)
 最低記録 : -1.4 °C (1968年6月)
- ・ 平均風速 : 4 m/秒
- ・ 年間降雨量 : 820mm
- ・ 湿度 (年平均) : 61 %
- ・ 乾期 : 4 ~ 10月
- ・ 雨期 : 11 ~ 3月

(3) 土質

ムクビシ地区の土質は粗粒土（小石と粗砂）からなり、地盤は強固である。ジンバブエは地震の無い地域で、過去に地震を経験していない。

(4) その他

ハラレ郊外には生物化学部を有するジンバブエ大学があり、同大学より発酵技術面での支援を受けることを期待できる。

12-2 プラント設計の前提条件

本調査では、ジンバブエ産コーンスターチを主原料とし、日本において商業プラントに採用されている、コーンスターチを原料とする液内発酵法を基本としてプラントの概念設計を行う。従って、プラントの概念設計は、第10章に述べた発酵試験結果に基づき行うものとする。一方、本プロジェクトは、ジンバブエにおいては、カビを使用する本格的な好気性発酵技術の工業化の第1号となるので、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。また、プラントは製造を中心とするもので、研究開発機能は持たないものとした。以下にプラント設計の主要前提条件をまとめる。

(1) プラント能力

プラントの生産能力は、24時間運転、年間333日稼働として、クエン酸一水和物3,000トン/年とする。また、原料・製品の保管能力は以下のとおりとする。

- ・国産原料：5日分
- ・輸入原料：2～4週間分
- ・製品：4週間分

(2) 菌株

コーンスターチを原料とする液内発酵法に適合する菌株（*Aspergillus niger*）を使用する。

(3) 原料

主原料のコーンスターチは、発酵試験を行った2種類のジンバブエ産コーンスターチ（商標名STARCONおよびSTARTEX45）の内、成績の良かったSTARCONを使用するものとする。STARCONは、日本品に比較すると、粗蛋白等の不純物を多く含むが、澱粉の含有量は高い（表12-1参照）。プラントの概念設計における原単位および物質収支の計算は、下表の糖分（99.7%）、澱粉価（89.7%）に基づいて行うものとする。

Table 12-1 Analysis Results of Cornstarch

	STARCON	Japanese
Water Content, %	4.8	12.9
Sugar Content, %	99.7	95.0
Starch Value, %	89.7	85.5
Protein, %	0.58	0.28
Lipid, %	0.063	0.050
Electrical Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$	218	100
Ash, %	0.16	0.03

クエン酸を製造するのに必要な副原料の内、硫酸および栄養源の一部はジンバブエ産の製品が使用可能であるが、その他については要求品質のものを外国から輸入する必要がある。クエン酸製造に使用される主な原料と包装形態は、以下のとおりである。

(a) 発酵工程

- ・コーンスターチ : コンテナバッグ
- ・酵素アミラーゼ : 缶
- ・硝酸アンモニウム : 袋
- ・リン酸カリウム : 袋

(b) 精製工程

- ・消石灰 : コンテナバッグ
- ・硫酸 : タンクローリー
- ・活性炭 : 袋
- ・ろ過助材 : 袋

(4) 製品

本計画で製造されるクエン酸の品質は、表 12-2 に示す BP 規格を満足するものとする。製品は 50kg の袋（紙 4 層 + ポリエチレン 1 層）に詰めて販売されるものとする。

Table 12--2 Specification of Citric Acid Monohydrate in UK (British Pharmacopeia)

Items	Specifications
Characteristics	Colorless crystals or a white, crystalline powder; efflorescent
Solubility	Soluble in less than 1 part of water and in 1.5 parts of ethanol (96%); sparingly soluble in ether
Clarity and Color of Aqueous solution	Within the limit
Barium (Ba)	Within the limit
Calcium (Ca)	Not more than 200ppm
Heavy metals (Pb)	Not more than 10ppm
Iron (Fe)	Not more than 50ppm
Chloride (Cl)	Not more than 50ppm
Oxalate ($C_2H_2O_4$)	Not more than 350ppm
Sulphate (SO_4)	Not more than 150ppm
Readily carbonisable substances	Within the limit
Sulphated Ash	Not more than 0.1%
Water (including crystallization water)	7.5 ~ 9.0%
Content	99.5 ~ 101.1%

(5) 電力

電力は ZESA (ジンバブエ電力供給公社) より、国内の電力ネットワークを通じて供給される。首都であるハラレ市は、3 回線にて電力が供給されており、市内にも発電所が在るため、電力事情は良好である。電力事情が良好なことを考慮し、自家発電設備を設置しないものとした。

(6) 用水と廃水

製造工程で使用するプロセス水は公共用水を使用する。冷却水は一次水温度 22℃、二次水温度 28℃を基準とする。節水を考慮し、冷却塔を設け水のリサイクル利用を計るものとする。廃水は、環境規制上の対策を実施後、公共下水道に排出する。

(7) 計装・制御

重要な工程については自動制御を行うが、運転管理は手動操作を基本とする。

12-3 クエン酸製造プロセスの概要

12-3-1 発酵工程の概要

クエン酸発酵においては、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種類の発酵槽にて順次、植菌・培養することにより工業的規模で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。以上が本プロセスの特徴である。

以下に発酵工程の概要を記述する。

(1) 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 を仕込み、水を加えて約30%のスターチ乳液を調製する。次いで、液化用酵素アミラーゼをスターチ乳液に加え、ジェットクッカーで直接蒸気を吹き込み90℃まで加温して反応タンクに送り、高温に維持することにより酵素の働きでスターチを液化する。

(2) フラスコ種母培養

コーンスターチ 50g、液化用酵素アミラーゼ 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、栄養源を添加し水を加えて1ℓとする。2ℓの三角フラスコ3本に330mlづつ分注し、オートクレーブで殺菌(121℃、20分間)後、冷却する。

上記の培地に *Aspergillus niger* を植菌し、ロータリーシェーカーを用いて35℃にて45時間培養を行う。

(3) 一次種母発酵

一次種母タンクにコーンスターチ液化液 483kg と栄養源を投入し、水を加えて680ℓに調整し、培地とする。培地に蒸気を吹き込み、121℃にて20分間殺菌した後、冷却する。煮沸後のタンク内の培地の容量は800ℓとなる。次いで、上記(2)のフラスコ種母3本を殺菌済みのタンク培地に植菌し、以下の条件で種母を増殖する。

- ・植菌前培地容量： 800 ℓ
- ・植菌量： 990mℓ
- ・発酵温度： 35℃
- ・通気量： 240 ℓ /分
- ・攪拌数： 160rpm
- ・発酵時間： 36 時間

(4) 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 と栄養源を投入し、水を加えて 9.4k ℓ に調整し、培地とする。培地に蒸気を吹き込み 121℃にて 20 分間殺菌した後、冷却する。煮沸後のタンク内の培地容量は 11.2k ℓ となる。次いで、上記 (3) の一次種母を殺菌済みのタンク培地に植菌し、以下の条件下で種母を培養する。

- ・植菌前培地容量： 11.2k ℓ
- ・植菌量： 800 ℓ
- ・発酵温度： 35℃
- ・通気量： 3.6m³/分
- ・攪拌数： 100rpm
- ・発酵時間： 36 時間

(5) 主発酵

培地仕込タンクに温水と栄養源を仕込み 10k ℓ とする。培地仕込タンク内の栄養源を 10k ℓ /時の流速で連続蒸煮機に送り、121℃にて 5 分間殺菌する。35℃まで冷却した後、殺菌済みの主発酵槽に移送する。次いで、反応タンク内のコーンスターチ液化液および温水について同様の操作を行う。以上 3 種類の液体の殺菌・冷却・移送操作は連続的に行われる。殺菌済みの温水の主発酵槽への移送は、主発酵槽内の殺菌済み培地の量が 168k ℓ になった時点を終点とする。以上の操作終了後、上記 (4) にて得られる二次種母を主発酵槽内の培地に植菌し、以下の条件にて発酵を行う。

- ・植菌前培地容量： 168k ℓ
- ・植菌量： 12k ℓ
- ・発酵温度： 35℃
- ・通気量： 54m³/分
- ・攪拌数： 100rpm
- ・発酵時間： 160 時間

(6) タンクの操作サイクル

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。

12-3-2 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。工業プロセスにおいては、上記の工程に菌体分離、脱色、乾燥等の工程が組み合わされている。以下に、精製工程の概要を説明する。

(1) 発酵終了ブrossの受け入れ

発酵終了後、主発酵槽内のブross全量（1 バッチ分）をブrossタンクに移す。

(2) 菌体ろ過

あらかじめ菌体ろ過材にろ過助材を塗布し、減圧ろ過により、ブross中の菌体を分離する。次いで、ろ液中に少量混在する菌体をフィルタープレスにより完全にろ過し、澄明なろ液を得る。分離された菌体は、Waste Mycelium として系外に排出される。

(3) クエン酸カルシウムの晶析（中和）

菌体ろ過液（約 14kℓ）とリサイクルされる二次母液（約 0.6kℓ）を中和タンクに入れ、蒸気で 50℃ に加温する。あらかじめ濃度 30% に調整した消石灰のスラリーを、攪拌しながら pH5.0 になるまで、中和タンクに加える。中和工程では、遊離クエン酸は溶解度の低いクエン酸カルシウムとして析出する。なお、中和工程は一日 6 ロットに分割して行う。

(4) 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むスラリーをスッチェ型ろ過機に移送し、結晶と溶液を分離する。ろ過した結晶をスラリー量の約 35% の水で洗浄し、結晶に付着した溶液を除く。分離されたクエン酸カルシウムは酸分解工程へ、ろ液と洗浄廃水は廃水として廃水処理工程へ送られる。

(5) クエン酸カルシウムの酸分解

クエン酸カルシウムを酸分解タンクに投入し、次工程で得られる低濃度ろ液を加え、クエ

ン酸濃度約 24 %のスラリーを調製する。次いで、当量の硫酸を添加しクエン酸カルシウムを分解し、遊離のクエン酸液と硫酸カルシウム結晶からなるスラリーを得る。

(6) 遊離クエン酸液と硫酸カルシウムの分離

分解したスラリーをバケット型の遠心分離機に送り、遊離のクエン酸液と硫酸カルシウムに分離する。次いで、分離された硫酸カルシウムをスラリー量の約 40 %の水で洗浄する。洗浄により得られるろ液（低濃度ろ液）には少量のクエン酸が含まれるので、クエン酸の損失を防ぐために、低濃度ろ液は上記 (5) の酸分解工程へリサイクルされる。分離された遊離クエン酸液中に少量混在する硫酸カルシウムの結晶はフィルタープレスにより完全に除去され、澄明なクエン酸液が得られる。分離された硫酸カルシウムは Gypsum（石膏）として系外に排出される。

(7) クエン酸の一次濃縮

上記 (6) にて得られたクエン酸液に、リサイクルされる一次母液、二次クエン酸粗結晶および最終母液を加えた後、クエン酸濃度が $1,150\text{g}/\ell$ （一水和物として）となるまで、減圧下で連続濃縮を行う。

(8) クエン酸結晶の一次晶析

上記 (7) の濃縮液を一次晶析タンクに移送し、攪拌しながら冷却する。液温が 35°C になったら、クエン酸一水和物の種晶を少量加えて結晶を析出させる。引き続き冷却を行い、液温を 20°C 以下とし、クエン酸一水和物の結晶を析出・熟成させる。

(9) 一次クエン酸粗結晶の分離

熟成したクエン酸一水和物のスラリーをバケット型遠心分離機に送り、一次クエン酸粗結晶と一次母液とに分離する。分離された一次クエン酸粗結晶は脱色工程に送られる。一次母液は一次母液タンクに貯蔵された後、一次濃縮工程と二次晶析工程に送られ、クエン酸が回収される。

(10) クエン酸二次結晶の回収

上記 (9) の工程にて得られる一次母液の 40 %を、クエン酸濃度が $1,200\text{g}/\ell$ （一水和物として）となるまで、減圧下で濃縮し、二次晶析タンクに移送する。

二次晶析タンクでは、濃縮液を攪拌しながら冷却する。液温が 35°C になったら種晶を少量加えて結晶を析出させる。引き続き冷却を行い、液温を 20°C 以下とし、クエン酸一水和物の

結晶を析出・熟成させる。

熟成したクエン酸一水和物のスラリーをバスケット型遠心分離機に送り、二次クエン酸粗結晶と二次母液とに分離する。分離された二次クエン酸粗結晶は一次濃縮工程に送られる。二次母液は、二次母液タンクに貯蔵された後、クエン酸カルシウム晶析（中和）工程に送られ、クエン酸が回収される。

(11) クエン酸液の脱色

上記 (9) にて得られたクエン酸一次粗結晶と最終母液を脱色タンクに投入し、次工程で得られる低濃度ろ液を加え、クエン酸濃度を $1,150\text{g}/\ell$ （一水和物として）に調整する。80℃ に加温し、結晶を溶解する。次いで、活性炭を加えて30分間脱色を行う。

(12) クエン酸液のろ過

あらかじめ活性炭ろ過機にろ過助材を塗布し、高温のままクエン酸脱色液をろ過する。ろ液は、仕上げろ過機でろ過された後、最終晶析タンクへ送られる。ろ別された活性炭は、脱色液量の約10%の水で洗浄される。洗浄により得られる低濃度ろ液は、クエン酸の損失を防ぐために、脱色工程に送られる。分離された廃活性炭は Waste Carbon として系外に排出される。

(13) クエン酸最終晶析

脱色ろ液を攪拌しながら冷却する。液温が35℃になったら、種晶を少量加えてクエン酸一水和物を析出させる。引き続き冷却を行い、液温を20℃以下とし、クエン酸一水和物の結晶を析出・熟成させる。

(14) クエン酸最終結晶の分離

成熟したクエン酸一水和物のスラリーをバスケット型遠心分離機に送り、クエン酸最終結晶と最終母液とに分離する。分離されたクエン酸最終結晶は乾燥工程に送られる。最終母液は最終母液タンクに貯蔵された後、脱色工程と一次濃縮工程に送られ、クエン酸の回収が行われる。

(15) クエン酸の乾燥

分離されたクエン酸一水和物は約3%の付着水を含むため、乾燥が必要となる。クエン酸最終結晶をコンベヤーで連続的にロータリー型乾燥機に送り約60℃の熱風で乾燥し、付着水を除去する。乾燥されたクエン酸はストレージホッパーへ気流搬送される。

(16) クエン酸の充填

乾燥クエン酸は、篩分機にて規格外の結晶を分離した後、50kg 入りの袋に充填される。

12-3-3 工程図

図 12-1 にクエン酸製造の全工程を簡単にまとめたブロックフローを示す。同図に付記した数値は製品クエン酸一水和物 1,000kg 当たりの主原料・副原料の消費量、廃液・廃棄物の生成量を示したものである。

図 12-2 は全工程の物質収支を示したものである。同図の数値は発酵工程においては 1 バッチ当たりのバランスを示したもので、処理バッチ数は 3 バッチ / 7 日間を基準とした。精製工程については、日間バランスを示したもので、3 バッチの発酵により得られる生成物を 7 日間で処理するものとした。

図 12-3 はプロセスフローシートを示す。主要機器については機器番号と名称を、付属機器については機器番号のみを付記した。機器番号と名称の関係は 13 章に添付した「機器リスト」を参照のこと。

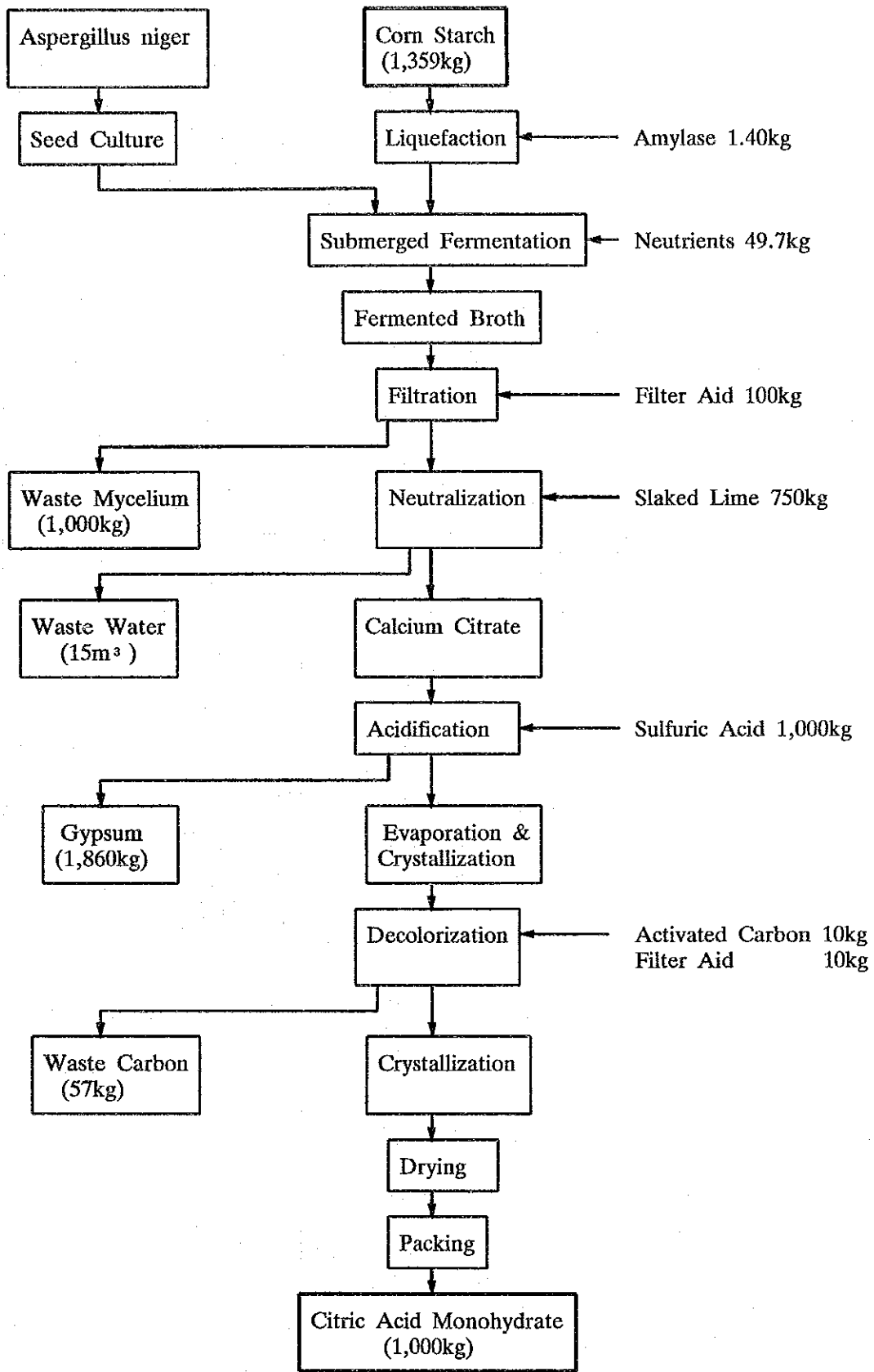
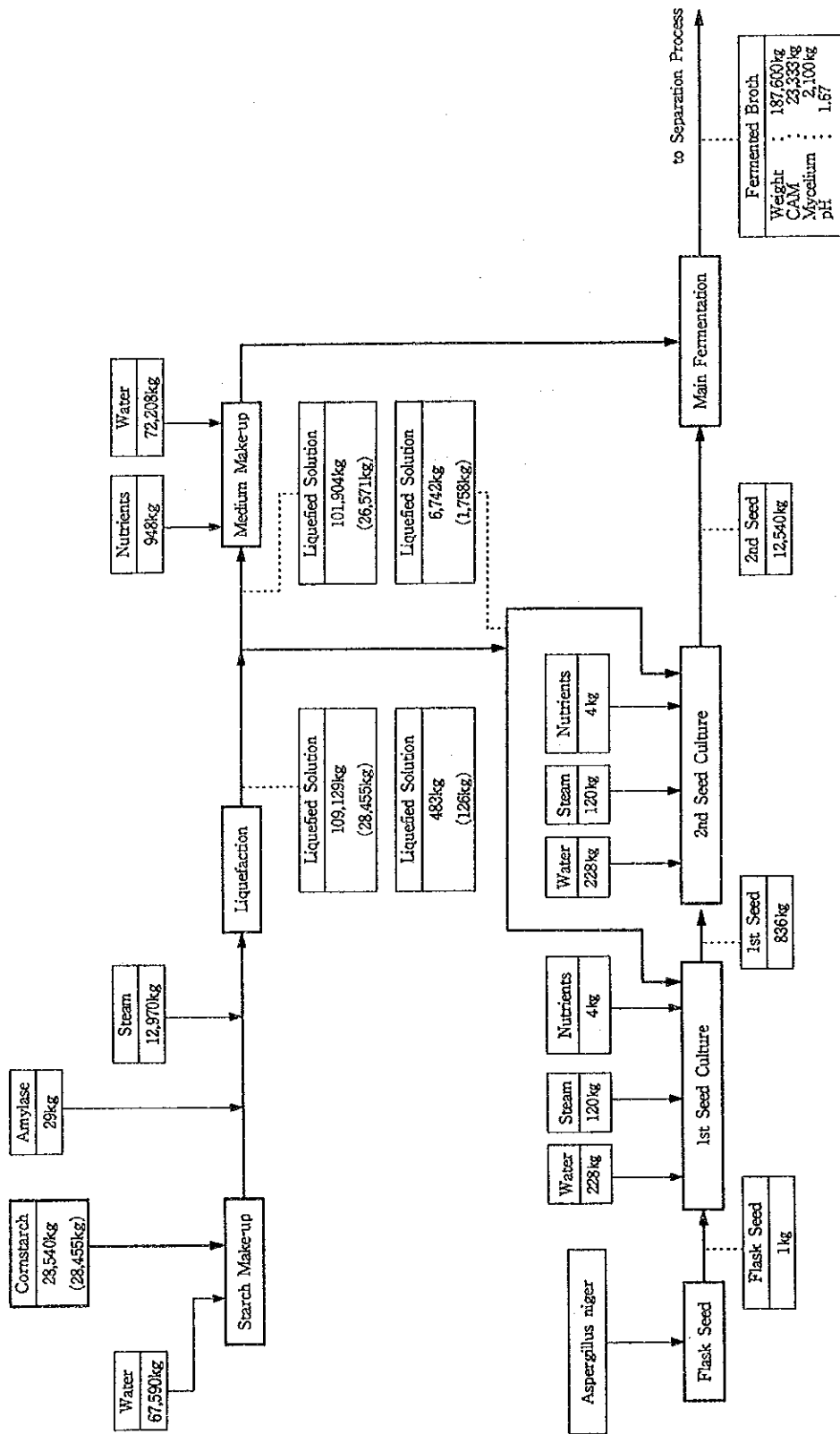


Figure 12-1 Process Block Diagram



Note: Figures in parenthesis are glucose amount.

