

## 12-9-2 長期操業記録

セメント工場の省エネルギーを検討するためには、長期間の操業記録を確認することが第1である。同時に過去に工場のエンジニアが調査、計測した既存のデータを再確認することが重要である。

この為、第1次エネルギー診断時に過去6カ年の操業データを収集、調査した。これら操業運転データの推移記録は12-3章の「運転稼働状況」及び添付、下記各表等を参照されたい。

表 12-1	セメント年間販売数量の推移
表 12-2	クリンカ生産量と年間運転時間の推移
表 12-3	原料生産量と年間運転時間の推移
表 12-4	各ミル別、セメント生産量と年間運転時間
表 12-5	1997年度の月別石灰石並びに、頁岩の化学成分
表 12-6	クリンカ並にセメントの化学分析値及び、セメントの物理的性状
表 12-7	年間エネルギー使用量と熱 / 電気消費原単位の推移
表 12-8	1997年、年間エネルギー使用量
表 12-9	エネルギー消費の相対比較
表 12-10	APMC Rawang 工場データ

## 12-9-3 測定及び操業結果を基にした計算

### (1) FF 炉における燃料の燃焼状況

セメントの製造において焼成部門で全燃料が燃焼し、熱エネルギーとして消費される。通常、NSP キルンでは、プレヒーター内に設置されている仮焼炉内で、全体の燃料の55%から60%が吹入れ燃焼するプラントの心臓部となっている。しかし、本工場の場合、仮焼炉であるFF炉内で約80%から82%の燃料が吹入れ、燃焼している。それ故、このFF炉内に於ける燃料燃焼の善し悪しが、熱エネルギー消費量に大きく影響する。

既に12-9章(2)-5)で記載のように、抽気風量測定結果は理論燃焼空気量の約60%から65%と少ないことが判った。この結果から判断すると約35%から40%の燃料が未燃カーボンとして、CSサイクロン内で原料と混ざり、キルンに送入することになる。

これを確認するため窯入原料をサンプリングし、その発熱量を測定して未燃カーボン量を推定した。

1) 窯入原料中の未燃カーボン量の測定結果

- (a) 方法 : C5 サイクロン出口原料 (窯入原料) の発熱量測定  
 (b) 測定装置 : ポンプ・カロリメーター  
 (c) サンプルング : 9月16日 C5 (A)系、9月19日 C5 (A),(B)系  
 (d) 結果 : C5 サイクロン (A)系 : 147 kcal/kg、 191 kcal/kg  
 (B)系 : — 300 kcal/kg  
 窯入原料平均発熱量 : 213 kcal/kg

2) 未燃カーボン量の計算

(a) FF 炉、全入熱、  $H_i$  (kcal/kg-cli.)

Oil : 5.7 kl/h ..... 139.7 kcal/kg-cli.  
 Coal : 8.6 t/h ..... 252.9 kcal/kg-cli.  
 Coal shale : 77.6 t/h ..... 374.0 kcal/kg-cli.  
 Total  $H_i = 766.6$  kcal/kg-cli.

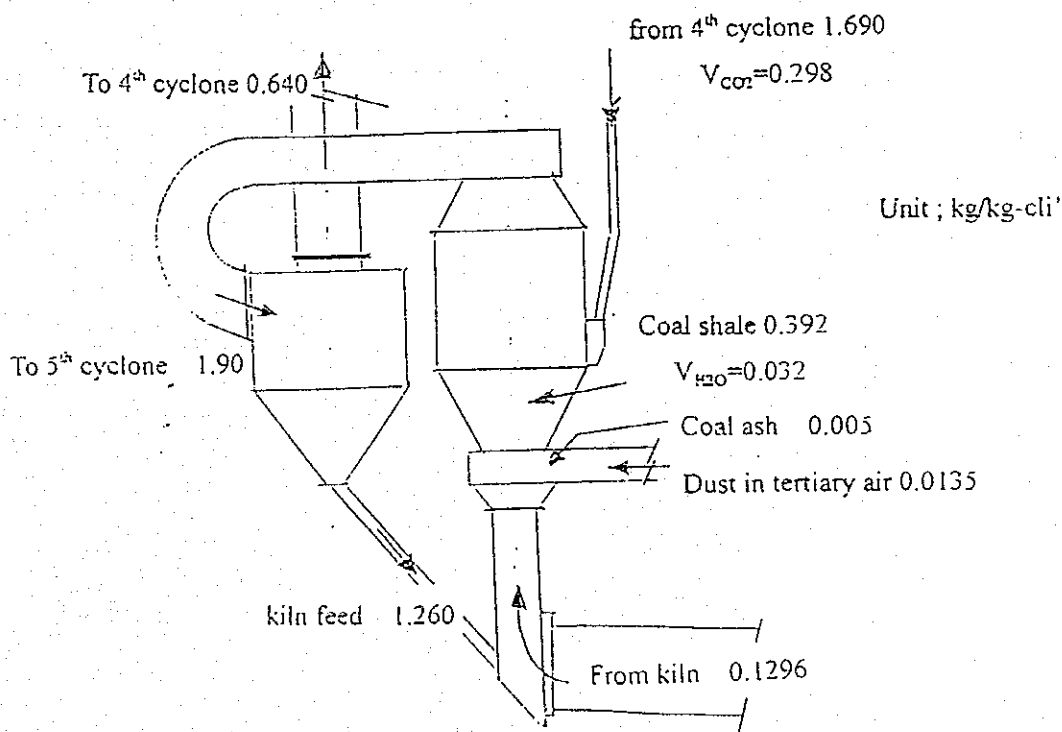
(b) 窯入原料の全熱量、  $H_f$  (kcal/kg-cli.)

$H_f = 1.260$  kg/kg-cli.  $\times$  213 kcal/kg = 268 kcal/kg-cli.

(c) 未燃カーボン量、  $w$  (%)