Figure 12-2-1 Material Balance (per Batch : 3Batch/7Days), Fermentation Process

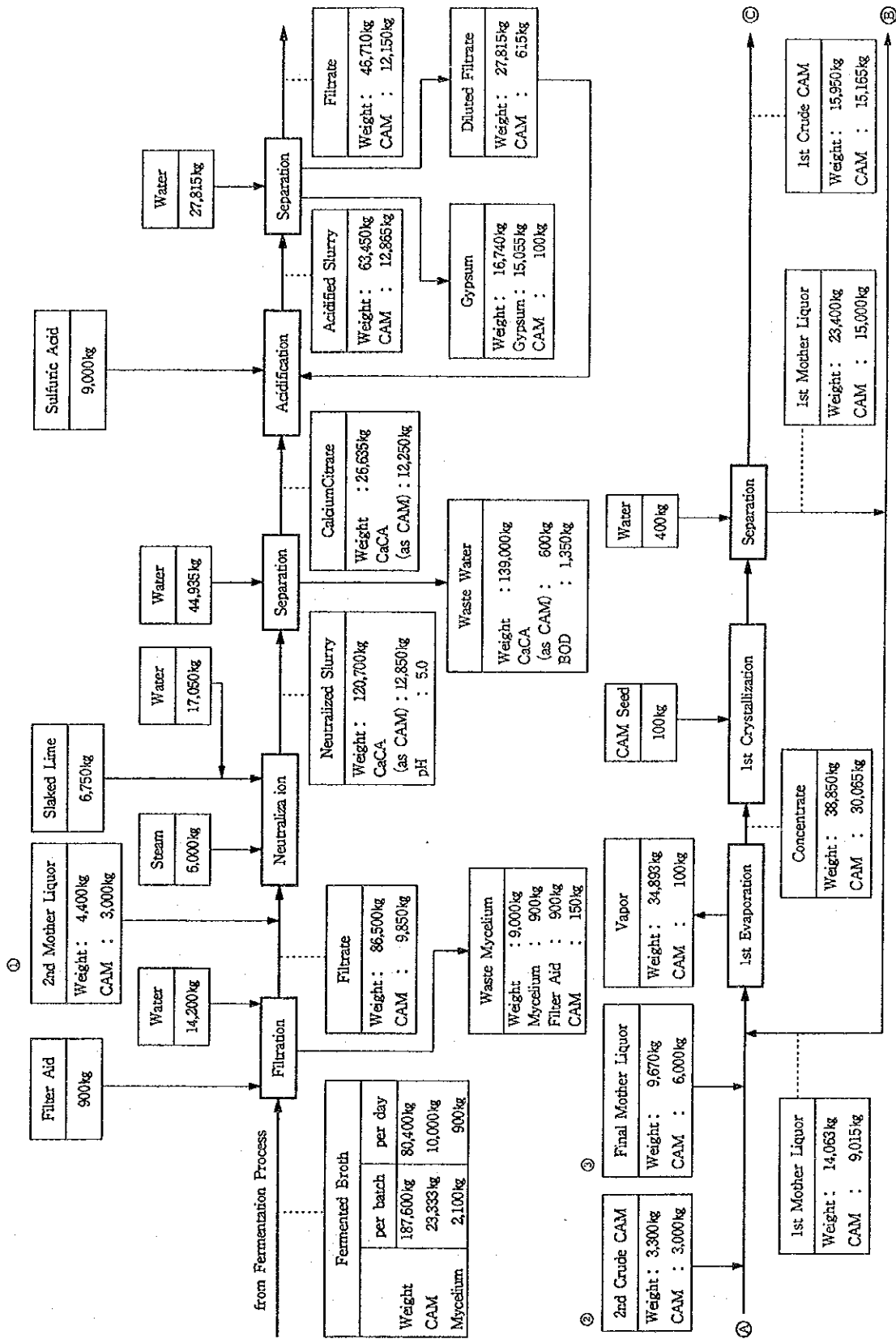


Figure 12-2-2 Material Balance (per Days), Separation Process (1/2)

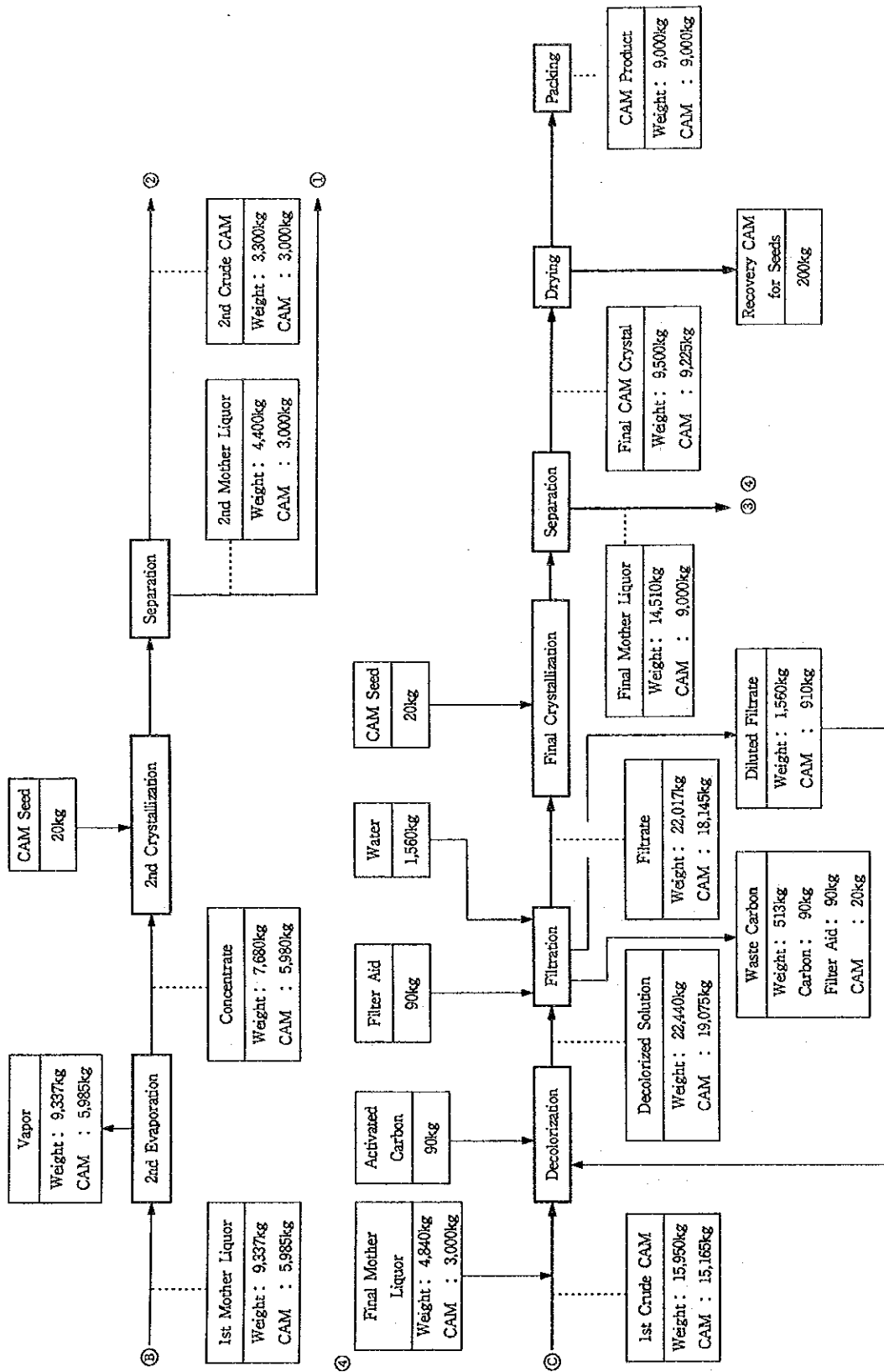


Figure 12-2-3 Material Balance (per Days), Separation Process (2/2)

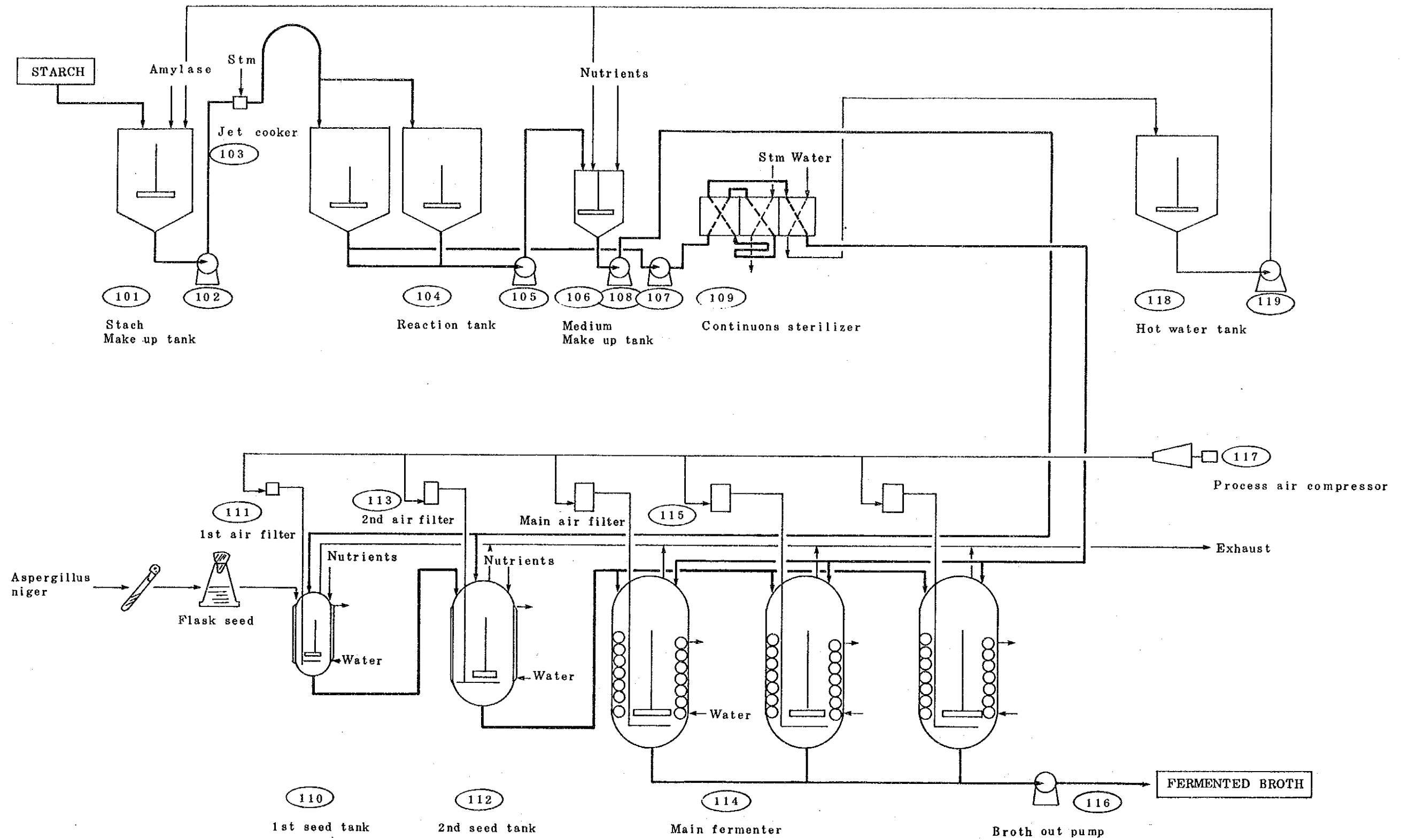


Figure 12-3-1 Process Flow Sheet (Fermentation Process)

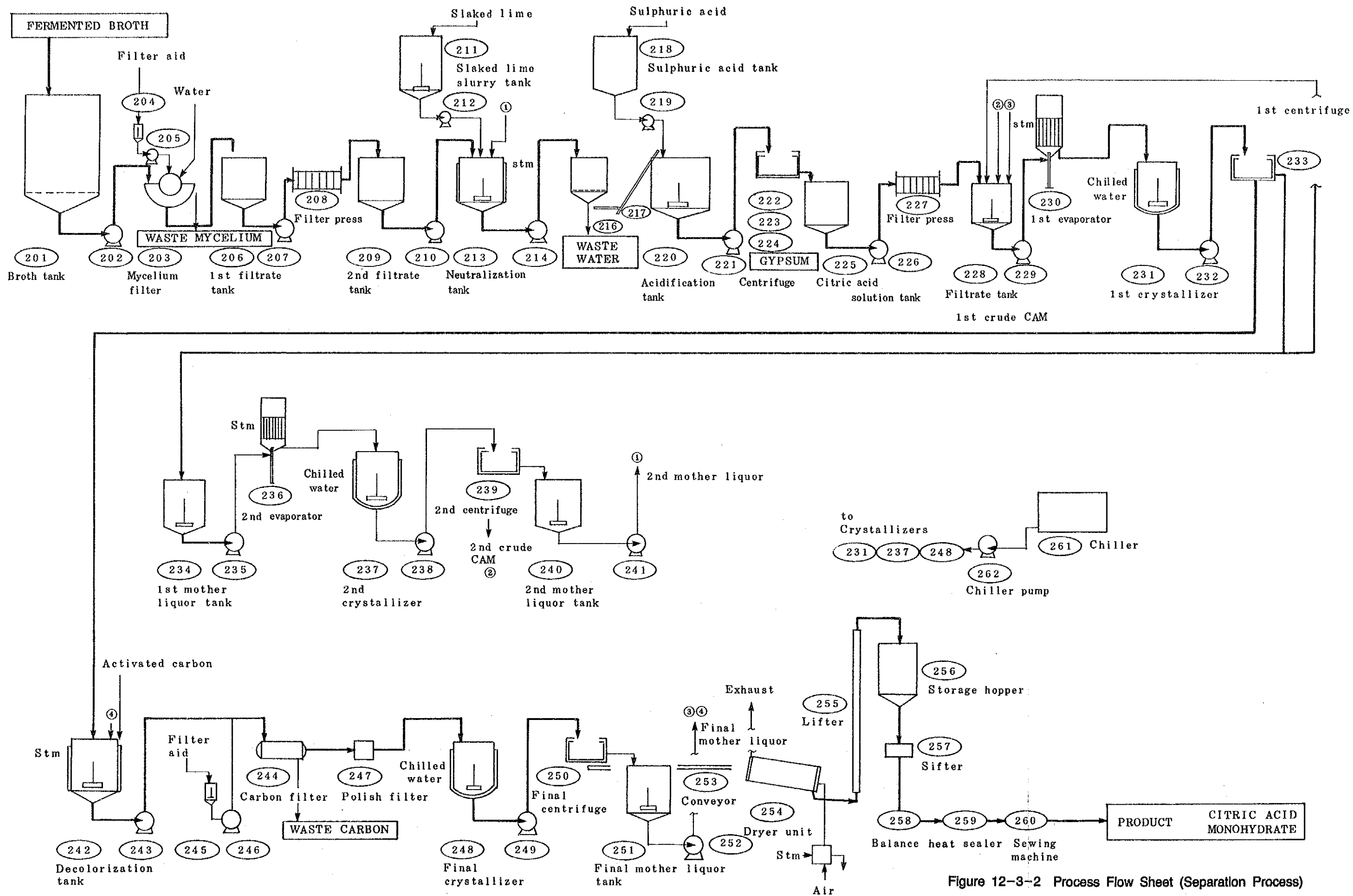


Figure 12-3-2 Process Flow Sheet (Separation Process)

12-3-4 原料

(1) コーンスターチ

12-2 節「プラント設計の前提条件」にて述べたように、ジンバブエ産のコーンスターチ STARCON を使用する。

(2) 硫酸

ジンフォス社にて製造されている濃硫酸を使用するものとする。同社製の硫酸の規格は含量 98 % 以上、不純物は重金属（鉛として）：5ppm 以下、ヒ素（ As_2O_3 として）：2ppm 以下、銅：10ppm 以下、鉄：30ppm 以下、マンガン：1ppm 以下、カドミウム：1ppm 以下となっている。

(3) 消石灰

本プロセスにて使用される消石灰は、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望ましい。特に、消石灰中のマグネシウム含量が多いとクエン酸の回収率が減少するので、マグネシウム含量の少ない消石灰を使用する必要がある。ジンバブエ産の消石灰は、第 7 章にて述べた様に、不純物が多くクエン酸原料としては使用できない。本調査では、ザンビア産の消石灰（Ndola Lime、 $Ca(OH)_2$ 含量：95 %、 MgO ：0.8 %、鉄：0.07 %、 SiO_2 ：0.39 %）を使用するものとするが、より良好な品質のものを使用することが望ましい。

(4) 活性炭

クエン酸の脱色工程に使用される活性炭には、クエン酸によって溶出される不純物の含有量が少ないことが要求される。ジンバブエでは砂糖工業用に骨炭が生産されているが、骨炭は灰分が多く上記の要件を満たさないため、使用できない。プラントの操業時には、脱色性能が高く、不純物の少ない活性炭を選択すべきである。クエン酸の精製用に使用可能な活性炭の一例として、南アフリカ共和国製の活性炭（商標名 Kopcarb P7-45A）の品質を表 12-3 に示す。

Table 12-3 Quality of Activated Carbon

Color & Form	Black Powder
Water Content, %	1 ~ 2
Ash, %	2 ~ 3
Iodine Number, mg/g	more than 700
Methylene Blue Number, mg/g	more than 120
Phenol Number AWWA	not more than 2.5
Particle Size(smaller than 45 μ), %	more than 80
Bulk Density, g/l	320 ~ 370

(5) ろ過助材

ろ過助材は適当な品質のものを輸入することになる。一例として日本のろ過助材の品質を表 12-4 に示す。

Table 12-4 Quality of Filter Aid

Color & Form	White or Light-yellow Powder	
pH	6.5 ~ 7.5	
Water Content, %	less than 3	
Water Solubility, %	less than 0.5	
Bulk Density(non-dense), ml/g	more than 5	
(dense) , ml/g	more than 3.3	
Chemical Composition, %	Particle Size Distribution, %	
SiO ₂ 90	~ 50 μ	10
Al ₂ O ₃ 7	50 ~ 40 μ	4
Fe ₂ O ₃ 1	40 ~ 30 μ	6
CaO 0.9	30 ~ 20 μ	14
MgO 0.8	20 ~ 10 μ	41
	10 ~ 5 μ	20
	5 μ ~	5

(6) 酵素アミラーゼ

コーンスターチの液化に使用するアミラーゼはジンバブエでは生産されていないので、外国から輸入する。

(7) 栄養源

発酵の際の栄養源として、硝酸アンモニウム、リン酸一カリウムおよび数種類の微量成分

(亜鉛、銅、マグネシウム等)が必要である。この内、硝酸アンモニウムはジンバブエにて製造されているものを使用する。他は適当な品質のものを輸入することになる。

12-3-5 原料原単位

物質収支計算は発酵収率を82%、精製収率を90%とし、全体収率を73.8%として行った。原料コーンスターチ(ブドウ糖換算)から発酵クエン酸にいたる発酵収率82%は、発酵試験結果に基づく数値である。発酵クエン酸から製品クエン酸にいたる精製収率は、日本のプラントの実績値に基づく数値である。表12-5に原料原単位をまとめる。

Table 12-5 Unit Consumption of Raw Materials

Raw Material	Unit Consumption (kgs per ton of CAM)
<< Fermentation Process >>	
Cornstarch	1,359
Ammonium Nitrate	29
Potassium Phosphate	17
Other Nutrients	3.7

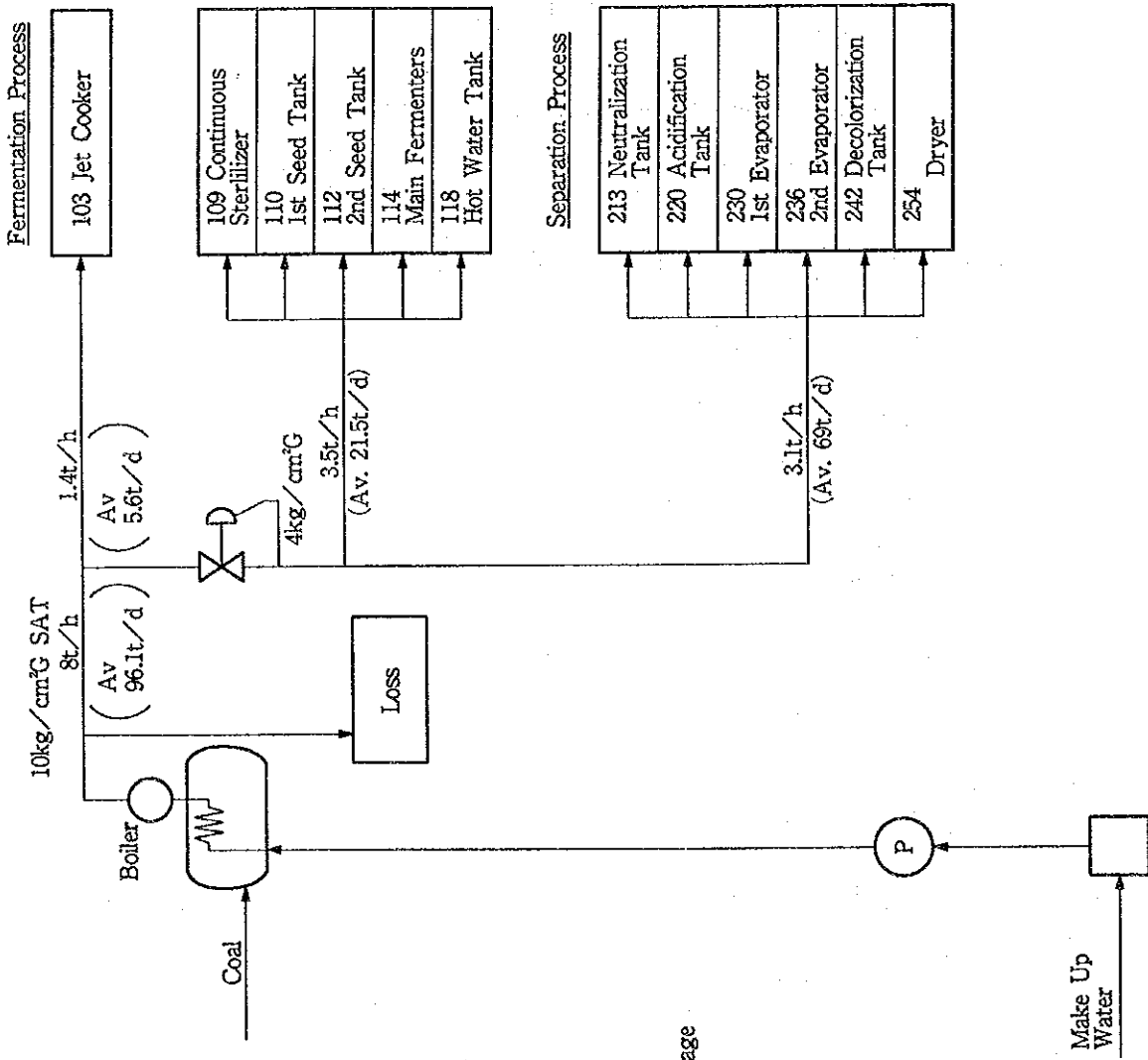
<< Separation Process >>	
Slaked Lime	750
Sulfuric Acid	1,000
Activated Carbon	10
Filter Aid	110

12-3-6 用役

(1) 蒸気

石炭焚ボイラーにより圧力10kg/cm²Gの蒸気を発生させ、高圧蒸気と減圧した低圧蒸気の2種類をプラントに供給する。高圧蒸気はコーンスターチの液化装置に使用するのみで、他の装置では何れも低圧蒸気を使用される。蒸気バランスの概要は図12-4に示すとおりである。蒸気の仕様は以下のとおりである。

- ・高圧蒸気 圧力：10kg/cm²G
温度：183℃(飽和温度)以上
- ・低圧蒸気 圧力：4kg/cm²G
温度：151℃(飽和温度)以上



Remark :
 () shows average
 steam consumption
 per day.

Figure 12-4 Maximum Steam Consumption

ボイラーの燃料にはワンキー炭等の国内炭が使用されることになる。ワンキー炭（洗浄炭）の品質例を以下に示す。

- ・固有水分： 1.0 ～ 1.5 %
- ・灰分： 11.0 ～ 14.0
- ・揮発分： 23.0 ～ 26.0 %
- ・固定炭素： 61.0 ～ 62.0 %
- ・発熱量： 29.0 ～ 31.0MJ/kg (6,928 ～ 7,406kcal/kg)
- ・イオウ： 2.0 ～ 2.5 %
- ・リン酸塩： 0.025 ～ 0.05 %
- ・灰の融点： 1,270 °C

(2) 用水

本プラントには、ハラレ近郊の McILwaine 湖を水源とする公共用水が供給される。この公共用水は年間を通じて比較的低温である。用水は貴重な資源であり、有効に利用することが望まれるので、冷却塔を設け水の循環利用を行うものとする。夏期においても冷却塔処理後の水温を 22 °C 以下に保ち得るとの現地調査結果に基づき、図 12-5 に示す水バランスを設定した。プラントへの給水圧力は 3kg / cm²G として設計を行った。表 12-6 に公共用水の品質をまとめる。

Table 12-6 Quality of Municipal Water in Harare

pH	7.8
Total Dissolved Solid, mg/ℓ	200
Total Alkali(CaCO ₃), mg/ℓ	55
Total Hardness(CaCO ₃), mg/ℓ	85.0
Free Ammonia(N), mg/ℓ	0.03
Magnesium(Mg), mg/ℓ	0.05
Manganese(Mn), mg/ℓ	0.1
Copper(Cu), mg/ℓ	0.03
Aluminium(Al), mg/ℓ	0.05
Calcium(Ca), mg/ℓ	55
Magnesium(MgO), mg/ℓ	40
Sulfate(SO ₄), mg/ℓ	55
Chloride(Cl), mg/ℓ	40
Fluoride(F), mg/ℓ	0.65
Phosphorous(P), mg/ℓ	0.01
Silica(SiO ₂), mg/ℓ	2
Iron(Fe), mg/ℓ	0.01
Conductivity, μ mho/cm	250

Source: Zimphos

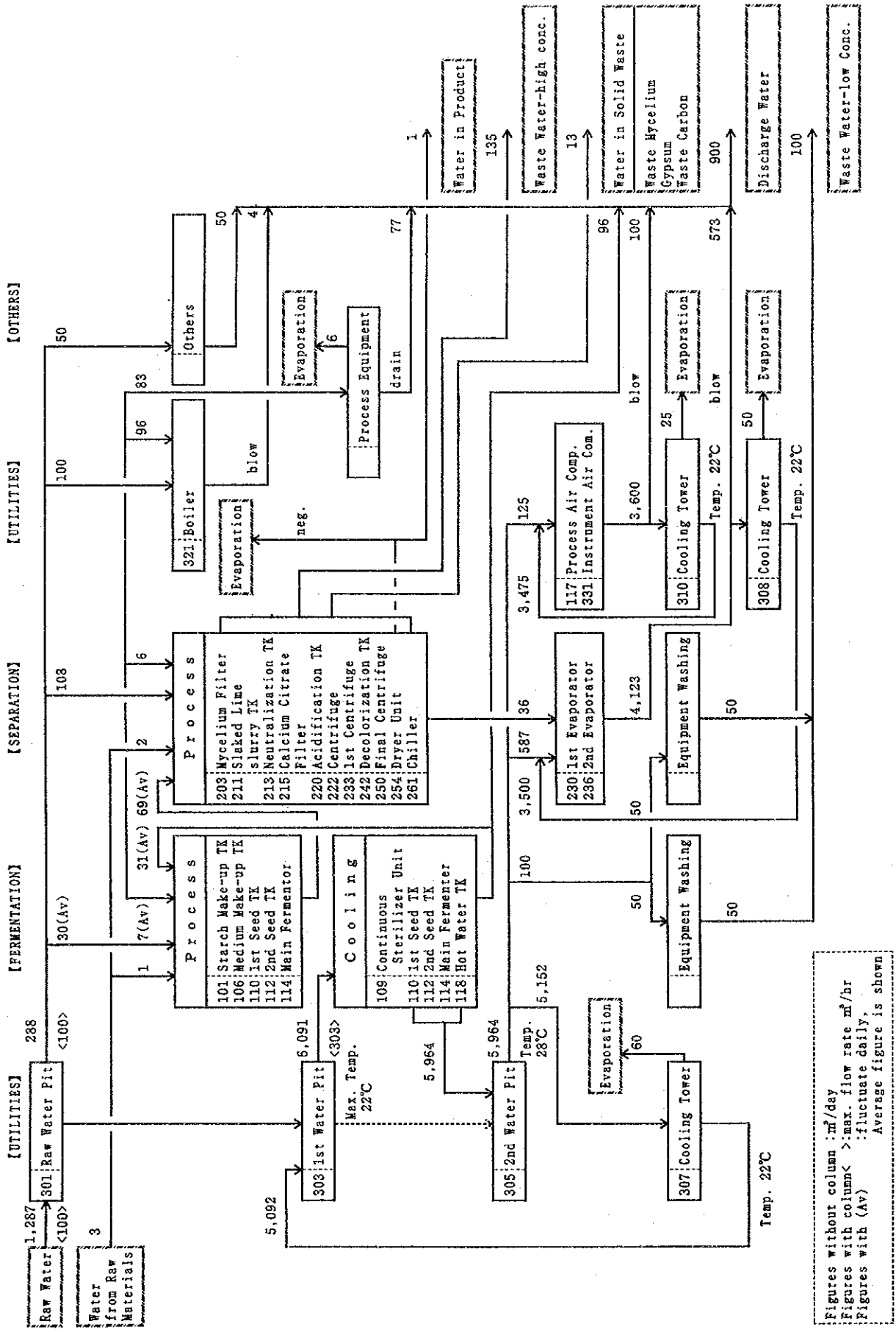


Figure 12-5 Schematic Diagram of Water Requirement

(3) 電気

クエン酸の発酵工程においては、強力な攪拌動力と圧縮空気用のコンプレッサーを使用する。たとえ短時間であっても、停電が発生すると発酵工程中の菌が変質し、クエン酸の生産が低下するので、電力が安定して供給されることが要求される。また、精製工程でのクエン酸スラリーを常に攪拌状態に維持することが、クエン酸の安定生産と機器保全の両面から必要である。この面からも、電気の安定供給は重要である。本プラントの電気系統図を図 12-6 に示す。電気の仕様は以下のとおりである。

- ・受電 : 交流 6,000V、50Hz、3 相
- ・主発酵槽攪拌機およびプロセス空気圧縮機 : 交流 6,000V、50Hz、3 相
- ・その他動力モーター : 交流 380V、50Hz、3 相
- ・照明用 : 交流 200V、50Hz、単相
- ・計装用 : 交流 200V、50Hz、単相

(4) 用役原単位

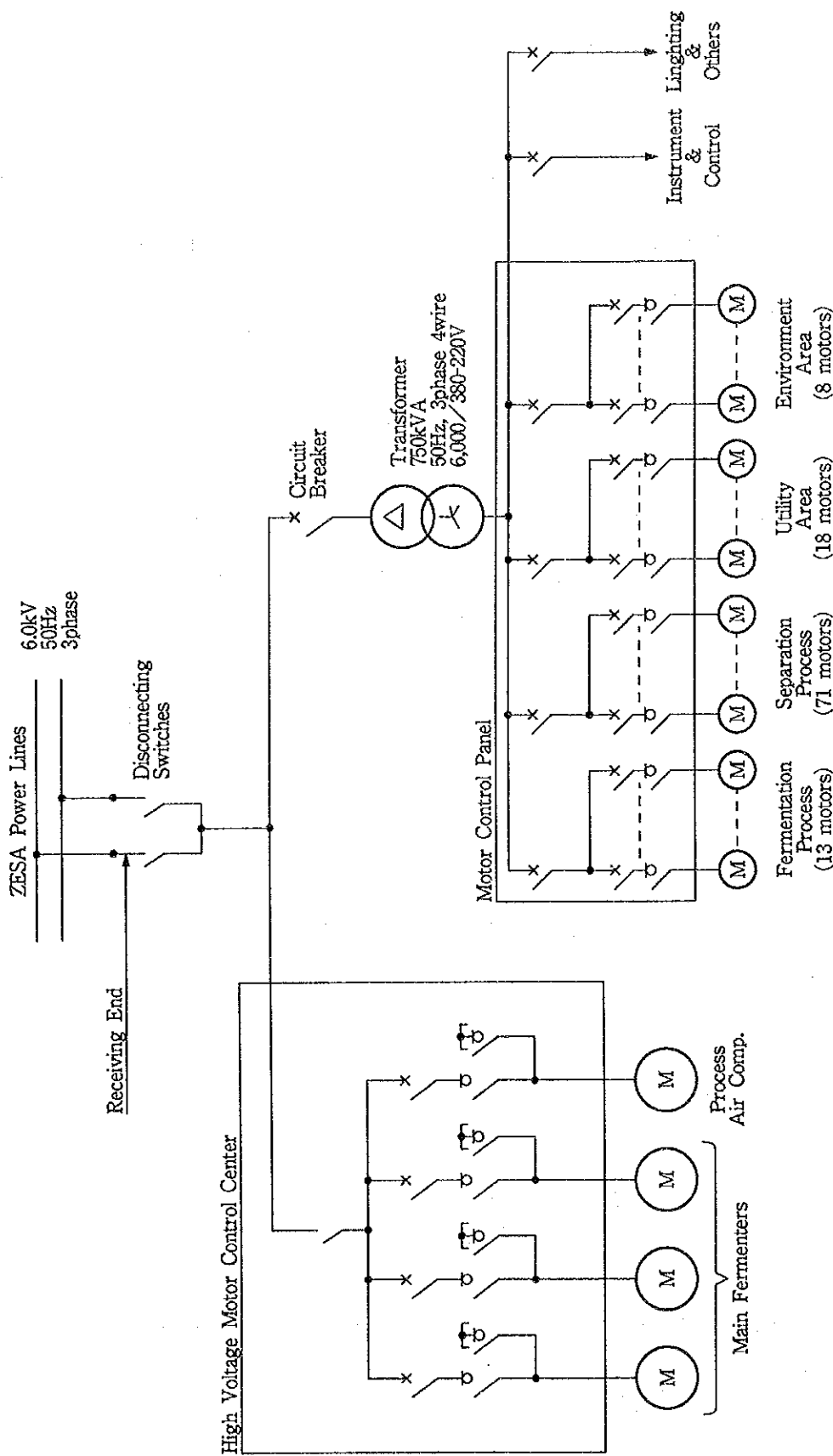
クエン酸一水和物を 1 トン製造するのに必要な用役の量は、石炭（蒸気発生用）：1.2 トン、水：145m³、電気：4,000kWh である。

12-3-7 廃液、廃棄物

クエン酸製造プロセスから排出される廃液、廃棄物の種類と量を表 12-7 に示す（廃液・廃棄物については、図 12-1、12-2 にも明記してあるので両図を参照のこと）。これらの廃液・廃棄物は第 10 章「環境対策」に示した方法により処理される。

Table 12-7 Waste Water and Solids from the Citric Acid Plant

	Volume		Remarks
	per ton CAM	per year	
Waste Water, m ³			
High Concentration	15	45,000	BOD 10,000mg/ℓ
Low Concentration	11.1	33,300	BOD 500mg/ℓ
Waste Solids, tons			
Waste Mycelium	1.0	3,000	
Gypsum	1.86	5,580	
Waste Carbon	0.057	171	
Discharge Water, m ³	100	300,000	BOD less than 15mg/ℓ



	Fermentation Process	Separation Process	Utility	Environment	Instrument/Lighting	Total
Estimated Installed Capacity	1,430kW	300kW	390kW	160kW	50kW	2,300kW
Estimated Demand	1,000kW	115kW	300kW	80kW	10kW	1,500kW

Figure 12-6 Electrical Schematic Diagram (Conceptual)

12-4 プロットプラン

12-4-1 工場敷地

本調査では、工場の敷地を 150 m × 210 m 程度の長方形とし、事務所、生産・用役施設および環境対策施設に区分けする。配置上の留意点を以下にまとめる。

- (1) 事務所を守衛門の近くに配置し、部外者を生産施設、環境対策施設に近づけないようにする。
- (2) 工場の保安管理が容易なように、工場への出入口を一個所とする。出入口の幅は、原料の搬入、製品の出荷の際に、人・トラック等による混雑を避けるために、15 m 程度に大きくする。
- (3) 事務所の奥に生産・用役施設を設け、環境対策施設は目的と利用度を考慮し区分けする。

以上の留意点を考慮し、作成した工場の配置図を図 12-7 に示す。

12-4-2 プロットプラン

工場の生産工程、各種施設および空地の所要面積を以下に示す。

- (1) 工場敷地面積：27,250 m²（厚生施設を含まず）
- (2) 生産工程
 - 発酵工程：1,325 m²（原料倉庫 294 m²を含む）
 - 精製工程：2,550 m²（製品倉庫 294 m²を含む）
 - ボイラー：646 m²
- (3) 環境対策施設：3,456 m²
- (4) その他の施設
 - 作業室：361 m²
 - 事務所：456 m²
 - 守衛所：20 m²
 - 用水施設：1,075 m²
 - 受電施設：361 m²
- (5) 駐車場：600 m²
- (6) 道路：9,600 m²
- (7) 空地、緑地：6,800 m²