$w = H_f / H_i = 0.3496$  ..... 約 35%

3) 概略マテリアル・バランス



— C5 サイクロンと FF 炉 —

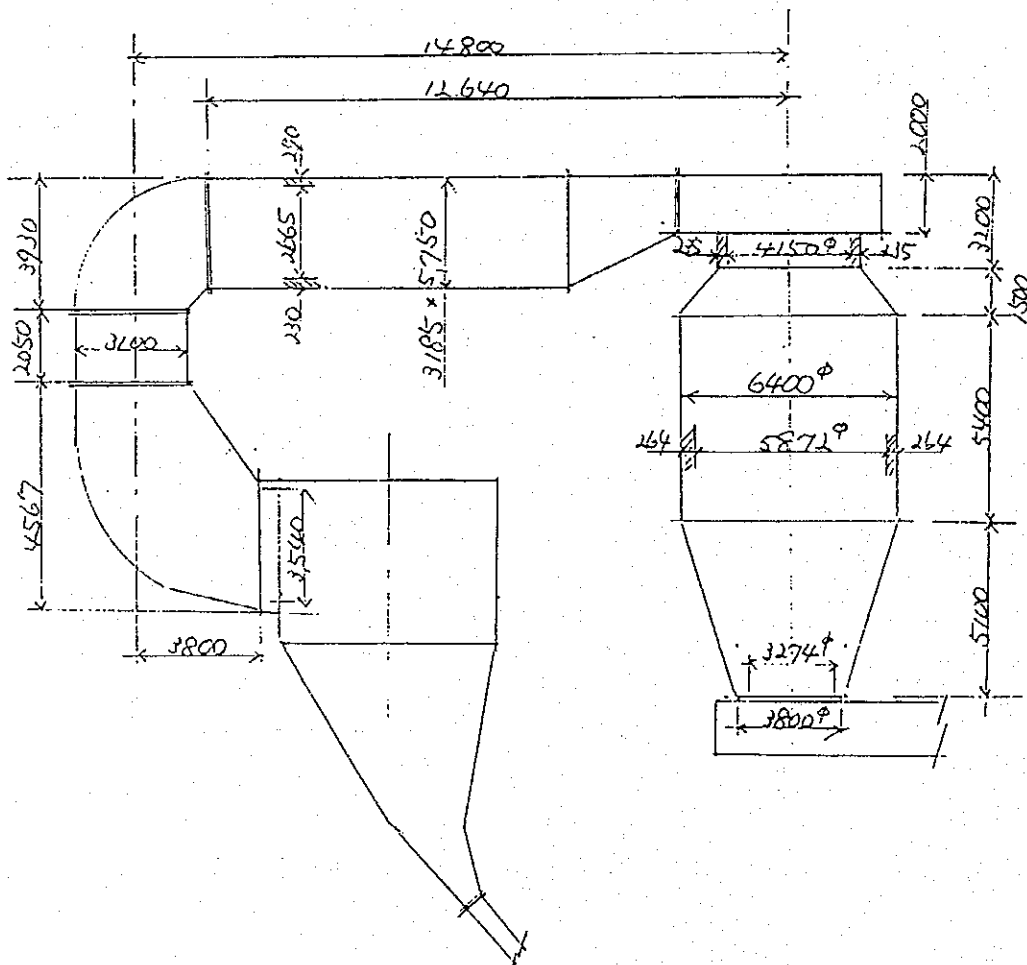
4) F.F 炉の (ガス) 滞留時間の計算

下図に従って F.F 炉とトランク・ダクトの内容積を計算し、滞留時間を算出した。

- (a) Inner volume of F.F furnace :  $V = 830.8 \text{ m}^3$
- (b) F.F furnace outlet gas temperature :  $t_g = 930\text{-}950 \text{ }^\circ\text{C}$
- (c) Exhaust gas volume from kiln :  $G_k = 988 \text{ Nm}^3/\text{min}$
- (d) Exhaust gas volume at F.F furnace :  $G_f = 6482 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 
  - combustion gas .....  $5312 \text{ Nm}^3/\text{min}$
  - $V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{CO}_2}$  .....  $41 + 1129 = 1170 \text{ Nm}^3/\text{min}$
  - Total gas volume :  $G = 7470 \text{ Nm}^3/\text{min} \rightarrow \text{calculate by } 7188 \text{ Nm}^3/\text{min}$
- (e) Retention time  $T \text{ (sec)}$        $T = V \text{ (m}^3) / G \text{ (m}^3/\text{s}) = 1.53 \text{ (sec)}$

微粉炭の燃焼を考えるとかなり滞留時間は短い。

< F.F furnace and Trunk duct の概略寸法図 >



## (2) 輻射並びに放射熱損失の計算

従来、熱勘定を行う場合、シェル損失熱は入熱の差から雑損失熱の一部として取り扱われているに過ぎないが、その値はキルン操作による雑損失熱を含むために非常に差がある。ここで、シェル損失熱の概数が求められるならば、本当の意味の雑損失熱が求められ、そこに操作上の不備、又は測定上の不備などの欠点の有無を予想することが出来、熱勘定を行う意義が認められるようになる。

放散熱量を測定する方法としては、最近進歩の著しい熱流計を用いて直接測定した方が便利で、精度も期待できるが、今回は放射表面温度計を使って表面温度を測定し、放散熱量を計った。

### [ キルンからの放散熱、対流熱について ]

キルンシェルからの放散熱についての一般式は、次の式で示される。

$$Q = \Sigma F \cdot \alpha (t_s - t_a)$$

ここに Q: 1時間当たりの全放熱量 (kcal/h) {kJ/h}

F: セクション毎の表面積 (m<sup>2</sup>)

$\alpha$ : 表面からの熱伝達係数 (kcal/h) {kJ/h}

t<sub>s</sub>: シェルの表面温度 (°C)

t<sub>a</sub>: 外気温度 (°C)

この $\alpha$ の値は対流伝熱係数と放射伝熱係数の合計であるが、その値は文献によってかなり差異がある。

放射熱と対流熱を求める式として通常、次式が使われる。

#### <放射損失熱>

$$H_r = \varepsilon \alpha T^4 \text{ (kcal/m}^2\text{h) } \{ \text{kJ/m}^2\text{h} \}$$

$\varepsilon$ : Emissivity

$\alpha$ : Stefan-Boltzmann 常数  $4.9 \times 10^{-8}$

T: 絶対温度 (K) (273 + t°C)

#### <対流損失熱>

$$H_c = C \times 1.66 \times (t - t_s)^{5/4} \text{ (kcal/m}^2\text{h) } \{ \text{kJ/m}^2\text{h} \}$$

t: 放熱体の表面温度 (°C)

t<sub>s</sub>: 外気温度 (°C)

C: 対流損失常数 (表面の状態による)

垂直な面 still-air の場合 C = 1.0

1 m以上の水平円筒の場合 C = 1.2

上式により、表 12-19 の表面温度測定結果を基に放散熱量を計算した。計算結果を表 12-23 に示す。

**Table 12-23 Calculating Results of Radiation and Convection Heat Loss**

- [A] Operating condition ; Limestone = 7,192 t/d, Coal shale = 2,010 t/d Clinker production = 5,130 t/d  
 Fuel oil = 64.54 kl/d Fuel coal = 320.82 t/d Heat consumption = 980.6 kcal/kg-cli.  
 [B] Calculating condition ; Assumption of emissivity ;  $e = 0.9$  (kiln shell),  $e = 0.55$  (cooler / preheater / tertiary duct)  
 Coefficient of convection loss  $C = 1.2$  (kiln/tertiary air duct), 1.0 (cooler/preheater cyclone/ etc.,)  
 Atmospheric temperature = 35°C  
 Radiation heat loss ;  $Hr = 4.9 \times 10^{-8} \cdot e \cdot A \cdot (T^4 - Ts^4)$   
 Convection heat loss ;  $Hc = C \cdot 1.66 \times (T - Ts)^{5/4}$