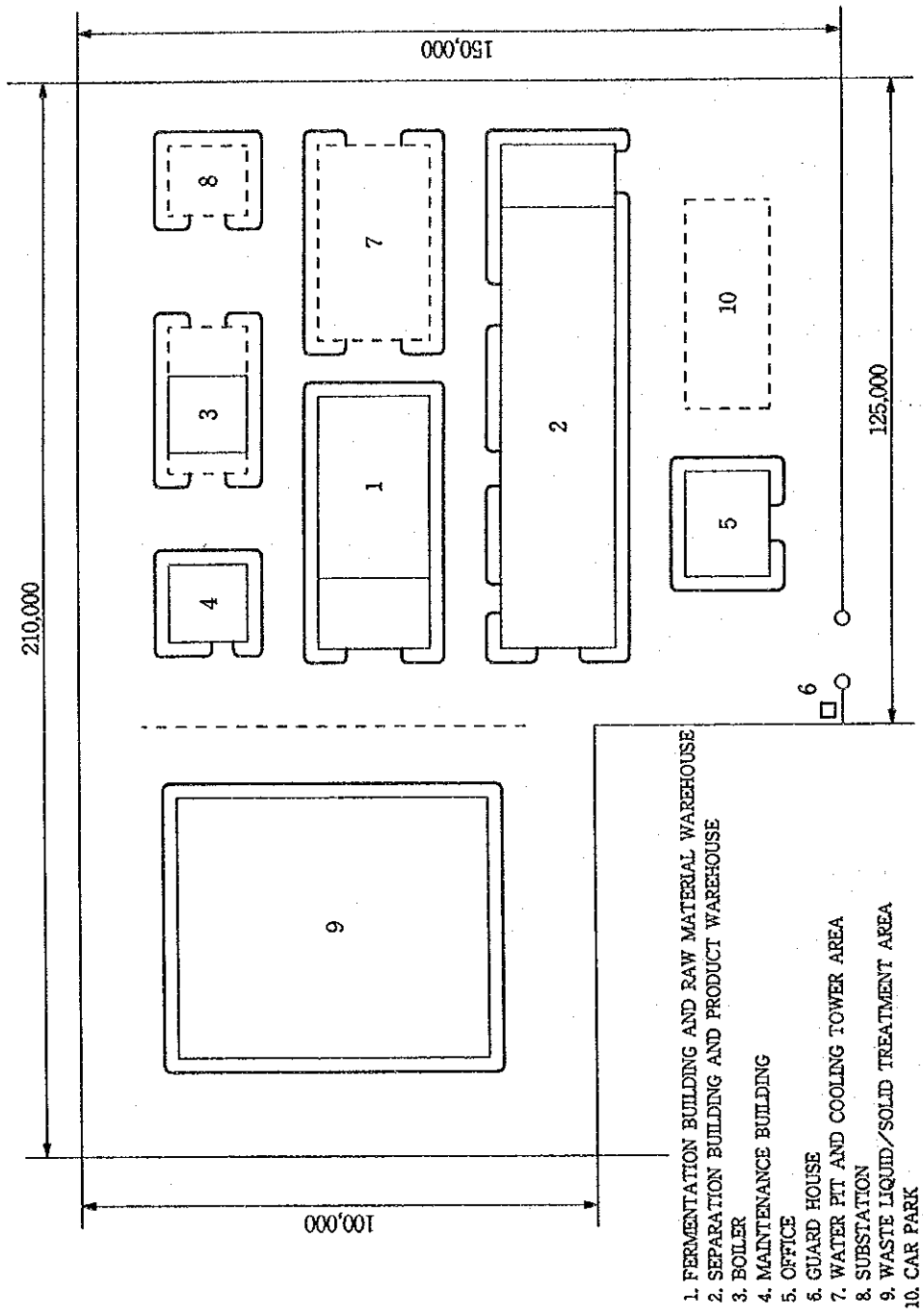


Figure 12-7 General Plot Plan

12-4-3 機器配置

クエン酸生産の主プロセスは発酵工程と精製工程からなる。両工程の機器配置の概要を図12-8に示す。同図に明記した機器番号は後述（第13章）する機器リストに対応している。

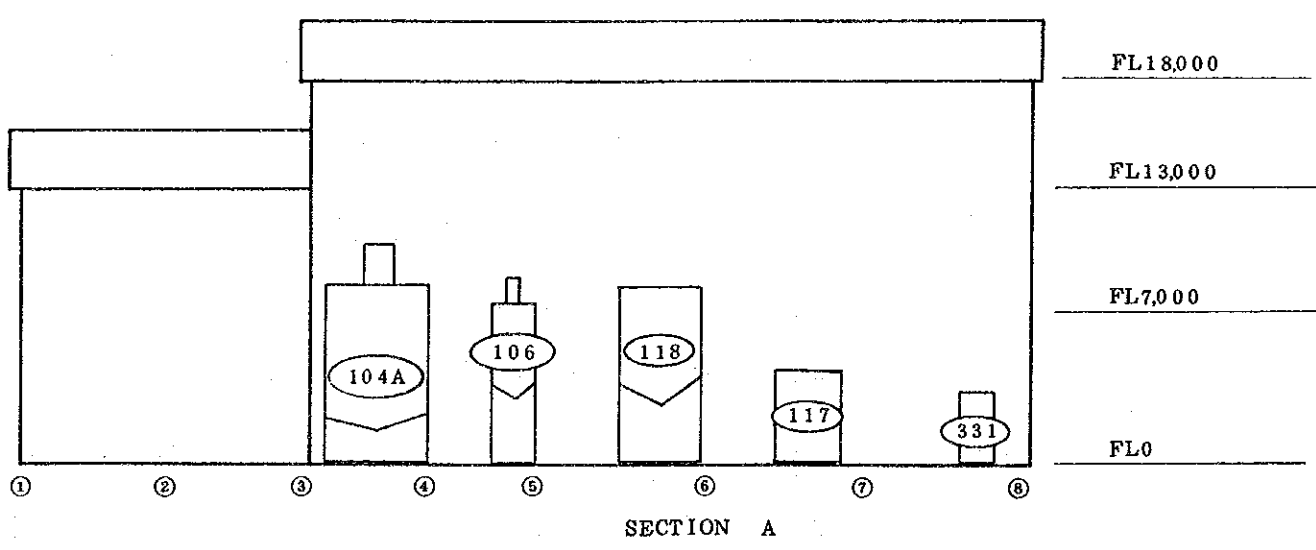
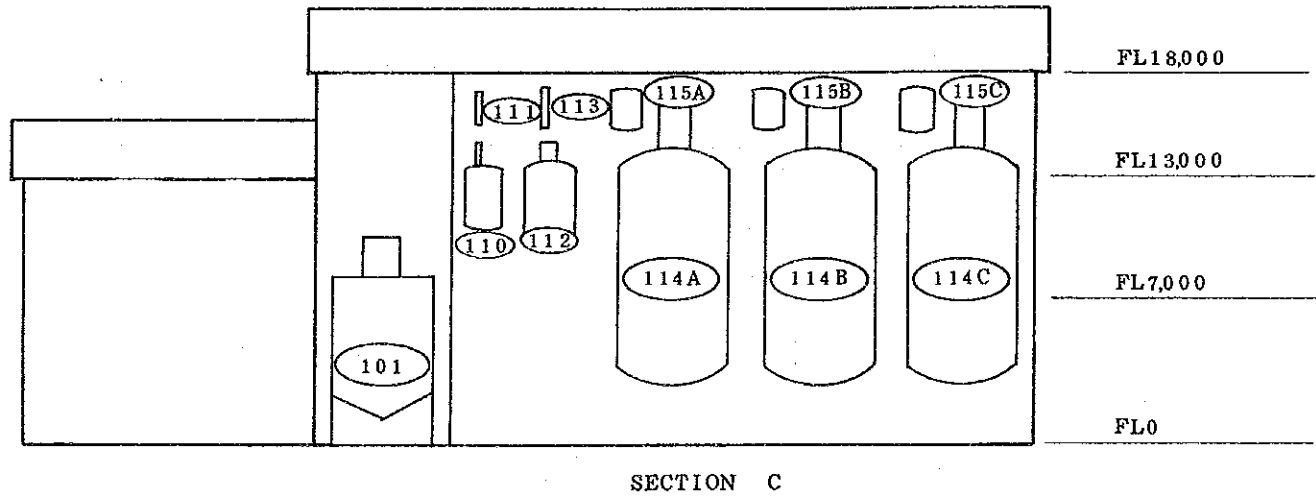
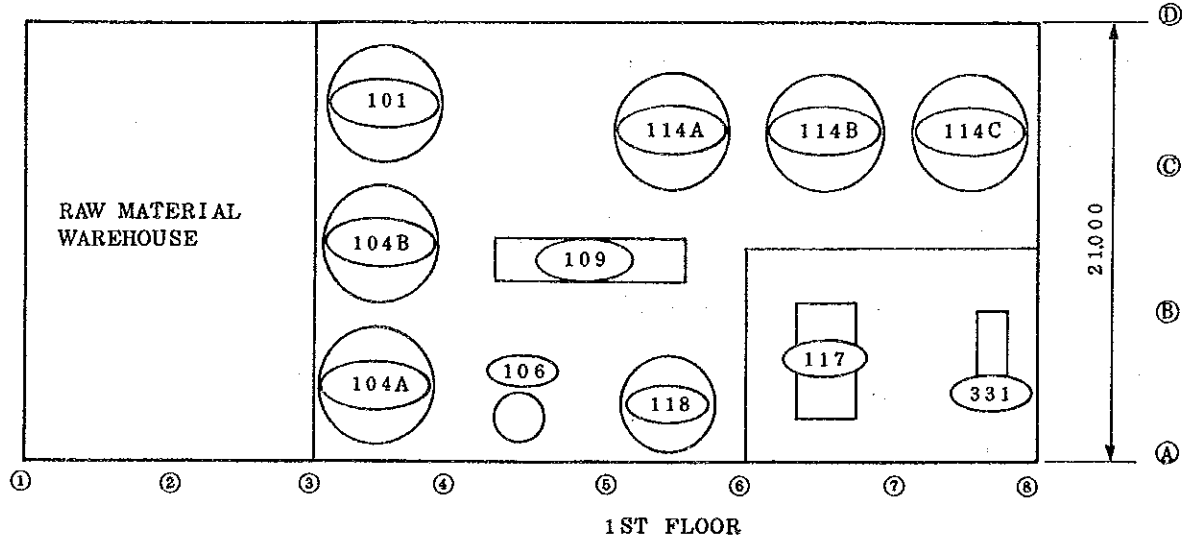
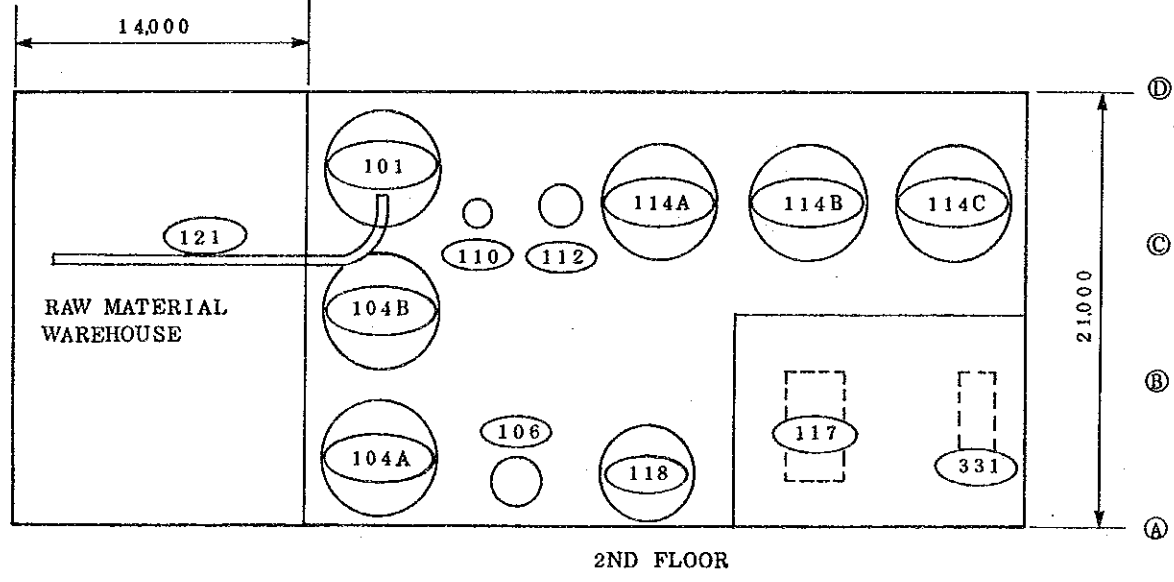
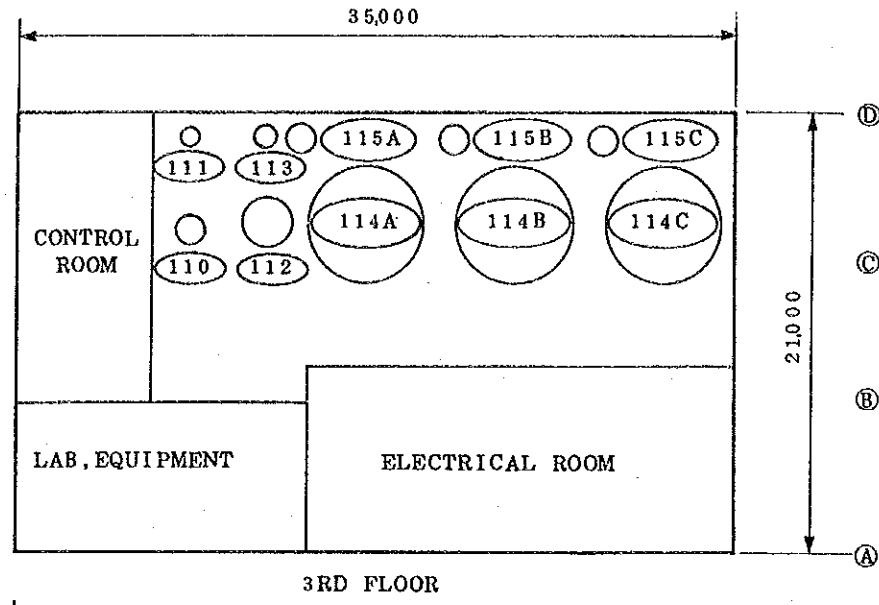


Figure 12-8-1 Equipment Layout, Fermentation Process

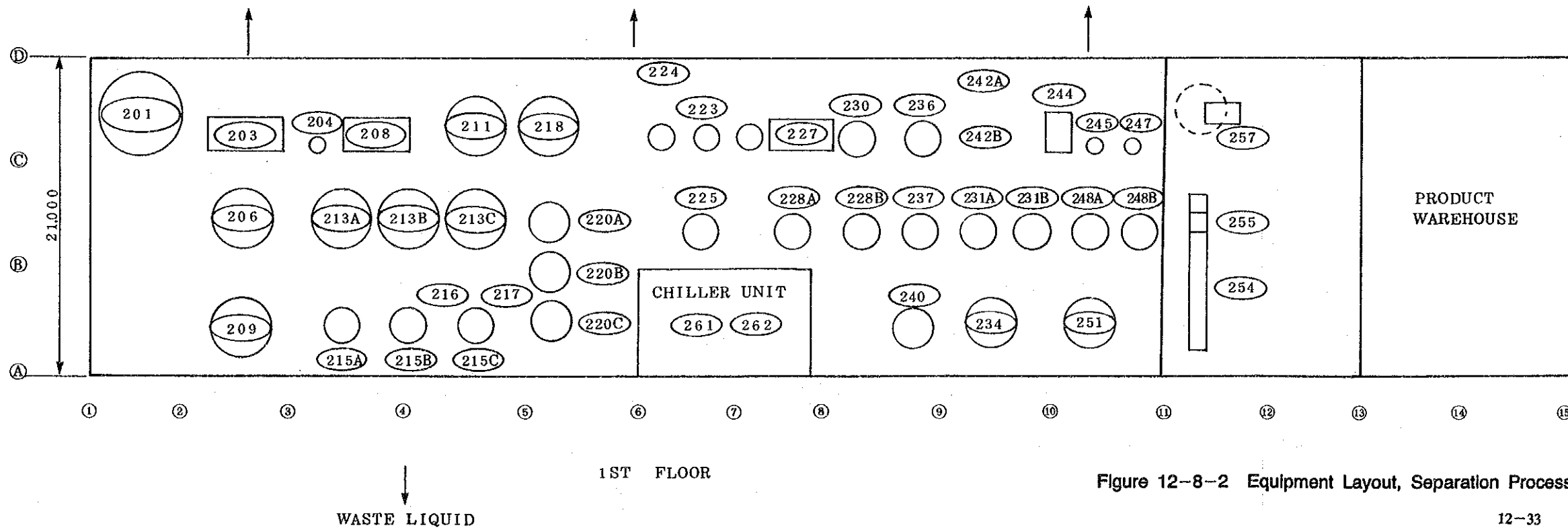
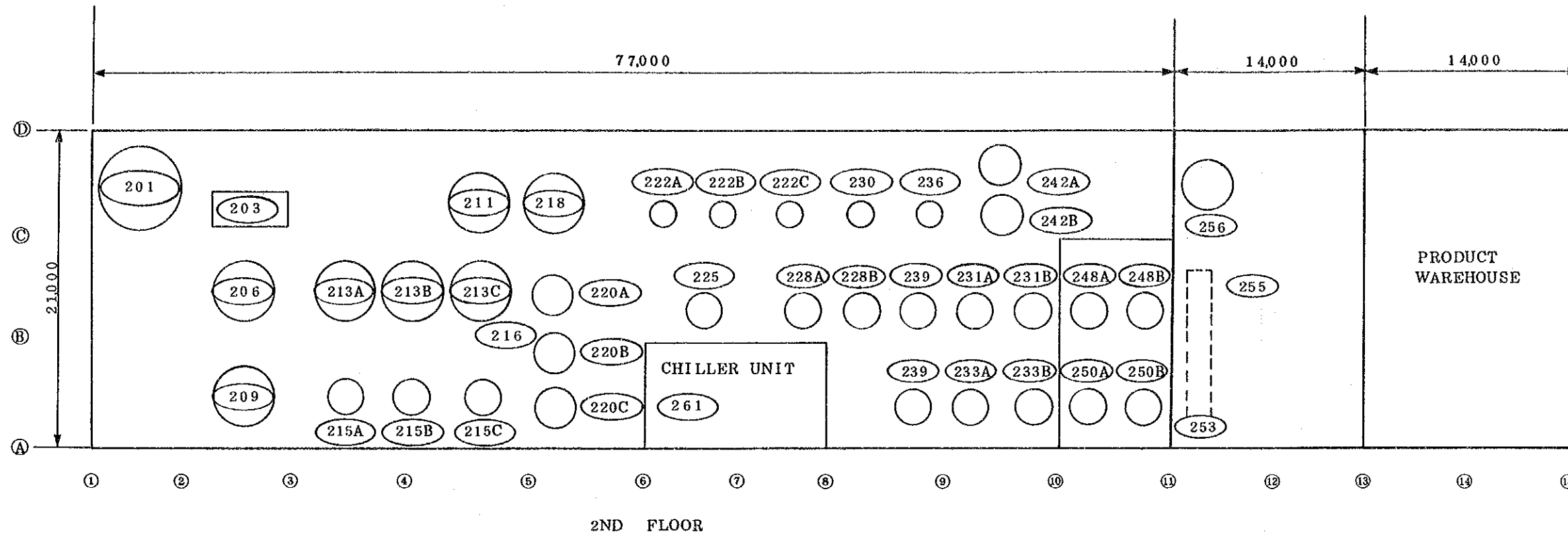


Figure 12-8-2 Equipment Layout, Separation Process (1/2)

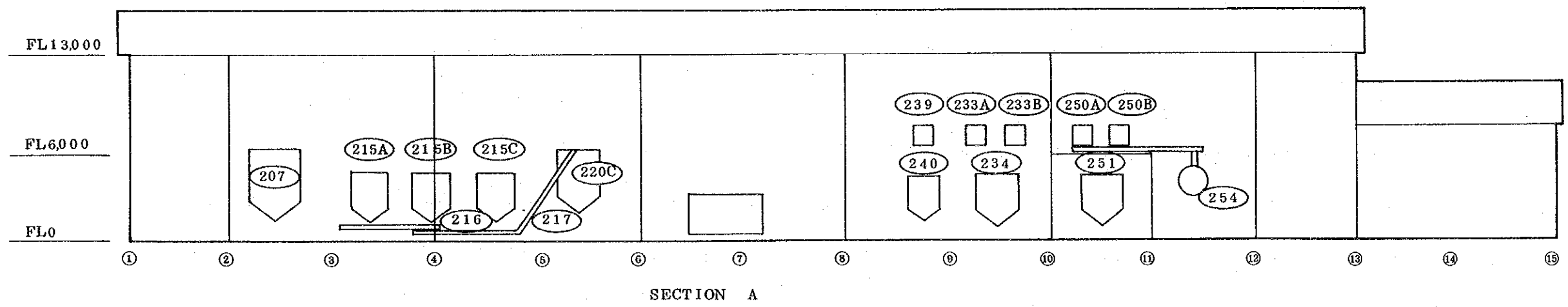
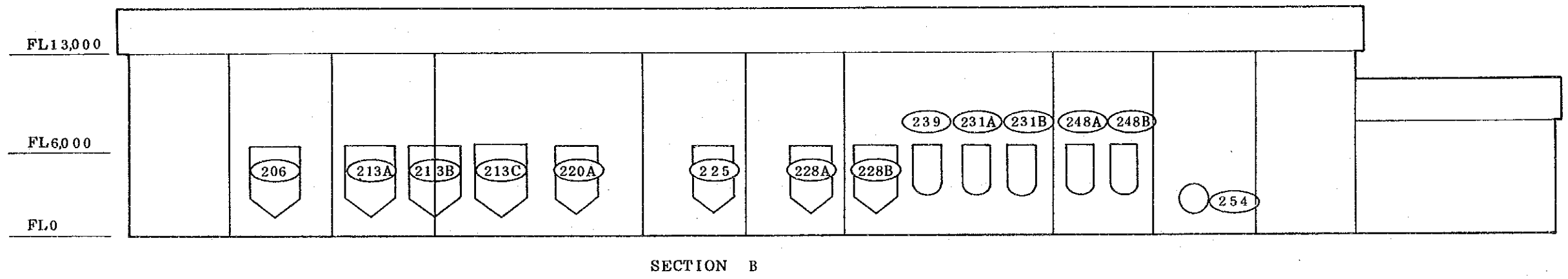
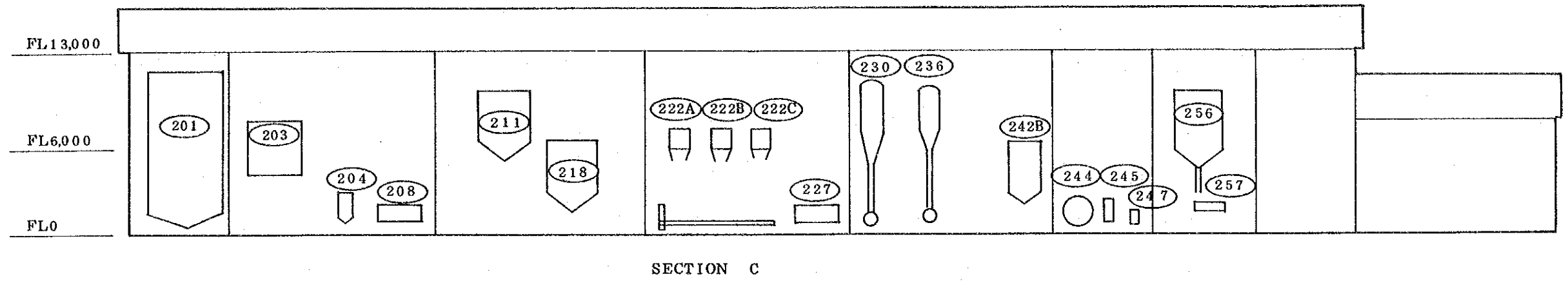


Figure 12-8-3 Equipment Layout, Separation Process (2/2)

12-5 プラント設備

クエン酸製造設備を工程別に4つのエリアに分けた。分類したエリアは以下の通りである。

- | | |
|------------|---------|
| (1) 発酵工程設備 | エリア 100 |
| (2) 精製工程設備 | エリア 200 |
| (3) 用役工程設備 | エリア 300 |
| (4) 環境対策設備 | エリア 400 |

上記の他に試験室設備がある。試験室設備の内訳は、クエン酸発酵に使用する菌株の試験管からフラスコまでの増殖に必要な機器と、製造工程および原料・製品分析に必要な機器である。

12-5-1 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に使用する機器と、微生物の生化学的作用を応用したクエン酸発酵に必要な機器を備え、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。3種類の異なるサイズの発酵タンクは、試験室で純粋に増殖した菌を順次発酵させるもので、無菌的に操作するため培地の殺菌、空気の除菌などの設備を必要とする。クエン酸発酵は発熱を伴うため、発酵タンクは冷却可能な構造となっている。

(2) 精製工程設備

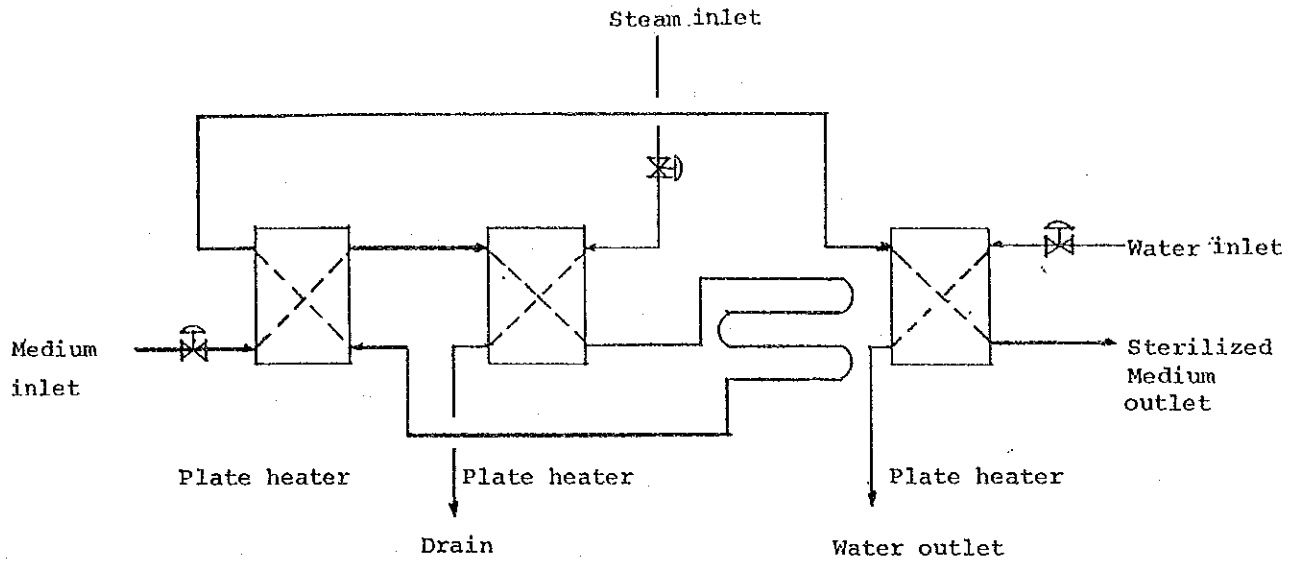
本工程は、クエン酸を高純度、高収率で単離精製するために、菌体ろ過、晶析、分離、濃縮、溶解、脱色、ろ過、乾燥、移送、充填などのできる機器を備えている。

発酵プロセス中の遊離クエン酸に消石灰を加えることにより溶解度の低いクエン酸カルシウムを析出させ、分離することにより不純物を母液側に残し、クエン酸の純度を向上させる方法は、他の製造品目の精製とは異なる特異な点である。ただし、精製工程で使用される設備の多くは、他の類似製造品の精製工程で広く使用されている機器である。

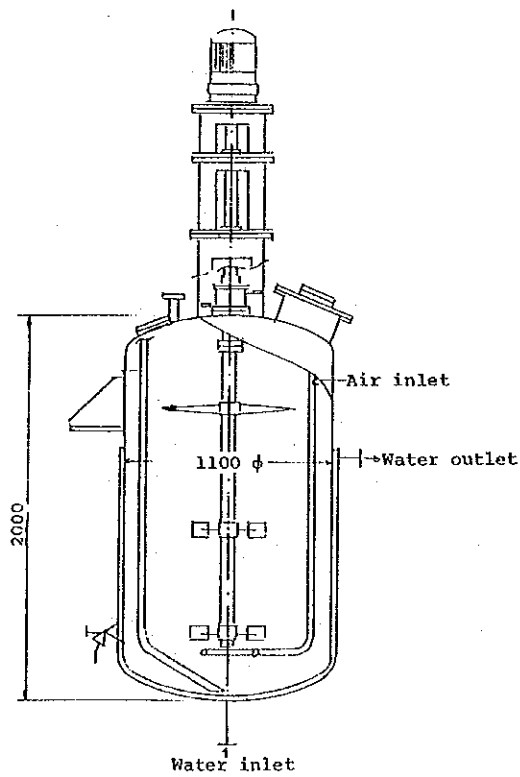
12-5-2 主要機器概略図

本プラントでは、特殊な機器を使用するので、以下の機器について概略図を示す。

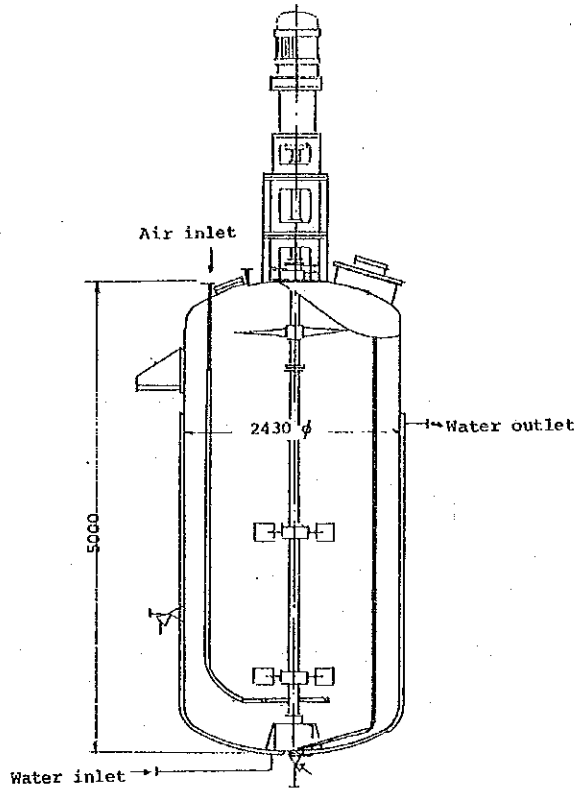
- (1) 連続蒸煮装置 (Continuous Sterilization Unit)
- (2) 一次種母タンク (First Seed Tank)
- (3) 二次種母タンク (Second Seed Tank)
- (4) 主発酵槽 (Main Fermenter)
- (5) 一次種母タンク用エアフィルター (First Air Filter)
- (6) 二次種母タンク用エアフィルター (Second Air Filter)
- (7) 主発酵槽用エアフィルター (Main Air Filter)
- (8) 発酵液受け入れタンク (Broth Tank)
- (9) 菌体ろ過機 (Mycelium Filter)
- (10) フィルタープレス (Filter Press)
- (11) 廃活性炭ろ過機 (Carbon Filter)
- (12) ポリッシュフィルター (Polish Filter)
- (13) クエン酸カルシウムろ過機 (Calcium Citrate Filter)
- (14) 遠心分離機 (Centrifuge)
- (15) 濃縮装置 (Evaporator)
- (16) 晶析機 (Crystalizer)
- (17) 母液タンク (Mother Liquor Tank)
- (18) 乾燥機 (Dryer Unit)
- (19) シフター (Sifter)



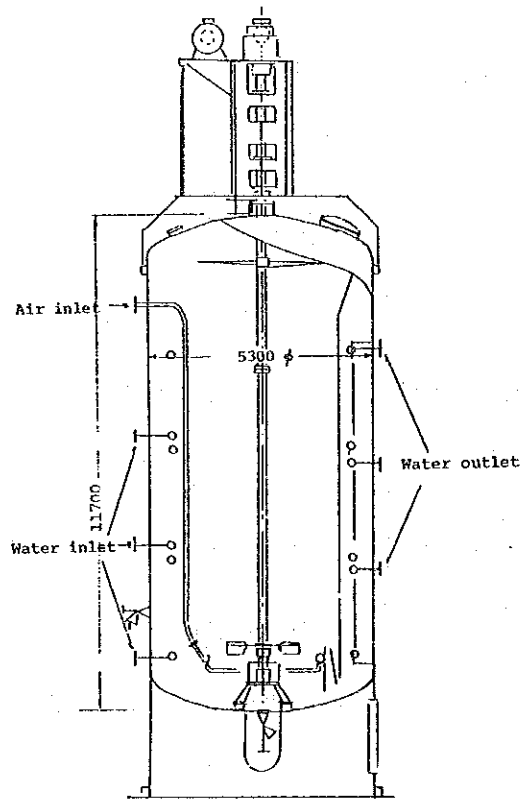
CONTINUOUS STERILIZER UNIT(EQUIP. NO. 109)



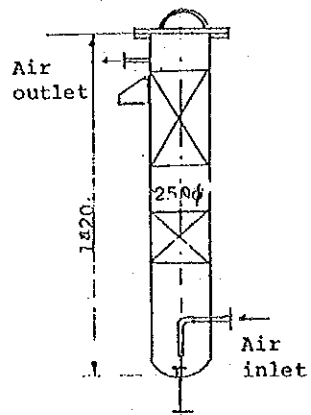
1ST SEED TANK(EQUIP. NO. 110)



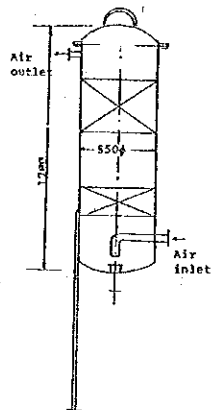
2ND SEED TANK(EQUIP. NO. 112)



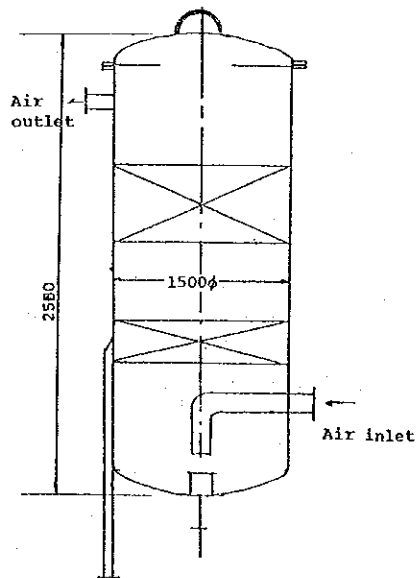
MAIN FERMENTER(EQUIP. NO. 114)



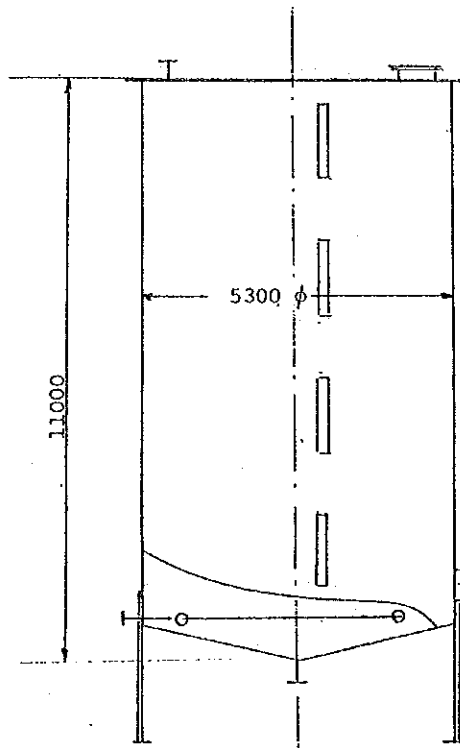
1ST AIR FILTER(EQUIP. NO. 111)



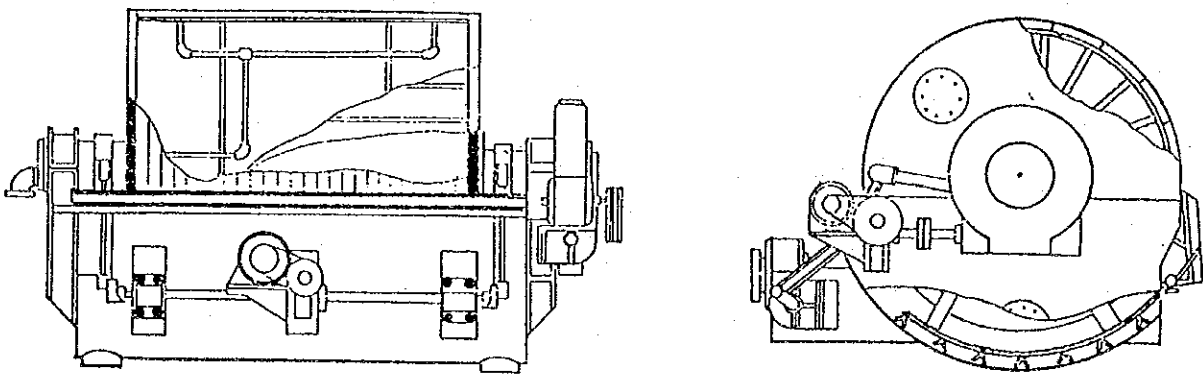
2ND AIR FILTER(EQUIP. NO. 113)



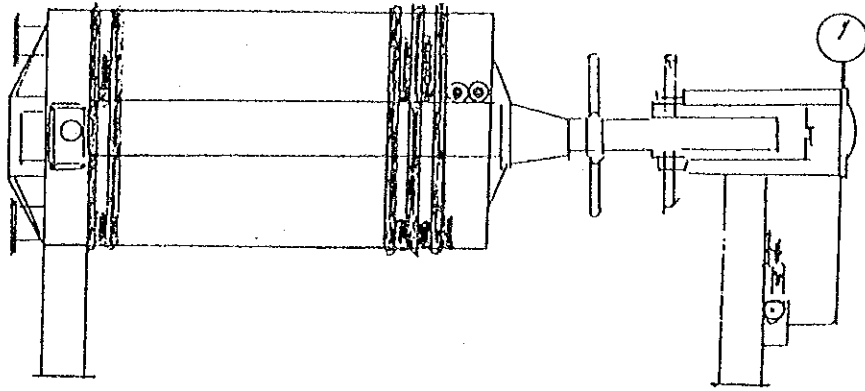
MAIN AIR FILTER(EQUIP. NO. 115)



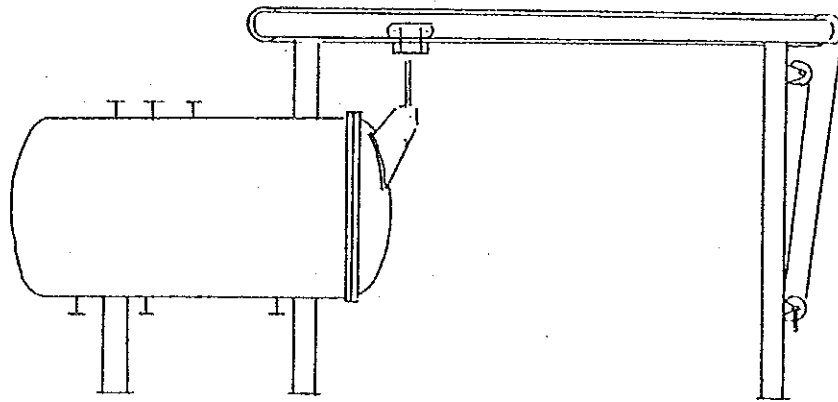
BROTH TANK(EQUIP. NO. 201)



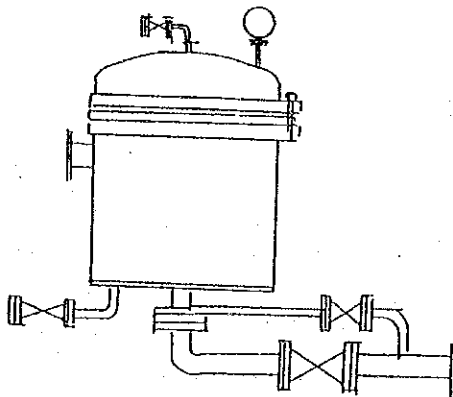
MYCELIUM FILTER(EQUIP. NO. 203)



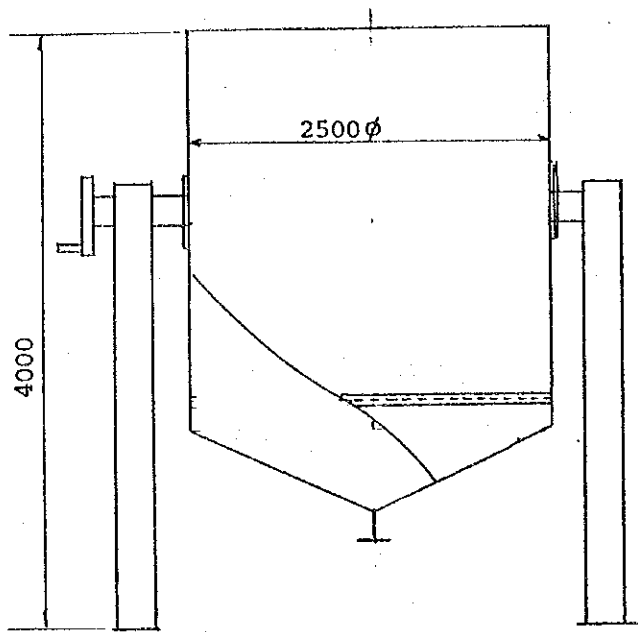
FILTER PRESS(EQUIP. NO. 208,227)