Measuring place	Surface Area (m <sup>2</sup> )	Ave surface Temp (°C)	Hr (kcal / m <sup>2</sup> h)	Hc (kcal / m <sup>2</sup> h)	Hr + Hc		H (10 <sup>3</sup> kcal/kg-cli)
					(kcal / m <sup>2</sup> h)	(kcal / h)	
<b>[A] Kiln Part</b>							
Kiln hood	186.1	157	678.8	807.8	1,486.6	276,656.3	1.29
Kiln shell	0 - 5 (m)	320 (198)	5,061.0	2,332.6	7,393.6	641,394.8	
	5 - 10 (m)	210 (165)	2,007.6	1,267.9	3,275.5	284,149.6	
	10 - 15 (m)	190 (138)	1,634.1	1,089.4	2,723.5	236,263.6	
	15 - 25 (m)	210 (179)	2,007.6	1,267.9	3,275.5	568,299.3	
	25 - 35 (m)	250 (172)	2,907.0	1,640.0	4,547.0	788,904.5	
	35 - 45 (m)	225 (180)	2,320.0	1,405.2	3,725.2	646,322.2	
	45 - 55 (m)	180 (163)	1,464.6	1,002.3	2,466.9	428,007.2	
	55 - 65 (m)	210 (173)	2,007.6	1,267.9	3,275.5	568,299.3	
	65 - 74 (m)	220 (179)	2,212.7	1,359.1	3,571.8	557,736.6	
Sub-total	1,283.9	224 (172)	—	—	—	4,719,377.1	22.08
<b>[B] Cooler Part</b>							
Cooler ceiling / under kiln hood	186.9						
Cooler both side walls	524.4						
Cooler front / back side walls	94.0						
Sub-total	805.3	118	390.1	415.9	806.0	648,991.2	3.04
<b>[C] Tertiary Air Duct</b>							
Outlet duct / dust chamber	202.0	143	567.3	693.5	1,260.8	65,561.6	
Tertiary air duct	704.0	113	358.5	461.8	820.3	123,045.0	
Sub-total	906.0	110 (122)	340.0	439.7	779.8	548,979.2	3.45

Measuring place	Surface Area (m <sup>2</sup> )	Ave surface Temp (°C)	Hr (kcal / m <sup>2</sup> h)	Hc (kcal / m <sup>2</sup> h)	Hr + Hc		H (10 <sup>3</sup> kcal / kg-cl)
					(kcal / m <sup>2</sup> h)	(kcal / h)	
<b>(D) Preheater cyclone</b>							
(1) Top cyclone (A) Inlet duct	118.8	193	1031.0	1,115.9	2,146.9	255051.7	
Body / chute	357.1	55	72.1	84.3	156.4	55850.4	
(2) Top cyclone (B) Inlet duct	118.8	159	698.8	824.3	1,523.1	180,944.3	
Body / chute	357.1	47	42.8	44.5	87.3	31,174.8	
(3) C2 cyclone (A) Inlet duct	150.7	113	358.5	461.8	820.3	123,619.2	
Body / chute	187.5	126	443.2	559.9	1,003.1	188,081.3	
(4) C2 cyclone (B) Inlet duct	150.7	126	443.2	559.9	1,003.1	151,167.2	
Body / chute	187.5	112	352.3	454.4	806.7	151,256.3	
(5) C3 cyclone (A) Inlet duct	98.0	118	390.1	499.0	889.1	87,131.8	
Body / chute	188.6	133	492.4	614.2	1,106.6	208,704.8	
(6) C3 cyclone (B) Inlet duct	98.0	115	371.0	476.6	847.6	83,064.8	
Body / chute	188.6	140	544.2	669.5	1,213.7	228,903.8	
(7) C4 cyclone (A) Inlet duct	167.1	119	396.5	506.6	903.1	150,908.0	
Body / chute	297.1	115	371.0	476.6	847.6	251,822.0	
(8) C4 cyclone (B) Inlet duct	167.1	183	925.4	1,028.3	1,953.7	326,463.3	
Body / chute	297.1	118	390.1	499.0	889.1	264,151.6	
(9) C5 cyclone (A) Body / chute (Bottom cyclone)	272.0	144	575.1	701.6	1,276.7	347,262.4	
(10) C5 cyclone (B) Body / chute (bottom cyclone)	272.0	166	761.1	882.8	1,643.9	447,140.8	
(11) Trunk duct (Outlet duct of F.F furnace)	380.4	116	377.3	484.1	861.4	327,676.6	
(12) F.F Furnace (A) line (B) line	245.0 245.0	117 135	383.6 506.9	491.5 629.9	875.1 1,136.8	214,399.5 278,516.0	
(13) Rising Duct (include kiln inlet hood)	227.1	186	956.4	1,054.4	2,010.8	456,652.7	
Sub-total	4,771.3	(129)	—	—	—	4,809,943.3	22.51
<b>Total</b>	7,952.5	—	—	—	—	11,192,552.0	52.38

輻射並びに放射熱損失はキルン生産量によっても異なる。それ故、ほぼ同じ生産規模の日本の代表的なキルンの場合と比較して下記に放散熱量を示す。

[ 単位 : kcal / kg-cli. ]

対象	キルン APMC 社 ( 5,000 t/d 規模 )	代表例 ( 4,000 t/d 規模 )	代表例 ( 5,000 t/d 規模 )
キルン	22.1	26.4	24.8
プレヒーター (含む、仮焼炉)	22.5	19.1	18.0
クーラ、マントル 抽気ダクト	7.8	8.4	7.0
合 計	52.4	53.9	49.8

表面温度を測定し、輻射並びに放射熱損失を計算した結果、次の事が判った。

- a) 本工場の焼成設備からの輻射並びに放射熱損失は 52.4 kcal/kg-cli.と平均的な数値を示している。
- b) 又、上表から判るようにキルン部での熱損失は若干少ないが、プレヒーター部からの熱損失が若干高い。
- c) 唯、キルン窯尻部でのキルン・セル表面温度が通常のキルンと比べ高い。

#### 12-9-4 データ解析並びに結論

エネルギー診断で実施した諸測定の結果及び既存データの調査、解析の結果から、本工場の設備機器あるいは運転に関し、下記事項が明確になった。

- (a) 使用熱量が 950 から 970 kcal/kg-cli. と高い。
- (b) 抽気風量（3 次空気量）測定結果では F.F 炉燃料燃焼に必要な空気量 (2,900 Nm<sup>3</sup>/min) に対し、約 60% であった。この事は F.F 炉で約 40% の燃料が燃焼する空気量が不足していることを示す。
- (c) ガス、マテリアル並びに熱バランスを計算し、その結果を表 12-24 に示す。主な数値は下記の通りである。

1) 使用熱量	924.7 kcal/kg-cli.
2) クーラ熱回収効率	52.8 %
3) クーラ排ガス持ち去り顕熱	145.2 kcal/kg-cli.
4) プレヒーター排ガス持ち去り顕熱	315.1 kcal/kg-cli.

この 3) + 4) = 460.3 kcal/kg-cli. の排ガス持ち去り顕熱は非常に大きい。廃熱発電に利用し回収すべきである。
- (d) C3 と C4 サイクロンの圧力損失はその他のサイクロンに比べやや大きい。このサイクロンに対し圧力損失低減の対策を検討すべきである。
- (e) C5 (最下段) サイクロンの集塵効率の計算結果は約 66.3% と悪い。集塵効率を上げれば多少圧力損失は上がり電力原単位増にはなるが、排ガス温度が低下し、熱量が低減する効果がある。
- (f) O<sub>2</sub> % の記録紙から以下の事が確認出来る。
  - 1) 窯尻 O<sub>2</sub> % の場合、短期間変動は約 0.6~1.0% であり長期変動は約 1.4~1.6% である。
  - 2) C5 サイクロン出口 O<sub>2</sub> % の場合、15 分周期の変動、O<sub>2</sub> の変動は約 0.6~2.5% である。これは石炭供給設備の供給精度と、プレヒーター並びにキルン系の排ガス変動に起因していると考えられる。
- (g) F.F 炉における燃料の燃焼状況を確認するために窯入り原料のカロリーを測定した。その結果は平均して 213 kcal/kg であった。マテリアル・バランスを仮定（12-9-3 章 (1)-3 を参照）して計算した結果、約 35 から 40% の未燃カーボンが発生している。これは (b) の結果とほぼ一致する。それらの計算結果を 12-9-3 (1) に示す。



## 12-10 工場のエネルギー・フロー

### 12-10-1 エネルギー・フロー

#### (1) キルン系熱精算

エネルギー・フローの解析のため、キルン系の熱精算を行った。その結果を表 12-25 に示す。

Table 12-25 Calculation of Heat Balance

Heat Intake		
Items	Heat kcal/kg-cli.	(%)
(1) Heat of combustion of fuel	563.1	58.0
(a) Kiln fuel coal	170.4	
(b) F.F fuel oil	136.1	
(c) F.F fuel coal	256.6	
(2) Sensible heat of fuel	1.3	0.1
(a) Kiln fuel coal	0.4	
(b) F.F fuel oil	0.3	
(c) F.F fuel coal	0.6	
(3) Heat of combustion of material	361.6	37.2
(4) Sensible heat of material	20.4	2.1
(5) Sensible heat of primary air	1.5	0.2
(a) Kiln ( primary air + coal conveying air )	0.4	
(b) F.F furnace ( primary air + coal/shale conveying air )	1.1	
(6) Sensible heat of cooling air of coolers	22.9	2.4
Total (1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)	970.8	100.0

Heat output		
Items	Heat kcal/kg-cli.	(%)
(7) Heat for clinker burning	412.5	42.5
(8) Sensible heat taken away by clinker	25.9	2.7
(9) Sensible heat taken away by exhaust gas from cooler	145.2	15.0
(10) Heat of vaporization of water content in materials	9.5	1.0
(11) Sensible heat taken away by exhaust gas from preheater	315.1	32.4
(12) Sensible heat taken away by dust	10.2	1.0
(13) Heat loss due to radiation ,etc.,	52.4	5.4
Total (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12)+(13)	970.8	100.0

本工場では原料に頁岩を使用している為、原料の持込みカロリーが 361.6 kcal/kg-cli.となり持ち込み熱量の約 37.2%と高いのが特徴である。又、プレヒーター及びクーラー排ガスの持ち去り顕熱も高く、全体熱量の約 47.5%に達する。

## (2) 工場全体のガス・フロー並びに熱エネルギー・フロー

測定結果を基に工場全体のガス、物質及び熱バランスを計算するのは非常に難しい。そこで第 1 に安定時のキルン運転データ、第 2 にエネルギー診断時の測定データそして第 3 に既存の工場エンジニアによる測定データ等を考慮して、計算を行った。その結果を表 12-24 に示す。又、工場全体のガス並びに熱エネルギー・フローを図 12-14 及び図 12-15 に示す。

計算結果からおおよそ次の事が明確になった。

### 1) ガス・バランスの結果

- a) 系全体で漏入空気量は全体排ガス量の約 29.5%に達する。
- b) キルン系での漏入空気量は排ガス量の約 15.5%である。
- c) クーラー系での漏入空気量はクーラー排ガス量の約 28.2%である。
- d) プレヒーター排ガス量は 2.11 Nm<sup>3</sup>/kg-cli.と通常の NSP キルンと比べかなり多い。

### 2) 熱バランスの結果

- a) 焼成熱量は 924.7 kcal / kg-cli.と通常の NSP キルンと比べかなり高い。
- b) 燃料消費はそれぞれ、キルンが 170.4 kcal/kg-cli.、F.F 炉が 754.3 kcal/kg-cli.で F.F 炉で全体の約 82%の燃料を燃焼させている。この燃料割合は通常の NSP キルンと比較し異常である。
- c) クーラ排ガス持ち去り顕熱 145.2 kcal/kg-cli.が利用されずに捨てられている。プレヒーター排ガス顕熱 315.1 kcal/kg-cli.の一部 149.2 kcal/kg-cli.が原料と石炭乾燥に使われ、残りの 165.9 kcal/kg-cli. は利用されていない。  
この排ガス顕熱を如何に有効に利用するかが、省エネルギーの対策となる。
- d) クーラ熱回収効率は 52.8%と非常に悪い。これは抽気風量が少なく、排ガス風量が多い事により抽気風量が十分 F.F 炉の燃焼に使われていない為である。

**Table 12-24 Gas, Material and Heat Balance Data < APMC Rawang Works >**

Calculated based on operation data of 25/Feb. '98 and related measuring data

ITEM	Material	Gas / Air	Tg / Tm	Heat
PROCESS	(t/h) (kg/kg-cli.)	(Nm <sup>3</sup> /Min) (Nm <sup>3</sup> /kg-cli.)	( °C )	(kcal/kg-cli.)
(A) Clinker Production	<b>5,250 ( t/day )</b> 218.7 1.0000			
(B) Raw Material				
(1) Limestone	293.9 1.3439		55	
(2) Coal Shale	77.6 0.3548		72	
(1) + (2)	371.5 1.6987			
(C) Fuel				
(3) Kiln Fuel Coal	5.7 0.0261		59	170.4
(4) F.F Fuel Oil	3.1 0.0142		52	136.1
(5) F.F Fuel Coal	8.6 0.0393		59	256.6
(6) F.F Fuel Coal Shale	77.6 0.3548		72	361.6
<b>Heat Consumption</b>				<b>924.7</b>
(D) Cooler				
(7) Cooler Inlet	— 1.0719		( 1350 )	369.0
(8) Cooler Outlet	— 0.9685		141	- 25.9
(9) Cooler Quenching Air		7700 <b>2.1125</b>	35	22.9
(10) Secondary Air		760 0.2085	1226→900	- 62.6
(11) Tertiary Air		*1710 0.4601	* 825	- 128.5
(12) Exhaust Gas		*5250 1.4403	* 354	- 145.2
(13) Cooler~GBF leakage		2060 0.5652	35	( 6.1 )
(14) GBF Outlet	Fly Dust 35.2kg/h 90mg/Nm <sup>3</sup>	7310 <b>2.0055</b>	( 185 )	( - 115.0 )
<b>Cooler Efficiency</b>				<b>η=52,8(%)</b>
(E) Kiln				
(15) Kiln Fuel Coal	5.7 0.0261	— —	59	170.4
(16) Primary Air	— —	* 50 0.0137	32	0.1
(17) Coal Transport. Air	— —	78 0.0214	40	0.4
(18) Kiln Inlet Gas	— —	988 <b>0.2711</b>	1076→900	(Ref 87.7)
(a) Combustion Gas	— —	705 0.1862	—	
(b) Excess/Leakage Air	— —	283 0.0776	—	
(F) Preheater				
(19) F.F Fuel Oil	3.1 0.0142		52	136.1
(20) F.F Fuel Coal	8.6 0.0393		59	256.6
(21) F.F Fuel Coal Shale	77.6 0.3548		72	361.6
(22) Limestone	293.9 1.3439		55	—
(23) Primary Air		186		
(24) Coal Transport. Air		45 0.0853	40	1.1
(25) C/S Transport. Air		80		
(26) F.F Outlet Gas		6442 <b>1.7673</b>		
(a) Combustion Gas		4632 1.2708		
(b) Vco2 + H <sub>2</sub> O		1130 0.3100		
(c) Excess/Leakage air		680 0.1866		