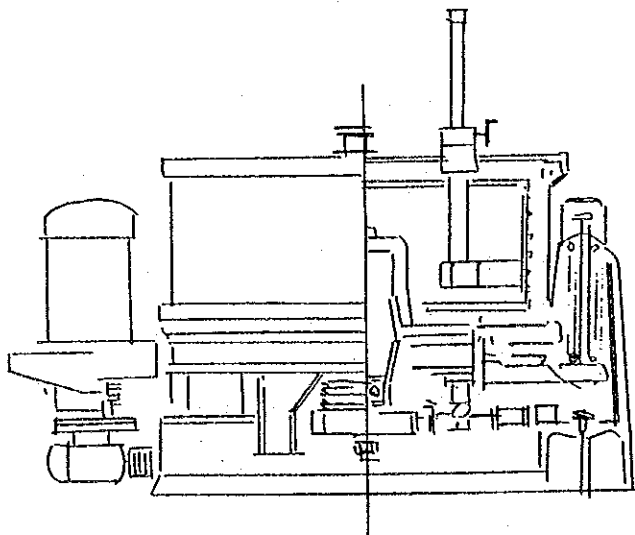
CARBON FILTER(EQUIP. NO. 244)



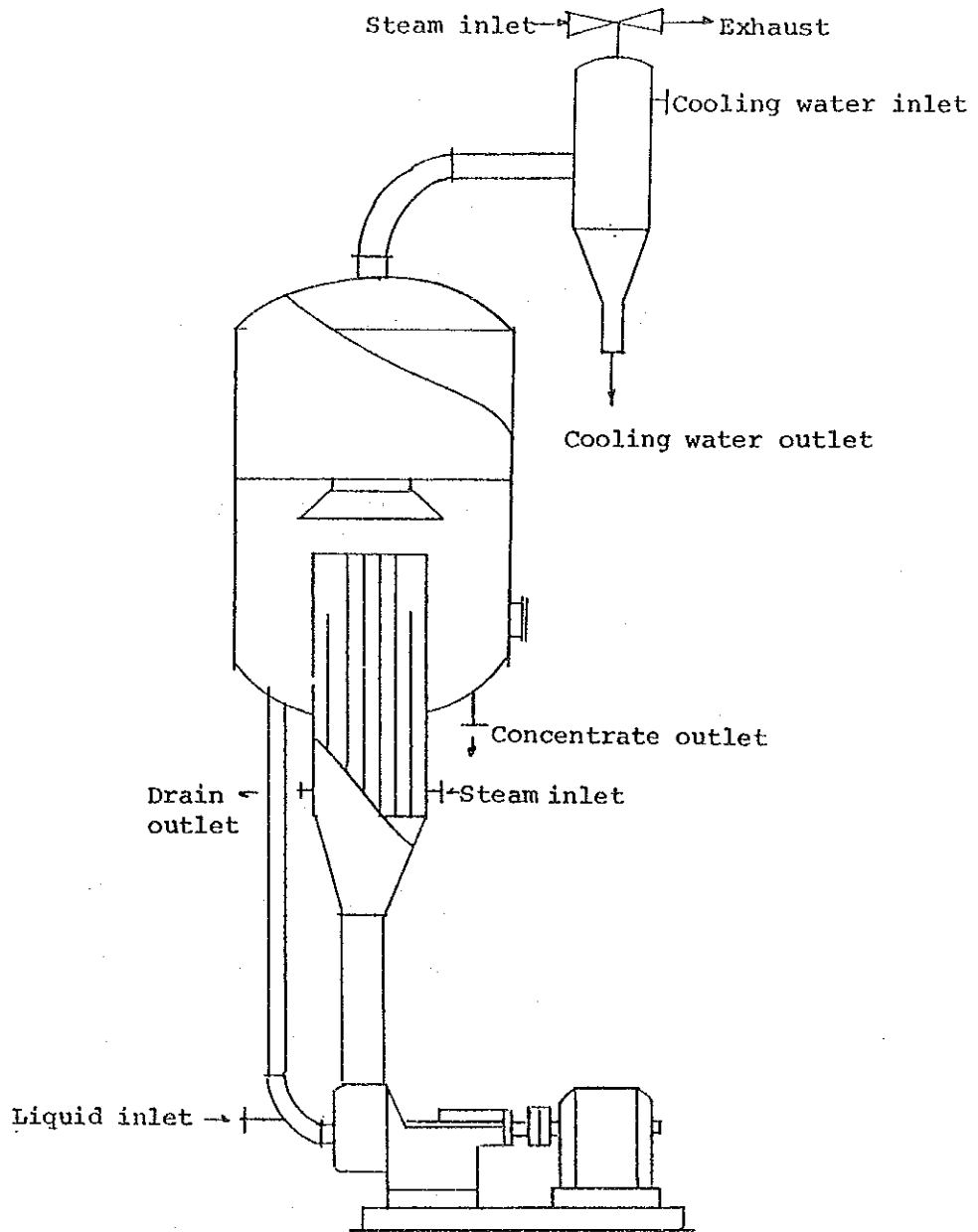
POLISH FILTER(EQUIP. NO. 247)



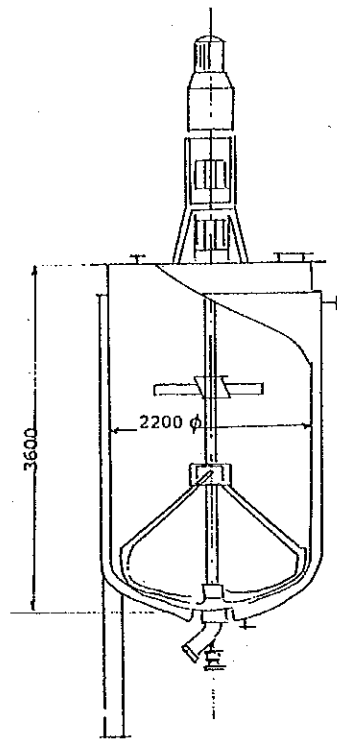
CALCIUM CITRATE FILTER(EQUIP. NO. 215)



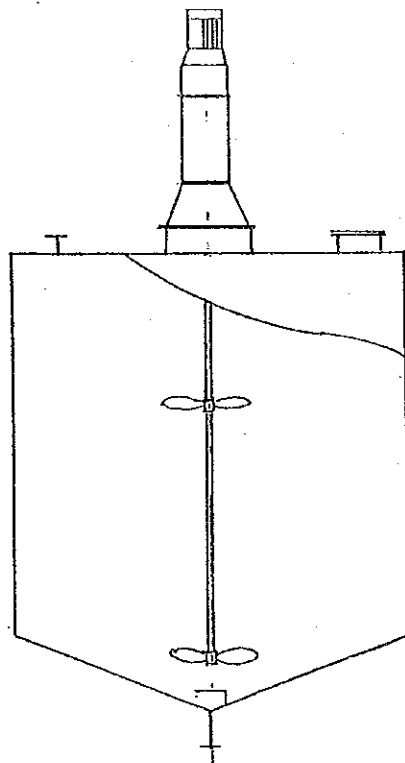
CENTRIFUGE(EQUIP. NOS. 222,233,239,250)



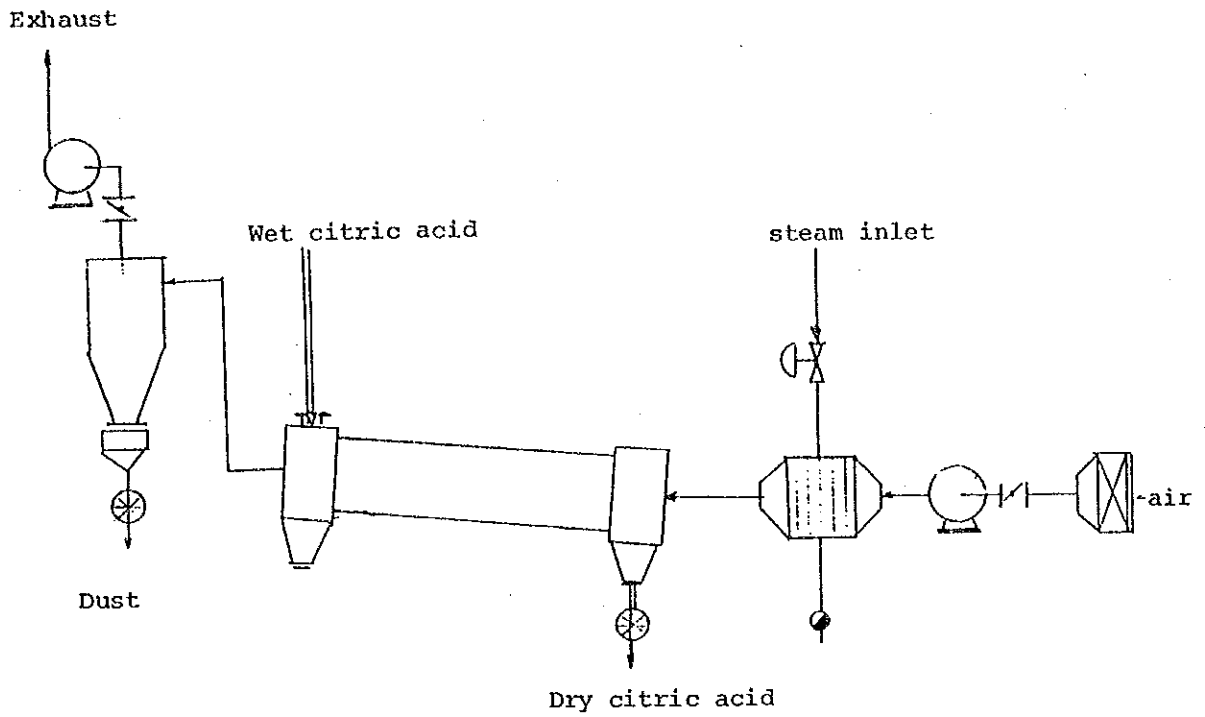
EVAPORATOR(EQUIP. NOS. 230,236)



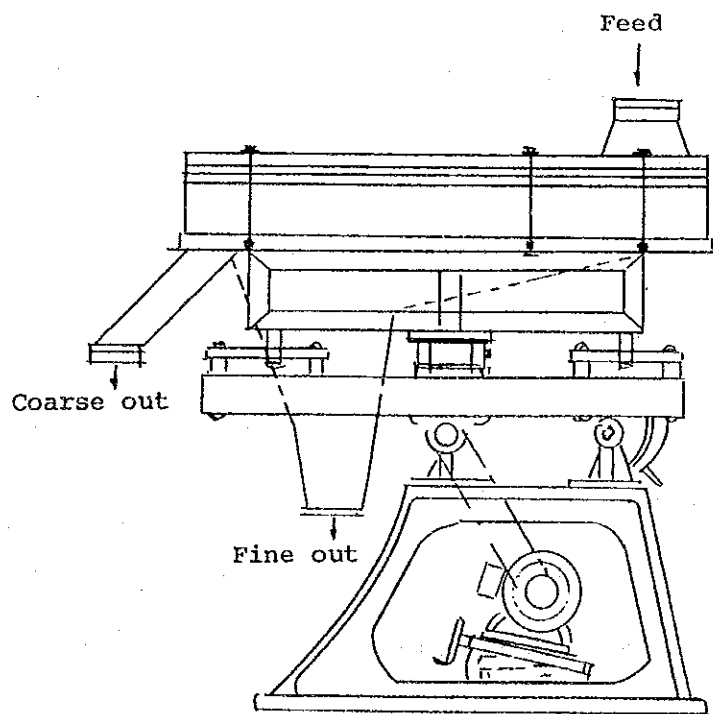
CRYSTALLIZER(EQUIP. NOS. 231,237,248)



MOTHER LIQUOR TANK(EQUIP. NOS. 234,240,251)



DRYER UNIT(EQUIP. NO. 254)



SIFTER(EQUIP. NO. 257)

12-6 建物、土木建築の概要

発酵工程、精製工程の建物は7m×7mのスペンを基本とする。各建物、土木建築の概要を以下に示す。

(1) 発酵工程および原料倉庫

構造	鉄筋コンクリート造 3階建
主要部仕上	壁 レンガ
	床 鉄筋コンクリート(1階)、チェッカープレート(2、3階)
	屋根 デッキプレート
面積	建築面積 $21 \times 49 = 1,029 \text{ m}^2$
	延床面積 $2,499 \text{ m}^2$

(2) 精製工程および製品倉庫

構造	鉄筋コンクリート造 2階建
主要部仕上	壁 レンガ
	床 鉄筋コンクリート(1階)、チェッカープレート(2、3階)
	屋根 デッキプレート
面積	建築面積 $21 \times 98 = 2,058 \text{ m}^2$
	延床面積 $3,822 \text{ m}^2$

(3) ボイラー室

構造	鉄筋コンクリート造
主要部仕上	壁 レンガ
	床 鉄筋コンクリート
	屋根 デッキプレート
面積	建築面積 $15 \times 15 = 225 \text{ m}^2$

(4) 作業室

構造	鉄筋コンクリート造 平屋
主要部仕上	壁 レンガ
	床 鉄筋コンクリート
	屋根 デッキプレート
面積	建築面積 $15 \times 15 = 225 \text{ m}^2$

(5) 事務所

構造	鉄筋コンクリート造 平屋
主要部仕上	壁 レンガ
	床 鉄筋コンクリート/ビニールタイル仕上
	屋根 デッキプレート
	天井 ベニヤ合板
面積	建築面積 $20 \times 15 = 300 \text{ m}^2$

(6) 守衛所

構造	鉄筋コンクリート造 平屋
主要部仕上	壁 レンガ
	床 鉄筋コンクリート
	屋根 デッキプレート
面積	建築面積 $4 \times 5 = 20 \text{ m}^2$

(7) パイプラック

構造	鋼材/コンクリート基礎
ラック高さ	5m
ラック巾	1m
全長	約 500m

(8) 道路

道路巾	8m
仕上道路	砂利 150mm \times 2層 + プレミックス 30mm
道路全長	約 1,200m

(9) 排水溝

構造	コンクリートダクト埋設
埋設管サイズ	500 ~ 300mm
全長	約 1,200m

(10) フェンス

構造	鉄ワイヤー
フェンス高さ	2m
全長	720m

第 13 章 建設工事および建設コスト

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

ジンバブエ国内の建築・土木関連会社は十分な工事実績を持ち、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

13-2-1 機器、資材の調達

(1) 機器の概要

本プラントに必要な機器の仕様および国産・輸入品の区分を、表13-2「機器リスト」に示す。本調査では、クエン酸製造プロセスを以下の4エリアに区分した。

- ・エリア100：発酵工程
- ・エリア200：精製工程
- ・エリア300：用役工程
- ・エリア400：環境対策工程

エリア200、300および400の機器は、通常の化学プロセスに多用されており、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。

一方、発酵工程（エリア100）は、微生物の生化学的作用を応用したプロセスで、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。発酵槽、エアフィルター、連続殺菌ユニット等の発酵工程の機器は、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。

(2) 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。以下に、個々の機器・

資材の調達方法をまとめる。

(a) 鋼材

ジンバブエは、一部の特殊仕様材（厚鋼板、大型型鋼、継目なし鋼管等）を除き、普通鋼材の生産を行っている。しかし、発酵プロセスで多用されるステンレス鋼材は、ジンバブエでは生産されておらず、南アフリカ共和国等から輸入されている。ジンバブエのステンレス加工業者は、南アフリカ共和国製のステンレス鋼材の品質に満足しておらず、ヨーロッパ、日本等から良質の鋼材を輸入する事を希望している。しかし、外貨割当の制約等から、ヨーロッパ、日本等からのステンレス鋼材の輸入は、ほとんど行われていない。

本プラントの建設に際しては、高品質のステンレス鋼製の部品が不可欠である。従って、ステンレス鋼製の部品の大部分を輸入する必要がある。

(b) セメントおよびコンクリート

プロセス用水の貯水槽、廃水処理設備の各種槽等は鉄筋コンクリートにて製作される。セメントはジンバブエにて生産されているが、供給が常に不足している。本プラントの建設工事に際してもセメントの不足から工事に支障をきたすことが懸念される。本調査においては、国産のセメントを使用するものとするが、事前に十分な量のセメントを確保しておく必要がある。

(c) ポンプ類

本プロセスでは、液体およびスラリーの搬送用ポンプが必要である。ジンバブエにおいては普通鋼製およびステンレス鋼製（インペラーは輸入）の遠心ポンプの生産が行われている。本調査では、ポンプは全てジンバブエ産のものを使用することとしたが、スラリー輸送用には良質のポンプを選定する必要がある。

(d) フィルター類

本プロセスには、除菌空気を得るためのエアフィルター類、精製工程で使用される減圧ろ過機等が必要である。これらのフィルター類は輸入されることになる。

(e) 連続蒸煮装置

連続蒸煮機はプレート熱交換器の組み合わせよりなる。本装置は輸入されることになる。

(f) 発酵槽類

本プロセスに採用される発酵槽類は、一般に使用されている無菌通気攪拌培養装置であるが、ビール、ワイン等の醸造用発酵装置とは基本的に異なった装置である。本装置の製作に当たっては、以下の各項の要求事項を満たす、高度の技術を必要とする。

- ・高い攪拌負荷に耐え得る高精度の製缶および攪拌機技術
- ・中／大型ステンレス鋼製圧力容器の設計製作技術（発酵槽は加圧状態で運転される）
- ・雑菌汚染防止が可能な、缶内部の高度の加工・仕上げ技術
- ・防蝕のための適切な設計、溶接加工、熱処理技術（発酵層は殺菌時に高温に曝され、かつ生成するクエン酸により腐食され易い環境にある）

本プロセスで使用される主発酵層は容量が240kℓと大型である。概略寸法は直径5.3m、高さ11.7m、重量65トンである。ジンバブエのステンレス製缶業者は、このように大型の槽を製造した実績がない。従って、本調査では、主発酵槽（容量240kℓ）は輸入することとした。なお、比較的小型である一次種母タンク（容量1.7kℓ）および二次種母タンク（容量20kℓ）については、ジンバブエのステンレス鋼製缶業者に対し適切な指導を行うことにより、国内調達が可能である。

(g) 蒸発缶

本装置には、多管式熱交換機、蒸発室、循環ポンプおよび真空発生装置が必要である。本調査では、ジンバブエにおけるステンレス資材の調達、設計・加工能力を勘案し、蒸発缶を輸入することとした。

(h) 遠心分離機

固液分離のために多くの工程で遠心分離機が使用される。この機器の設計・製作には高度の技術が必要で、国際的に一部のメーカーにより市場が独占されている。従って、遠心分離機は輸入されるのが妥当である。

(i) エアコンプレッサー

プロセス用および計装用にエアコンプレッサー各1台が必要である。油の混入を防ぐために、オイルフリー型のものを使用する必要がある。また、コンプレッサーには防湿装置を付属させる必要がある。コンプレッサーに関しては、国際的に有名なメーカーの製品を輸入することが望ましい。

(j) 常圧槽類

クエン酸製造プロセスには多数の普通鋼製およびステンレス鋼製の常圧槽類が使用される。これらは全て国産品が使用可能である。

(3) 機器の輸送

ジンバブエへの機器の輸入に際しては、モザンビークのベイラ港あるいは南アフリカ共和国のダーバン港を使用するのが一般的である。両港を比較すると、プラント建設予定地であるハラレ市までの輸送距離はベイラ港の方が短い。しかし、重量物の陸揚げ設備はダーバン港の方が良く整備されており、重量物の輸入はダーバン経由が一般的となっている。従って、本調査でも、プラント建設のための資機材の輸入はダーバン経由で行われるものとする。

機器の陸上輸送は、トレーラーによる道路輸送と、鉄道輸送に大別される。鉄道輸送には幅3 m、高さ（荷台上）2.95 m、長さ11.3 m、重量10トン（交渉により増量可能）の制限があり、大型機器の輸送には適さない。一方、道路輸送における通常の制限は、幅3.85 m、高さ（路面からの全高）4.5 m、長さ18.2 m、重量28トンとなっている。実際には、届出により許可を得れば、より大型の貨物をインターチェンジ等の制約を避けて運ぶことが可能である。以上より、大型機器の輸送は道路によるものとした。