Note : \* Measuring data during Energy Audit

ITEM	Material	Gas / Air	Tg / Tm	Heat
PROCESS	(t/h)(Kg/kg-cli.)	(Nm <sup>3</sup> /min) (Nm <sup>3</sup> /kg-cli.)	( °C )	(kcal/kg-cli.)
(27) Preheater Outlet Gas		<b>*7703</b> <b>2.1133</b>	445	- 315.1
(a) Combustion Gas		5337    1.4644		
(b) Vco2 + H <sub>2</sub> O		1130    0.3100		
(c) Moisture in R.Meal		40    0.0110		
(d) Excess/Leakage air		1195    0.3278		
(e) Fly Dust	27.8    0.1271	—    —		- 10.2
(G) Coal Dryer / Mill				
(28) Hot Gas		410 <b>0.1125</b>	230	- 8.7
(a) P.H. Exhaust Gas		213    0.0585	420	
(b) Ambient Air		200    0.0549	35	
(29) Coal Mill	14.44    0.0660			
(a) Hot Gas		121    0.0332	230	
(b) Leakage Air		189    0.0519		
(c) Exhaust Gas		310    0.0851	75	
(30) Coal Dryer	15.2    0.0695			
(a) Hot Air		289    0.0793	230	
(b) Leakage Air		174    0.0478		
(c) Moisture of Coal		16    0.0043		
(d) Exhaust Gas		479    0.1314	75	
(H) Coal Shale Dryer / Mill				
(31) Coal Shale Dryer	90    0.4115			
(a) Hot Gas		2120    0.5816	436	-88.8
(b) Leakage Air		818    0.2244		
(c) Exhaust Gas		3180    0.8724	160	
(32) Coal Shale Mill	78.3    0.3580			
(33) C/S Dryer/ Mill outlet		305    0.0837	74	
		3485 <b>0.9561</b>		
(I) Limestone Mill				
(34) Roller Press/H-Mill	100    0.4572			
(a) Hot Gas		469    0.1286		
(b) Leakage Air		234    0.0642		
(c) Exhaust Gas		786    0.2156	75	
(35) Limestone Mill	260    1.1888			
(a) Hot Gas		814    0.2234	420	
(b) Leakage Air		244    0.0669		
(c) Moisture of L/stone		216    0.0593		
(d) Exhaust Gas		1274    0.3496	120	
(36) L/Stone Line Outlet		2060 <b>0.5651</b>		
(J) G.C.T				
(37) G.C.T Line				
(a) Hot Gas		4087    1.1213	420	-165.9
(b) Leakage Air		366    0.1002		
(c) Spray Water	50	934    0.2561		
(d) Exhaust Gas		5386 <b>1.4776</b>		
(K) E.P for Limestone ( I )	Flydust    10.7kg/h	3700    1.0151	112	- 39.2
(L) E.P for Limestone ( II )	15.4kg/h	3745    1.0274	130	- 46.7
(M) E.P for Coal Shale	1.27kg/h	3485    0.9561	140	- 46.8
(K) + (L) + (M)		<b>10930</b> <b>2.9986</b>		- 132.7

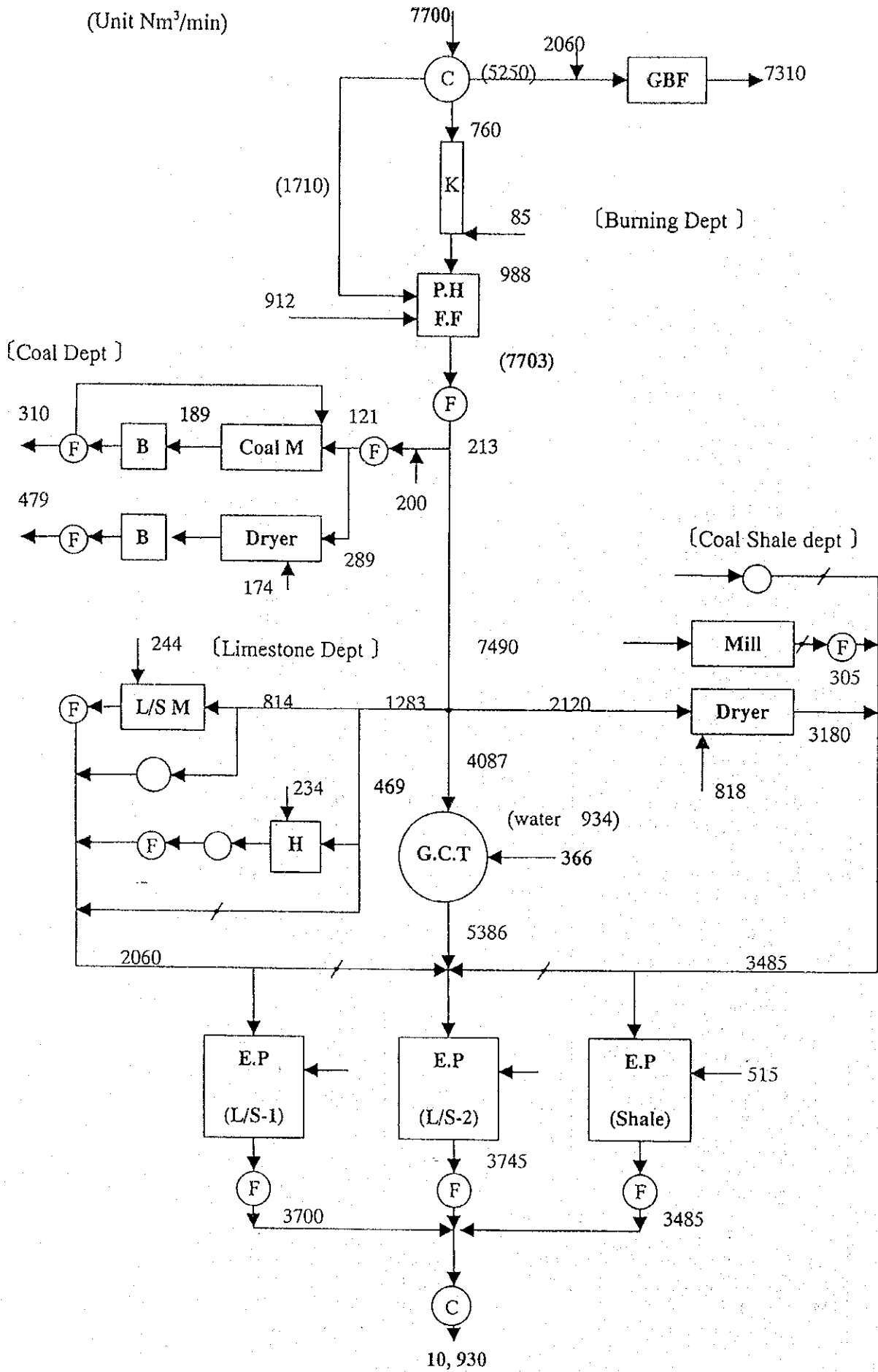


Fig. 12-14 Gas Flow Diagram

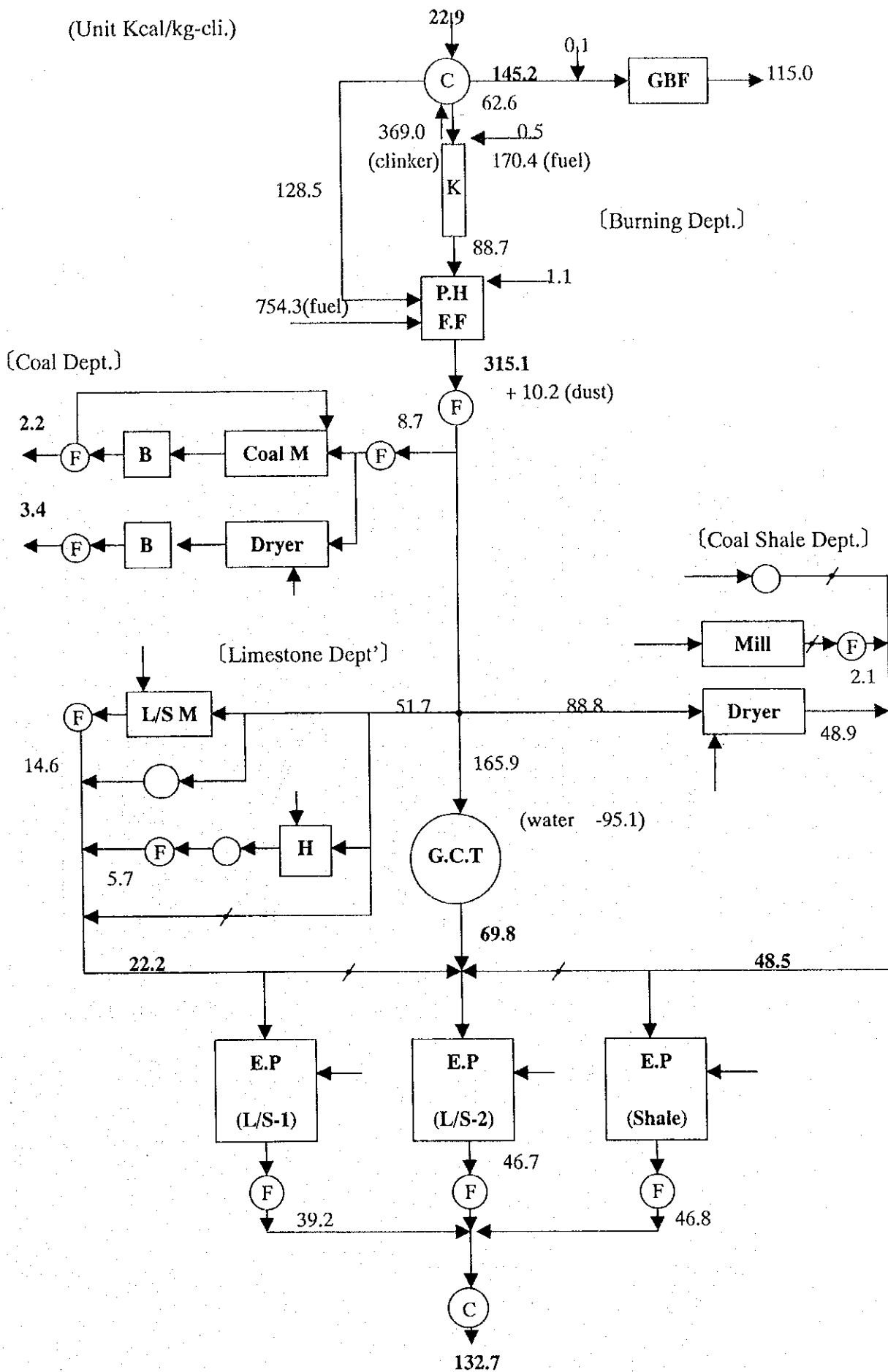


Fig. 12-15 Heat Flow Diagram

## 12-10-2 エネルギー消費原単位

表 12-10 並びに表 12-28 に、マレーシア APMC 社ラワン工場のエネルギー消費原単位の推移と、日本のセメント工業全体のエネルギー消費原単位の推移を示す。

又、図 12-18 並びに図 12-19 に日本セメント産業の過去 25 年間の使用熱量原単位並びに、電力使用原単位の推移を示す。同時に、図中に各国のセメント産業の現時点での使用熱量、電力原単位を記入した。

**Table 12-10 Malaysia APMC Rawang Works Data**

Year	Cl. Production, Ratio (tonnes/year) (%)	Kiln Operation rate(%)	Heat Cons. (kcal/kg-cl.)	Power Con. (kWh/t-cem)	Labor Productivity(t/m)
1992	999,070 100	76.4	952	131.3	(1780)
1993	1120,055 112.3	82.9	1071	137.1	—
1994	1299,175 130.3	84.5	1124	138.9	—
1995	1474,031 147.8	86.1	984	129.8	—
1996	1554,895 155.9	87.1	912	130.3	—
1997	1560,055 156.5	88.6	915	134.2	2,786

**Table 12-28 Trends of Energy Consumption in Japan**

[ Statistic Data of Japan Cement Industry ]

Year	Cl. Production (1000 t/y)	Ratio (%)	Kiln Operation rate(%)	Heat Con. (kcal/kg-cl.)	Power Con. (kWh/t-cem)	Labor Productivity (t/m)
1992	87,391	100	n.a.	730.5	95.3	12,459
1993	87,436	100.1	n.a.	724.3	95.4	12,798
1994	89,695	102.6	n.a.	725.6	94.4	13,681
1995	89,095	101.9	n.a.	728.0	95.1	15,282
1996	91,599	104.8	n.a.	709.6	95.8	17,338
1997	88,462	101.2	n.a.	683.1	97.8	16,824

Note: n.a. = not available

マレーシア全体のセメント産業のエネルギー消費原単位が判らないが、この表から判るように APMC 社ラワン工場のエネルギー消費原単位は、日本のエネルギー消費原単位と比較すると非常に高い事が判る。

又、省エネルギーとは直接関係ないが、労働生産性は日本の 6 分の 1 以下と低い。

概算のエネルギー原単位差は下記の通り。

- (1) 使用熱量原単位 : + 210 kcal/kg-cl.
- (2) 電力原単位 : + 37 - 38 kwh/t-cem
  - 原料部門 : + 5 - 6 "
  - 焼成部門 : + 14 - 18 "
  - 仕上部門 : + 4 - 5 "
  - その他 : + 10 - 11 "