本プロセスで使用される最大の機器は主発酵槽とプロスタック（共に容量240kℓ）で、胴部の直径は5.3 mである。胴部にはノズルが多数取り付けられており、横置きにして輸送する場合の最大高さは約5.6 mに達する。主発酵槽は、先に述べた様に、高度の技術で製作されるものであり、工場建設現場で溶接製作することは不可能である。従って、主発酵槽はダーバン港経由で輸入され、陸路大型トレーラーにて建設現場まで搬入されることになる。

13-2-2 機器の据付配管工事

(1) 機器の据付

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5.3 m、長さ15 m、重量65トン程度である。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。なお、建物内部に設置される大型機器は、建物の建設工程で搬入・据付される必要があるため、工程管理上注意が必要である。

(2) 配管資材の調達

ジンバブエにおいては、配管工事用部品が不足しているため、部品不足が工場の建設推進の障害にならないように十分な体勢をとる必要がある。

(3) 配管工事

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。

(4) 保温・保冷工事

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。

(5) 塗装工事

塗装については、原則として、一般塗装工事の仕様とする。ただし、クエン酸による腐食が懸念される部分については、耐酸塗料を部分的に使用する。

13-2-3 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・計装仕様を採用する必要はない。在来型の電気・計装仕様を採用する場合には、各種部品類を国内調達可能で、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。

13-2-4 建築・土木工事

(1) ハラレ市周辺の地質概況

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ピ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。

(2) 建築物・構造物の概要と資材の調達

ジンバブエにおいては、大型型鋼を輸入に依存しているため、本調査においては、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。また、本工場は食品添加物を製造するので、壁・屋根材等にアスベスト製品は一切使用しない。

建築物・構造物に共通の問題として、セメントの入手難があげられる。ステンレス鋼材と同様に、十分な対策を講じる必要がある。また、板ガラスの入手難も深刻であるので、十分な配慮が必要である。なお、パイプラックは、入手が困難であるが、あえてスチールストラクチャー構造とした。この理由は、鉄筋コンクリート製のラックに配管を取り付けることは困難であるためである。

(3) 建設工事の設計・管理・施工

ジンバブエ国内の主要な建築物、工場などの建設を設計・管理し、立派な実績をあげている建築コンサルタントおよびエンジニアリング会社が多数存在する。これらの企業は、化学プラントのエンジニアリング機能を充分代行している。また、彼らの設計・管理の下で十分な実績をあげている建設業者も多数存在する。以上のことから、建設・土木工事に関する業者の能力には全く問題はない。

13-2-5 実験室用機器の調達

本工場においては、他の化学工場と同様に、原料の受け入れ検査、製造工程の管理、中間品の品質検査、製品および包装材料の品質検査、環境管理上の諸分析等のために各種の分析機器を必要とする。これらの機器は、一部を除き、輸入されることになる。

13-2-6 建設工期

この種のプラントの建設工期は、一般に建設の契約締結後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。図13-1に建設工程表を示す。

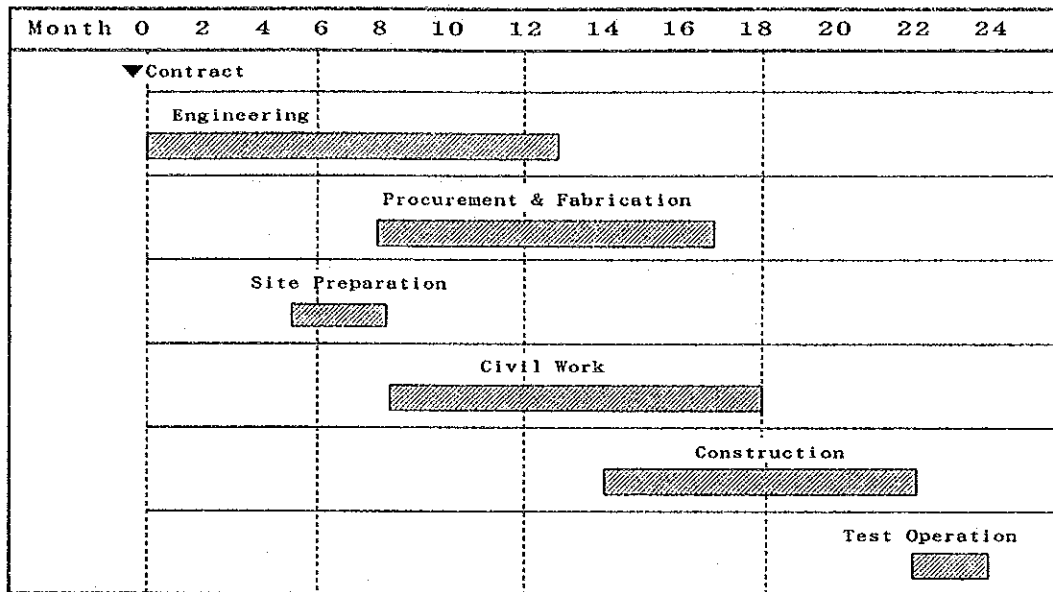


Figure 13-1 Master Schedule

13-3 建設コストの積算

13-3-1 積算の前提条件

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、以下の換算レートを用いて米ドルに換算した。

・ US \$ 1 = 3.15 Z \$

・ US \$ 1 = 132 円

13-3-2 建設コストの積算

(1) 土地および整地代

本調査では、用地面積を 27,250 m²、土地の単価を 61.7 Z \$ / m²、単位面積当たりの平均

整地代を 12.5 Z \$ /m²として、用地取得費および整地代を積算した。

(2) 技術料

クエン酸工場の設計・建設に当たっては、ライセンサーより技術（菌株・発酵条件・各種のノウハウ）の提供を受ける必要がある。クエン酸の製造技術の売買は一般に行われていないので、実績から技術料を推定することはできない。本調査では、発酵法により製造されているアミノ酸製造等に関する実績を参考に、技術料を 100 万ドル（1 億 3,200 万円）と推定した。

(3) 設計料

本調査では、ライセンサーの情報に基づき日本のエンジニアリング会社が基本設計を行い、ジンバブエの業者が詳細設計を行うものとした。基本設計および詳細設計に必要な費用は、US \$ 727,000 ドルおよび US \$ 644,000 である。詳細設計費には基本設計を行った会社より派遣されるエンジニアの費用 US \$ 390,000（運賃：US \$ 165,000、滞在費：US \$ 45,000、人件費：US \$ 180,000）が含まれる。外貨部分は基本設計費、運賃および人件費である。

(4) 機器代金

輸入機器は全て日本で調達し、ダーバンまで海上輸送するものとして費用を積算した。

ダーバン港における C I F 価格（機器の設計代を含む）および国内調達される機器の工場の着の価格を表 13-1 にまとめる。また、機器の仕様を表 13-2 にまとめる。

Table 13-1 Summary of Machinery and Equipment Costs, US\$

	Foreign	Local	Total
Fermentation	3,677,000	549,000	4,226,000
Separation	2,412,000	1,747,000	4,159,000
Utilities	202,000	833,000	1,035,000
Environmental Control	0	743,000	743,000
Laboratory Equipment	78,000	15,000	93,000
Total	6,369,000	3,887,000	10,256,000

Table 13-2 List for Major Equipment (1/7)

Process Area: 100

Process Name: Fermentation

Equip. No.	Service	Quantity	Specification	Material	Import/ Domestic
101	Starch Make-up Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 100m ³	CS	D
102	Starch Milk Pump	1	10m ³ /h × 30mH	CI	D
103	Jet Cooker	1	Steam Injector, 10m ³ /h	SS304	D
104	Reaction Tank	2	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 120m ³	SS304	D
105	Liquified Solution Pump	1	10m ³ /h × 20mH	SS304	D
106	Medium Make-up Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 10m ³	SS304	D
107	Sterilizing Pump	2	10m ³ /h × 50mH	SS304	D
108	Medium Pump	1	5m ³ /h × 30mH	SS304	D
109	Continuous Sterilizer	1	Plate Heat Exchanger Unit, 10m ³ /h × 4kg/cm ² G	SS304	I
110	First Seed Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Jacket & Agitator, 1.7m ³	SS304, Jct:CS	D
111	First Air Filter	1	Depth Type Filter, 0.07m ³	CS	D
112	Second Seed Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Jacket & Agitator, 20m ³	SS304, Jct:CS	D
113	Second Air Filter	1	Depth Type Filter, 0.4m ³	CS	D
114	Main Fermenter	3	Vertical Cylinder Vessel with Cooling Coil & Agitator, 240m ³	SS304/316	I
115	Main Fermenter Air Filter	3	Depth Type Filter, 4m ³	CS	D
116	Broth-out Pump	1	50m ³ /h × 20mH	SS304	D
117	Process Air Compressor	1	Oil-free Compressor with Instruments, 10,000Nm ³ /h × 2.3kg/cm ² G	---	I
118	Hot Water Tank	1	Vertical Cylinder Vessel, 50m ³	CS	D
119	Hot Water Pump	1	50m ³ /h × 20mH	CI	D
120	Fork Lift	2	Engine Drive, 1,000kg	---	D
121	Hoist	1	1,000kg × 10mH	---	D
122	Balance	1	Full Scale 100kg	---	D
123	Balance	1	Full Scale 10kg	---	D

Material CS: Carbon Steel, CI: Cast Iron, SS: Stainless Steel

RL: Rubber Lining, RC: Reinforced Concrete

Table 13-2 List for Major Equipment (2/7)

Process Area: 200

Process Name: Separation(1/3)

Equip. No.	Service	Quantity	Specification	Material	Import/ Domestic
201	Broth Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Air Spurger, 240m ³	SS304	D
202	Broth Pump	1	10m ³ /h × 20mH	SS304	D
203	Mycelium Filter.	1	Rotary Vacuum Precoat Filter with Vacuum Pump, 10m ³ /h, 8 m ²	SS304	I
204	Precoat Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 1m ³	SS304	D
205	Precoat Pump	1	2m ³ /h × 10mH	SS304	D
206	First Filtrate Tank	1	Vertical Cylinder Vessel, 50m ³	SS304	D
207	First Filtrate Pump	1	10m ³ /h × 30mH	SS304	D
208	Filter Press	1	20 m ²	CI + RL	D
209	Second Filtrate Tank	1	Vertical Cylinder Vessel, 50m ³	SS304	D
210	Second Filtrate Pump	1	10m ³ /h × 30mH	SS304	D
211	Slaked Lime Slurry Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 30m ³	CS	D
212	Slaked Lime Pump	1	3m ³ /h × 10mH	CI	D
213	Neutralization Tank	3	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 25m ³	SS304	D
214	Neutralized Slurry Pump	1	10m ³ /h × 20mH	SS304	D
215	Calcium Citrate Filter	3	Nutch Type Filter with Vacuum Pump, Turn-over Discharge, 5 m ²	SS304	D
216	Conveyor	3	Screw Conveyor, 3ton/h × 8mL	SS304	D
217	Incline Conveyor	1	Incline Screw Conveyor, 3ton/h × 8mL	SS304	D
218	Sulfuric Acid Tank	1	Vertical Cylinder Vessel, 25m ³	CS	D
219	Sulfuric Acid Pump	1	1m ³ /h × 20mH	CI	D
220	Acidification Tank	3	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 12m ³	SS304	D
221	Acidified Slurry Pump	1	5m ³ /h × 20mH	SS304	D
222	Centrifuge	3	Basket Type Centrifuge, Bottom Discharge, 48 inches φ	SS304	I
223	Conveyor	1	Screw Conveyor, 2ton/h × 8mL	SS304	D

Material CS: Carbon Steel, CI: Cast Iron, SS: Stainless Steel

RL: Rubber Lining, RC: Reinforced Concrete

Table 13-2 List for Major Equipment (3/7)

Process Area: 200

Process Name: Separation(2/3)

Equip. No.	Service	Quantity	Specification	Material	Import/ Domestic
224	Incline Conveyor	1	Incline Screw Conveyor, 2ton/h × 8mL	SS304	D
225	Citric Acid Solution Tank	1	Vertical Cylinder Vessel, 20m ³	SS304	D
226	Citric Acid Solution Pump	1	10m ³ /h × 30mH	SS304	D
227	Filter Press	1	20 m ²	CI + RL	I
228	Filtrate Tank	2	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 20m ³	SS304	D
229	Filtrate Pump	1	5m ³ /h × 20mH	SS304	D
230	First Evaporator	1set	Vacuum Evaporator with Steam Heater, Steam Ejector, Barometric Condenser, Pumps & CIP System. Evaporation 2ton/h	SS316L	I
231	First Crystallizer	2	Vertical Cylinder Vessel with Jacket & Agitator, 10m ³	SS316L, Jct: CS	D
232	First Crystallizer Pump	1	2m ³ /h × 20mH	SS316	D
233	First Centrifuge	2	Basket Type Centrifuge, Bottom Discharge, 48 inches φ	SS304	I
234	First Mother Liquor Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 20m ³	SS304	D
235	First Mother Liquor Pump	1	5m ³ /h × 20mH	SS304	D
236	Second Evaporator	1set	Batch Vacuum Evaporator with Steam Heater, Steam Ejector & Barometric Condenser. Evaporation 0.5ton/h	SS316L	I
237	Second Crystallizer	1	Vertical Cylinder Vessel with Jacket & Agitator, 10m ³	SS316L, Jct: CS	D
238	Second Crystallizer Pump	1	2m ³ /h × 20mH	SS316	D
239	Second Centrifuge	1	Basket Type Centrifuge, Bottom Discharge, 48 inches φ	SS304	I
240	Second Mother Liquor Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 10m ³	SS304	D
241	Second Mother Liquor Pump	1	5m ³ /h × 20mH	SS304	D
242	Decolorization Tank	3	Vertical Cylinder Vessel with Jacket & Agitator, 20m ³	SS304, Jct: CS	D
243	Decolorization Pump	1	5m ³ /h × 30mH	SS304	D
244	Carbon Filter	1	Leaf Type Filter, 10 m ²	SS304	I

Material CS : Carbon Steel, CI : Cast Iron, SS: Stainless Steel

RL: Rubber Lining, RC: Reinforced Concrete

Table 13-2 List for Major Equipment (4/7)

Process Area: 200

Process Name: Separation(3/3)

Equip. N o.	Service	Quantity	Specification	Material	Import/ Domestic
245	Precoat Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 500ℓ	SS304	D
246	Precoat Pump	1	2m ³ /h × 10mH	SS304	D
247	Polish Filter	1	Sparkler Filter, 1 m ²	SS304	I
248	Final Crystallizer	2	Vertical Cylinder Vessel with Jacket & Agitator, 10m ³	SS316L, Jct: CS	D
249	Final Crystallizer Pump	2	2m ³ /h × 20mH	SS316	D
250	Final Centrifuge	2	Basket Type Centrifuge, Bottom Discharge, 48 inches φ	SS316	I
251	Final Mother Liquor Tank	1	Vertical Cylinder Vessel with Agitator, 20m ³	SS304	D
252	Final Mother Liquor Pump	1	5m ³ /h × 20mH	SS304	D
253	Conveyor	1	Screw Conveyor with 2 Wet Hoppers, 500kg/h(wet crystal) × 6mL	SS304	D
254	Dryer Unit	1	Rotary Dryer with Air Heater unit, Fan, Dust Collector & Rotary Valves, 500kg/h	SS316	I
255	Lifter	1	Pneumatic Lifter with Blower, Cyclone, Dust Collector & Rotary Valves, 500kg/h(dry crystal)	SS304	I
256	Storage Hopper	1	Vertical Cylinder Vessel, 30m ³	SS304	D
257	Sifter	1	Vibrating Screen Sifter, 1,500kg/h	SS304	I
258	Balance	1	Industrial Balance with Hopper, Range: 0 ~ 50kg, Minimum Loading: 20g	---	I
259	Heat Sealer	1	Industrial Heat Sealer	---	I
260	Sewing Machine	1	Industrial Sewing Machine	---	I
261	Chiller	1set	Turbo Compressor Type, 350,000kcal/h, Outlet Water Temp. 10 °C	---	I
262	Chiller Pump	1	50m ³ /h × 20mH	CI	D
263	Fork Lift	2	Engine Drive, 1,000kg	---	D
264	Hoist	2	1,000kg × 10mH	---	D
265	Waste Solid Carrier	6	Steel Box with Wheels, Hand Push Carry. Capacity: 2m ³	CS	D

Material CS : Carbon Steel, CI : Cast Iron, SS : Stainless Steel

RL: Rubber Lining, RC: Reinforced Concrete

Table 13-2 List for Major Equipment (5/7)

Process Area: 300

Process Name: Utilities

Equip. No.	Service	Quantity	Specification	Material	Import/ Domestic
301	Raw Water Pit	1	200m ³	RC	D
302	Raw Water Pump	2	100m ³ /h × 30mH	CI	D
303	First Water Pit	1	500m ³	RC	D
304	First Water Pump	2	300m ³ /h × 30mH	CI	D
305	Second Water Pit	1	500m ³	RC	D
306	Second Water Pump	2	300m ³ /h × 30mH	CI	D
307	Cooling Tower	1	Forced Ventilation Type Cooling Tower with Fan, 200m ³ /h, Water Outlet Temperature: 22 °C max.	---	D
308	Cooling Tower	1	Forced Ventilation Type Cooling Tower with Fan, 150m ³ /h, Water Outlet Temperature: 22 °C max.	---	D
309	Cooling Tower Pump	2	150m ³ /h × 30mH	CI	D
310	Cooling Tower	1	Forced Ventilation Type Cooling Tower with Fan, 150m ³ /h, Water Outlet Temperature: 22 °C max.	---	D
311	Cooling Tower Pump	2	150m ³ /h × 10mH	CI	D
312	Evaporator Feed Pump	2	150m ³ /h × 10mH	CI	D
321	Boiler	1set	Fire Tube Boiler with Water Treatment System & Attachments. Steam Generation: 10ton/h × 10g/cm ² G	---	D
331	Instrument Air Compressor	1	Oil Free Air Compressor with After Cooler, Dehumidifier & Instruments, 500Nm ³ /h × 5kg/cm ² G	---	I

Material CS : Carbon Steel, CI : Cast Iron, SS: Stainless Steel

RL: Rubber Lining, RC: Reinforced Concrete

Table 13-2 List for Major Equipment (6/7)

Process Area: 400

Process Name: Environmental Control

Equip. No.	Service	Quantity	Specification	Material	Import/ Domestic
401	Boiler Exhaust Dust Collector	1set	Multi-cyclone Dust Collector Exhaust Gas: 6,900Nm ³ /h × 17g/ℓ Yield : 90% up	CS	D
402	Exhaust Fan	1	Sirocco Type Fan 200Nm ³ /h × 300 mm Ag.	CS	D
403	Stack	1	Steel Stack with Inside Insulation Exhaust Gas: 6,900Nm ³ /h Size : 1m φ × 20mH(above ground)	CS	D
411	Waste Water Storage Tank	1	Reinforced Concreat Tank with Resin Coating Inside, pH Controller & Agitator. Volume: 40m ³	RC	D
412	Screen	1	Vertical Stainless Steel Screen Capacity: 40m ³ /h Space : 0.5mm	SS304	D
413	Lagoon Tank	1set	Reinforced Concreat Tank with Asphalt Sheet Lining, Agitator, Air Blower, Pump etc. Volume : 5,000m ³	RC	D
414	Sludge Storage Tank	1	BOD Load: 1,354kg/d, Capacity: 400m ³ /d Reinforced Concreat Tank with Asphalt Sheet Lining, Ejector & Pump. Volume: 160m ³	RC	D
421	Incinerator	2sets	Incinerator with Burner, Stack & Control Panel Capacity : 300kg/h × 24h/d = 7.2ton/d Fuel Consumption: 419 ℓ/h Material Burnt : Solid Wastes	---	D

Material CS : Carbon Steel, CI : Cast Iron, SS: Stainless Steel

RL: Rubber Lining, RC: Reinforced Concrete

Table 13-2 List for Major Equipment (777)

Process Name : Laboratory		Equipment Name	Quantity	Specification	Import/ Domestic
No.					
1	Autoclave		1	Inside 300mm ϕ \times 630mmH, SS	I
2	Rotary Shaker		1	15 \sim 60 $^{\circ}$ C, 500mm ϕ \times 242 ϕ \times 6, 30 \sim 250rpm	I
3	Clean Bench		1	Biological Cabinet, 840mmW \times 1,050mmD \times 1,710mmH,SS	I
4	Dry Heat Oven		1	600mmW \times 720mmD \times 1,500mmH, SS	I
5	Incubator		1	10 \sim 50 $^{\circ}$ C, 720 mm W \times 665 mm D \times 1,500mmH, SS	I
6	Spectrophotometer		1	395 \sim 900nm, Tungsten Lamp	I
7	pH Meter		2	0 \sim 14pH, Direct Reading	I
8	Chemical Balance		1	Full Scale 200g	I
9	Balance		2	Full Scale 1,200g	D
10	Microscope		1	Single Eye Type, \times 900 Max.	I
11	Centrifuge		1	4,000rpm, 2,800G	I
12	Refrigerator		1	100 ϕ , - 3 \sim 8 $^{\circ}$ C	D
13	Draft Chamber		1	900 mm W \times 750 mm D \times 2,350mmH	I
14	Water Bath		1	Inside 350mmW \times 235mmD \times 80mmH	D
15	Water Purifier		1	1 ϕ /min	I
16	Muffle Furnace		1	440mmW \times 625mmD \times 640mmH, 1,150 $^{\circ}$ C Max.	I
17	Magnetic Stirrer		2	30 \sim 1,500rpm, 0.1 \sim 10 ϕ	I
18	Sieve Set		1set	100mm ϕ \times 45mmH, SS	D
19	Storage Shelf		4	1,800mmW \times 400mmD \times 1,800mmH	D
20	Balance Table		1	1,350mmW \times 750mmD \times 750mmH	D
21	Labo. Table		2	3,000mmW \times 1,200mmD \times 800mmH	D

(5) 予備品および予備ポンプ

2年分の予備品の代金と予備ポンプの費用を積算した。国外調達分はダーバン港におけるC I F価格、ジンバブエ国内で調達される予備品と予備ポンプは工場着価格を積算した。

(6) 内陸輸送費

ダーバン港からハラレの工場建設地までの内陸輸送費をUS \$ 203,000とした。関税の基本となる国境価格の算出に当たっては、輸送距離（ダーバン～ベイトブリッジ：約1,050km、ベイトブリッジ～ハラレ：約580km）を考慮し、ダーバン港からベイトブリッジまでの内陸輸送費をUS \$ 131,000と推定した。

(7) 輸入関税

ジンバブエでは輸入品に対し、C I F価格の20%の関税と同率の付加税が賦課される。関税はプラント建設工事完成後に還付されるが、付加税の還付は行われず。従って、本調査では、上記(4)および(5)の外貨部分の金額に上記(6)のベイトブリッジまでの輸送費を加算したC I F価格に20%を乗じ付加税の金額を算出し、建設費の一部として計上した。

(8) 据付および配管

据付および配管工事の費用は全て内貨として積算した。

(9) 電気および計装工事

本工事に必要な費用も全て内貨として積算した。

(10) 建屋および土木工事

プラント建設予定地のムクビシ地区は地盤が強固であり、杭打を行い基礎の強化を行う必要がない。従って、本調査では杭打費用を含めず積算を行った。本工事に必要な費用は全て内貨である。

(11) 断熱および塗装工事

本工事は全てジンバブエの資機材を用いてジンバブエ人により行われる。

(12) スーパーバイザー費

本調査では、図13-1に示した建設工程計画図に基づき、スーパーバイザー3名（整地・土木担当：1名×13ヶ月、据付担当：2名×10ヶ月）を日本より派遣するものとして必要

な費用を積算した。スーパーバイザーの派遣に必要な費用は以下のとおりである。

・航空運賃	： U S \$ 11,000 × 3 回	= U S \$ 33,000
・滞在費	： U S \$ 3,000 × 33 人・月	= U S \$ 99,000
・人件費	： U S \$ 12,000 × 33 人・月	= U S \$ 396,000
・合計	：	U S \$ 528,000

(13) 予備費

本積算は概念設計を基に行われているので不確定要素が多い。また、上述のように、現地調査時に十分な価格情報が入手できなかった部分もある。従って、コスト積算においては、予備費を計上する必要がある。本調査では、見積の精度を勘案し、外貨部分は技術料、設計料およびスーパーバイザー費を除く金額の3%、内貨部分は設計料、付加税、内陸輸送費およびスーパーバイザー費を除く金額の5%の予備費を見込んだ。

13-3-3 まとめ

以上の結果を表13-3にまとめる。なお、本積算にはプラント外からの道路延長や水/電気供給に係わる負担金、運転員の訓練費および試運転費用は含まれていない。

Table 13-3 Total Plant Costs, 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 Costs	0	2,739,000	2,739,000
Electrical & Instrument Costs	0	1,430,000	1,430,000
Civil & Building Costs	0	3,342,000	3,342,000
Insulation & Painting Costs	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

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) 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) 詳細設計については以下の2ケースが考えられる。

- ・ケース1：基本設計を行った外国のエンジニアリング会社が詳細設計を行う。
- ・ケース2：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。

ケース1では基本設計から詳細設計への移行がスムーズに行われるが、詳細設計の費用が多額となる。これに対し、ケース2では基本設計から詳細設計への移行に若干の困難を伴うが、詳細設計の費用を節約できる。また、詳細設計から建設工事（据付、配管、電気、計装工事等）への移行がスムーズに行われる利点がある。さらに、ジンバブエの設計業者を活用することにより技術移転も行われる。

本調査では、諸条件を勘案し、ケース2を採用することとした。前章に示したプラント建設費の積算も、以上の前提に基づき行われた。

14-2 操業計画

14-2-1 操業日数および時間

本プラントにはバッチ式の機器が多く採用されているが、プラントは333日間連続運転を行うよう設計されている。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、定常運転時に発生する部分的な修理作業に伴う生産低下に対する予備日、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回、2年度：139回、3年度以降：143回となる。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にまとめ、各部門の主な役割を以下に示す。

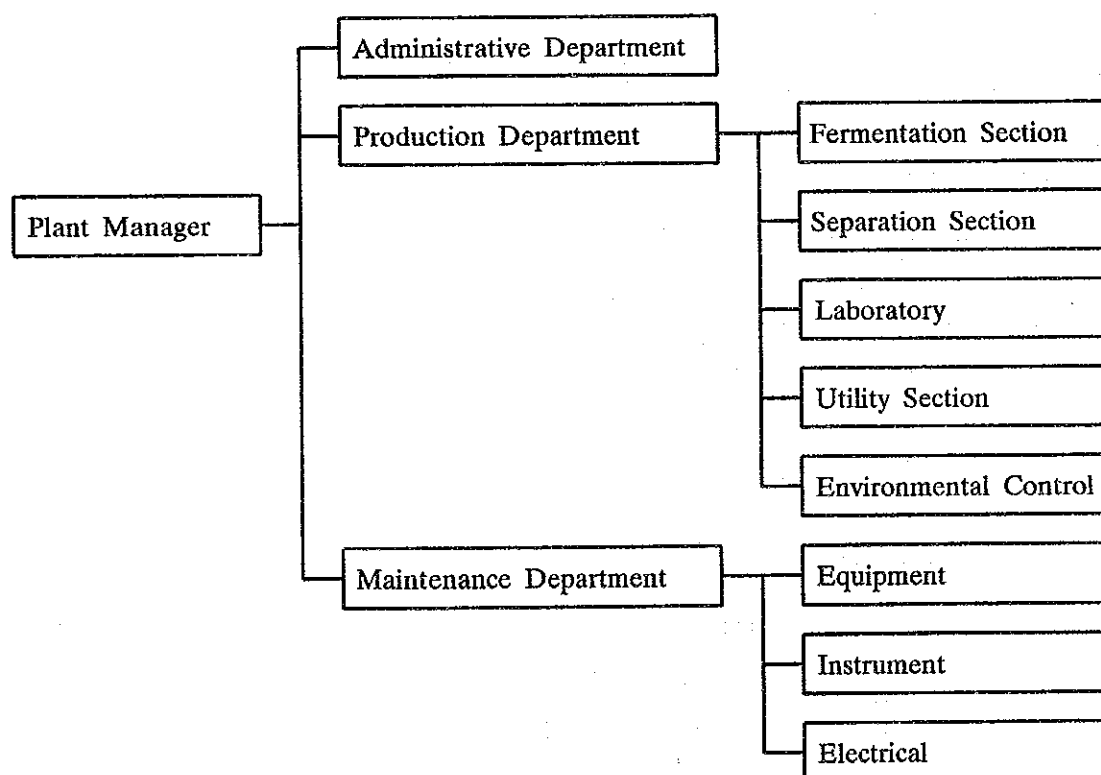


Figure 14-1 Organization Chart of a Citric Acid Production Plant

(1) 製造部門

本部門は発酵、精製、分析、用役および環境対策の5課からなる。発酵課は原料の仕込、クエン酸発酵を行う。精製課はクエン酸の精製・充填および製品の在庫管理を行う。分析室は原材料の受け入れ検査、工程管理上の分析、製品検査、フラスコ種母発酵および菌株管理を行う。用役課は蒸気の発生・供給、水の受入・供給、電気の受入・供給を行い、ボイラー担当者はボイラー廃ガス処理装置の運転を兼務する。環境対策課は廃水の生物処理、廃棄物の焼却、廃棄物の処分等を行う。

(2) メンテナンス部門

本部門は機器・計装・電気の点検、補修、管理を行う。本プラントの機器の大部分は腐食性の強い強酸性下で使用される。従って、プラントの寿命を延ばし、クエン酸の安定生産を行う上で、日常の点検・管理を充分に行うことが不可欠となる。なお、大型機器および特殊機器の点検・補修は外部の専門業者に委託することとなる。

(3) 管理部門

本部門は、経理・人事・庶務等の業務を行うと共に、原料・製品の在庫管理等を行う。本部門に属する守衛は、従業員、外来者および原料・製品の出入門管理を行う。

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。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。

(1) 製造部門

製造部門に必要な人員は、部長1、発酵工程23名、精製工程29名、実験室7名、用役工程19名、環境対策12名、計91名である。

(a) 発酵工程

発酵工程要員23名の内訳は以下のとおりである。発酵工程は、5名（職長1名、技能運転員1名、一般運転員3名）を基本とする4直3交代の勤務体勢となる。チーフエンジニアは昼間みの勤務となるので、夜間・早朝を含め、運転の実際上の責任者は職長となる。停電等の異常事態が発生した場合の対応策は職長に委ねられるので、職長には相当の知識と技能が要求される。なお、昼勤の一般作業員は、原料の仕込など昼間に集

申して行われる作業を担当する。

- ・エンジニア : 1名
- ・職長（シフト運転の責任者） : 4名
- ・技能運転員（シフト勤務） : 4名
- ・一般運転員（シフト勤務） : 12名
- ・一般運転員（昼勤） : 2名

(b) 精製工程

精製工程に必要な人員は以下の29名で、シフト当たりの運転員の数は6名である。

- ・エンジニア : 1名
- ・職長（シフト運転の責任者） : 4名
- ・技能運転員（シフト勤務） : 4名
- ・一般運転員（シフト勤務） : 16名
- ・一般運転員（昼勤） : 4名

(c) 実験室

実験室に必要な人員は、エンジニア1名、分析技術者6名（シフト勤務4名、昼勤2名）、計7名である。実験室の機能の中で、菌株の管理は特に重要である。クエン酸の菌株は、常に純粋培養を行い優良株の選別を行わないと、生酸能力が自然に退化する。菌株の管理の良否がクエン酸製造成績を左右すると言える。実験室の責任者であるエンジニアの責任は極めて重大である。

(d) 用役工程

本工程に必要な人員は以下の19名である。

- ・エンジニア : 1名
- ・職長（シフト運転の責任者） : 4名
- ・技能運転員（シフト勤務） : 4名
- ・一般運転員（シフト勤務） : 8名
- ・一般運転員（昼勤） : 2名

(e) 環境部門

環境対策に必要な要員は以下のとおりである。本部門の勤務体勢は他の部門と異なる。廃水処理施設は24時間運転となるが、夜間は無人運転となる。廃棄物を焼却する小型焼

却炉の運転は16時間で、2交代の勤務となる。

・エンジニア	: 1名
・技能運転員	: 1名
・一般運転員（昼勤）	: 6名
・一般運転員（夜勤）	: 4名

(2) メンテナンス部門

本部門の職員は全員、昼間のみ勤務となる。必要な要員は、部長1名、エンジニア3名（機器、計器および電気の担当各1名）、技能作業員4名（機器：2名、計器：1名、電気1名）、一般作業員2名（機器担当）、計10名である。

(3) 管理部門

本部門の要員は、部長1名、事務員7名（販売スタッフを含む）、守衛5名（4直3交代）、計13名である。

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。メンテナンス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。実液試験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。以下に各フェーズにおける教育訓練の内容をまとめる。

14-4-1 建設工事末期における教育訓練

この時期には大部分の機器の据え付けが完了し、配管、電気および計装工事の最終段階にある。この時期の教育訓練は、(1) 机上教育訓練と(2) 建設中の設備を示して行う現場教育訓練の組み合わせからなる。この教育訓練の期間は約15日間で、以下に示す内容の教育訓練を行う。

(1) 机上教育訓練

製造担当者に対する教育訓練の内容は以下のとおりである。

- (a) クエン酸製造工程に関する詳細な知識
- (b) 製造設備の構造、機能および取り扱いに関する詳細な知識
- (c) 主原料、副原料、製品クエン酸、用役および廃棄物の物性および取扱いに関する詳細な知識
- (d) 製造に関わる安全管理上および環境管理上の基礎知識

試験室関係者に対する教育訓練の内容は以下のとおりである。

- (a) 主原料、副原料、製品クエン酸および廃棄物に関する知識
- (b) 分析作業および分析機器に関する詳細な知識
- (c) 菌株の取扱いおよび菌管理に関する詳細な知識
- (d) 試験室作業に関わる安全管理上および環境管理上の基礎知識
- (e) クエン酸製造工程および設備に関する基礎知識

用役担当者に対する教育訓練の内容は以下のとおりである。専門技術者は以下の (d) のみを担当する。

- (a) 用役および石炭の性質および取り扱いに関する詳細な知識
- (b) 用役設備の構造、機能および取り扱いについての詳細な知識
- (c) 用役設備運転に関わる安全管理上および環境対策上の基礎知識
- (d) クエン酸製造工程および設備に関する基礎知識

環境対策担当者に対する教育訓練の内容は以下のとおりである。

- (a) 環境対策工程に関する詳細な知識
- (b) 環境対策設備の構造、機能および取り扱いについての詳細な知識
- (c) 環境対策設備の運転に関わる安全管理上および環境対策上の基礎知識
- (d) クエン酸製造工程および設備に関する基礎知識

(2) 現場教育訓練

本段階では、各部署の担当者に机上教育訓練の内容を現場で確認させる。この際、次のステップである水試運転の準備作業を行わせながら実地訓練を行う。なお、この訓練時にはメンテナンス部門の要員に対してもクエン酸製造工程に関する基礎知識、設備に関する詳細な知識について教育を行う。

14-4-2 水試運転における教育訓練

水試運転の目的は、各単体機器およびユニットの作動および性能を確認し、機器・ユニットを水で洗浄することである。水試運転時期の教育訓練の目的は、クエン酸製造に必要な基礎知識を与え、運転作業、試験室作業等の基本を習得させることにある。その期間は約15日間とする。本期間中の教育訓練の主な内容を以下にまとめる。

- ・製造担当者 : 製造設備の運転実習
- ・試験室担当者 : 菌管理実習および分析実習
- ・用役担当者 : 用役設備の運転実習（製造、試験室および環境対策関係の水運転に合わせて用役の供給に当たる）
- ・環境対策担当者 : 環境設備の運転実習

14-4-3 実液試運転

水試運転に引き続き、実際の生産に使用する原料、副原料を使用して実液試運転を行う。実液試運転期間中の教育訓練の目的は、水試運転期間に習得した技術を生産活動を通して磨き、連続して正常な運転ができるようにすることである。実液試運転は連続運転体勢で行われる。従って、この時点では、運転員の3交代体勢、原料・用役・梱包材料の安定供給、廃液・廃棄物処理設備の正常運転等が確立している必要がある。

実液試運転のスケジュールを図14-2に示す。同図に示した運転スケジュールは、運転員技術レベルが充分でないことを考慮し、3日毎に1バッチの発酵工程を処理（設計能力は7日間に3バッチ）するよう計画されている。実液試運転の期間は約45日間である。

14-4-4 確認運転

確認運転は実液試運転が終了し、工程が安定した時期に行われる。確認運転の目的はクエン酸の生産量および品質を保証することであり、発酵プロセス3バッチ分の得量としてBP規格を満足する製品が63トン以上生産可能であることが確認された時点で終了となる。

この期間に、運転員は実液試運転で身に付けた製造・分析の技術の向上を図ることとなる。また、専門技術者から種々の運転ノウハウの移転を受ける。

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。緊急事態発生時において、第一に配慮すべきは機器・装置の保護であり、次いで工程運転操作面での損害を最小限に食い止めるべきである。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行動することが要求される。訓練の最終段階で、緊急事態への対応策に付いての指導と訓練が行われる。

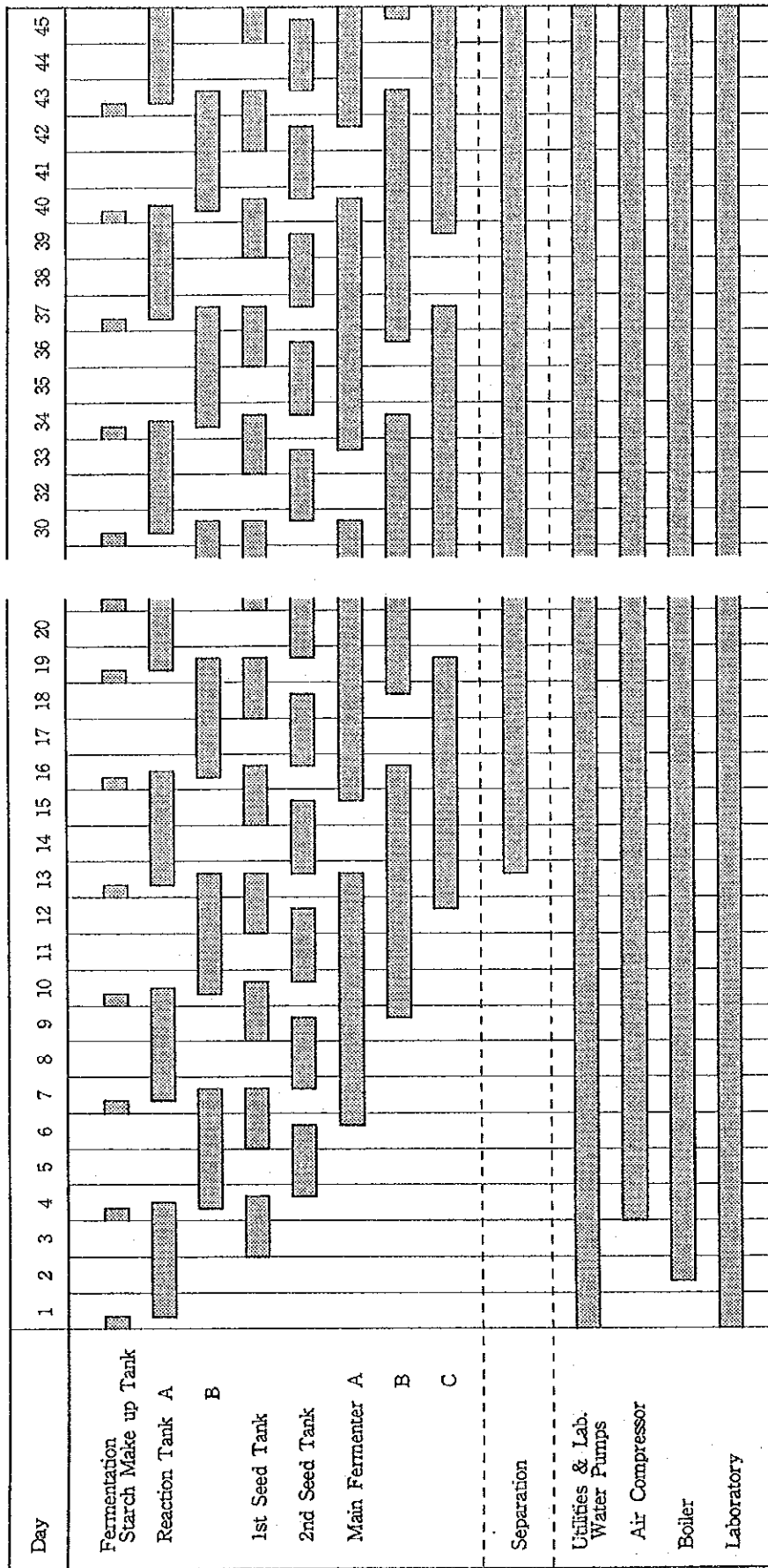


Figure 14--2 Trial Operation Schedule

第 15 章 総所要資金

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。金利換算の方法の詳細については、次章を参照のこと。