但し、部門毎の電力原単位の比較は、範囲の決め方によりかなり変わる。

### 12-10-3 エネルギー管理と省エネルギー上の問題点

セメント工場の場合のエネルギー原単位は、工場プラント建設時の工場レイアウト並びに主要機器の選定と、その設計によってほぼ決まると云える。それ故、プラント建設の契約では必ず、熱量原単位並びに電力原単位の保証が求められる。

更に、建設後の運転並びに、機械設備の保守管理の善し悪しでも、熱量、電力原単位は、その影響を受ける。

本工場の場合、基本的に次の事項がエネルギー管理並びに省エネルギー上の問題である。

#### (A) 設備面

- (1) 通常的水泥・プラントと異なり、石灰石原料と粘土原料としての頁岩を別粉碎し、別サイロに貯蔵。サイロから曳き出した石灰石原料はプレヒーターのトップ・サイクロン入口に、また、頁岩原料はプレヒーター下部の F.F 炉に別々に送入している。本システムは本工場が世界で唯一の例である。  
このシステムがプレヒータ部において、石灰石原料の再炭酸化と、運転上の問題 (B)-(3) を起こし、熱量が高くなっている原因と考えられる。
- (2) 粉末原料並びにセメントの輸送に空気輸送システムを採用している。
- (3) クーラー排ガス処理に集塵効率が悪く、圧力損失の大きい GBF を設置している
- (4) 石炭燃料転換後、乾燥、粉碎を同時に行う縦型石炭ミルを採用しているに係わらず、石炭乾燥機が設置されている。又、本石炭ミル能力は、キルン増産に伴い能力不足。
- (5) 増産工事、並びに燃料転換工事に伴うプレヒーター並びに仮焼炉 (F.F 炉) の改造が不十分。(a) F.F 炉の炉内容積が小さい。(b) サイクロン・プレヒーターの圧損が大きい等。
- (6) 小型の既設セメント・ミル4基を残し、使用している。

#### (B) 運転面

- (1) 当初の設計 4,000 t/d プラントを 5,000 t/d に改造し、運転している。
- (2) 当初は重油焼成であったが、現在石炭燃料で運転している。しかし、上記増産に伴い石炭ミル能力不足になり、一部重油を使用している。
- (3) カロリーを持っている頁岩を粘土原料に変わり使用している。
- (4) 設備面 (A)-(1) に起因するが、キルン燃料(Fk)と F.F 炉燃料(Fs)の燃比割合は、通常  $Fk/Fs=40/60$  であるが、本キルンでは  $Fk/Fs=18/82$  と極端に F.F 炉の燃比割合が高い。
- (5) 同じく設備面 (A)-(1) に起因するが、石灰石原料と頁岩が別粉碎、別送入の



ため、窯入り原料の均斉化が悪い。

(6) クーラーは最新式 CFG クーラーに改造されているが熱回収効率が悪い。

### (C) チェック・リストからの問題点

上記の問題とは別に、省エネルギーの観点から既設設備をチェック・リストを使い診断した。即ち、省エネルギー診断時、工場エンジニアと協力し、表 12-26 「省エネルギー - 既設設備のチェック・リスト」に従って、各工程毎に現状設備並びに運転状況を A( 良い )、B( 普通 )、C( 悪い ) の3段階でチェックした。

結果は、全チェック項目 172 項目に対し、下記の通りである。

A = 26 ( 16.4 % )

B = 94 ( 59.1 % )

C = 39 ( 24.5 % )

この結果から、12-9 章「測定結果」から得られた結論とは別に、工場での省エネルギーに関連した問題点が具体的に明確になった。特に省エネルギーに関連して問題となる C( 悪い ) が全体の 25 % (39 項目) あり、工場の省エネルギー対策として取り組むべき事項である。

Fig. 12-18 Trend of Heat Consumption in Japan

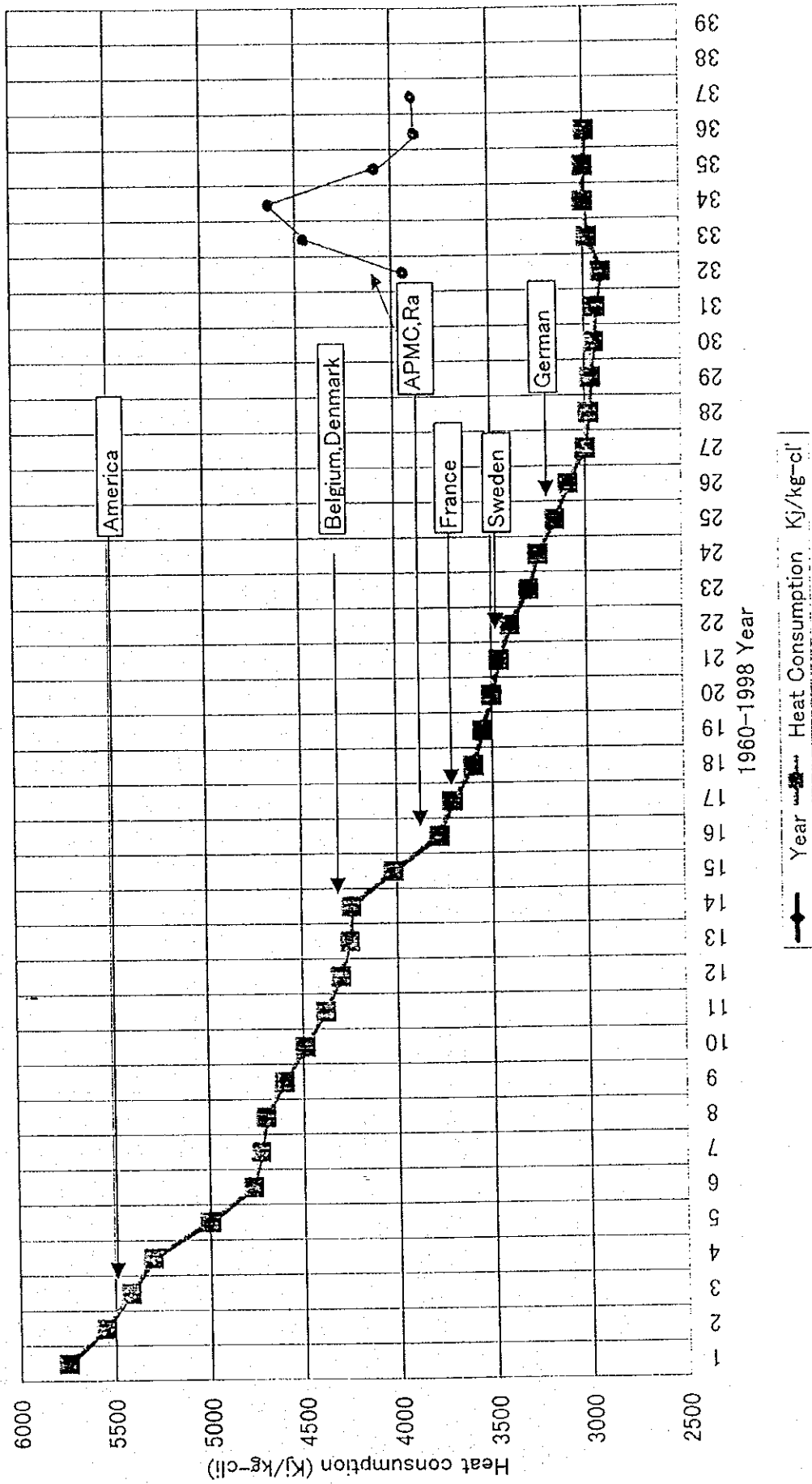


Fig. 12-19 Trend of Power Consumption in Japan

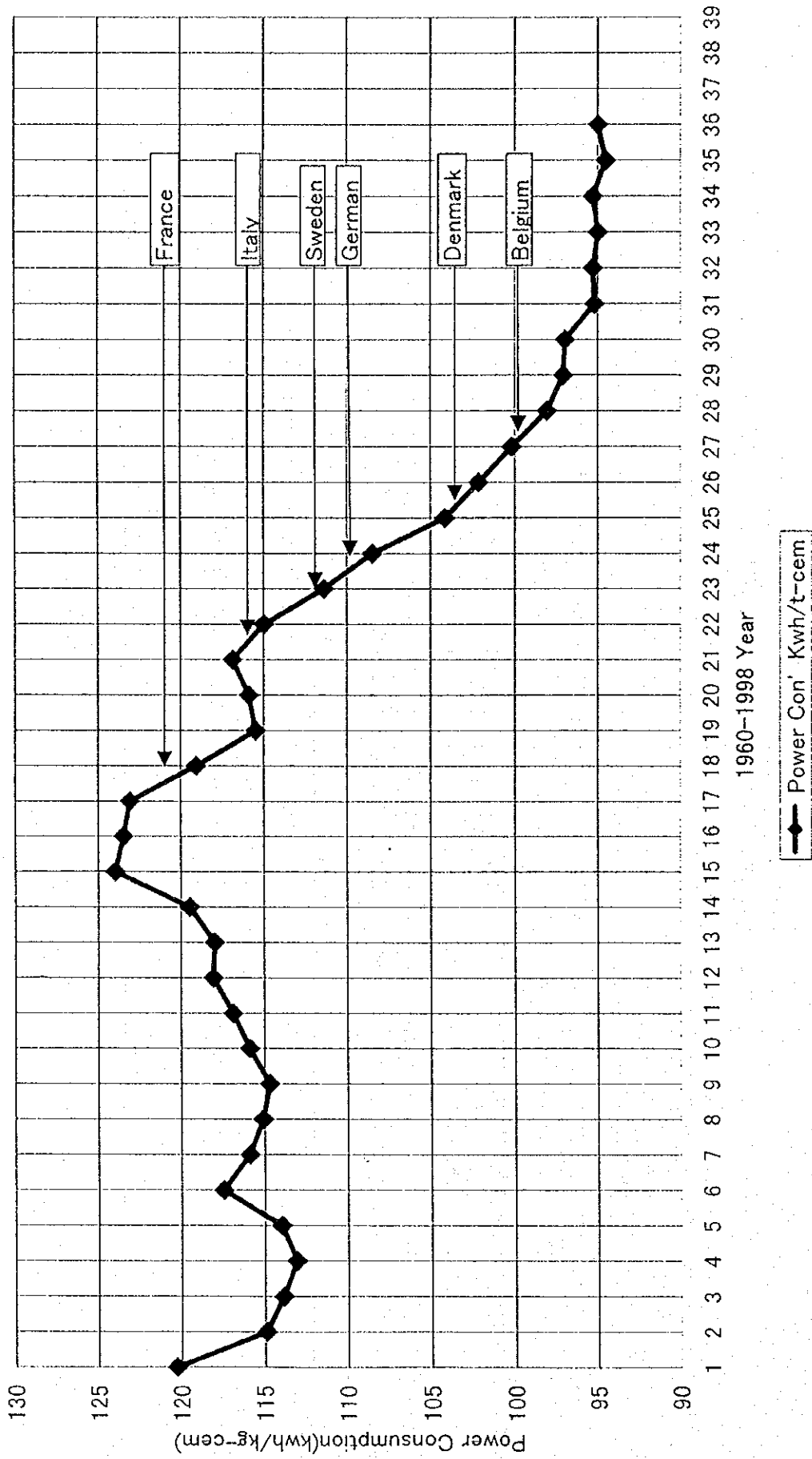


Table 12-26 Energy Efficiency Promotion – Checklist for Existing Equipment

A; 適 (有り)、B; 普通 (平均)、C; 不適 (無し)

工 程	関連設備	チェック 項 目	ポ イ ント A, B, C,	記 事 欄
原料工程	[1] 石灰石粉碎シ Cyclone-Separator	(1) 原料シ部門でのリク防止は良いか	B	リクの有無確認
		(2) シ出口部のリク防止は良いか	B	"
		(3) 粉碎系集塵エヤの調整は良いか	B	発塵の有無確認
		(4) シ電力は最適値で運転されてるか	B	
		(5) 出粉 BE 電流/電力値は適切か	B	
		(6) ライナは過度に摩耗していないか	A	
		(7) ボール投入量、サイズは適切か	A	1, 2室
		(8) 屑、割れボールがシ内に多量に残留してないか	A	
		(9) グリッド蓄積によるシ詰りがないか	A	
		(10) 2室における詰りはないか	A	
		(11) ボールの空打現象が起きていないか	A	
		(12) ボールサイズの逆転現象がないか	A	目巾 開孔比
		(13) スリット目巾、開孔比、摩耗は適正か	B	中仕切 14mm 13.6%
		(14) セパレータ羽根枚数、摩耗は適切か	B	出口仕切 16mm 10.8%
		(15) セパレータの回転数は最適か	A	
		(16) セパレータ駆動ベルトの緊張は	—	Vベルト・スリップ 確認
		(17) 循環ファン運転は適切か	A	30Nm3/min/(t/h)
		(18) 原料粉末度の管理値は適切か	B	粉末粗大化
		(19) 抽気ダクトの調整は最適か	B	循環風量の約 20%
		(20) 循環ダクト内のダスト堆積は	A	
		(21) サイクロン下 F/D の作動は十分か	B	F/D のシム性確認
		(22) 原料精粉の水分管理は適切か	C	w=1.0-1.5(%)
		(23) AS の空気量は適切か	B	
[2] Roller Press	(24) 解砕機入口部のリク防止は良いか	C	リクの有無確認	
	(25) サイクロン下 F/D の作動は十分か	—	F/D のシム性確認	
	(26) 原料粉末度の管理値は適切か	C	粉末度粗大化	
	(27) 原料精粉の水分管理は適切か	C		
	(28) サロ上集塵エヤの調整は良いか	B	発塵の有無確認	
[3] 頁岩乾燥機	(29) ドライヤ-入口部リク防止は良いか	C	リクの有無確認	
	(30) ドライヤ-出口部リク防止は良いか	C	"	

		(31) 排ガス温度の管理値は適切か (32) 出口頁岩の水分管理は適切か (33) ドライヤ-の保温施工は十分か	B C C	w=1.0-1.5(%)
	[4] 頁岩粉碎ミル Cyclone Separator	(34) ミル原料送入部のリ-ク防止は良いか (35) ミル出口部のリ-ク防止は良いか (36) 粉碎系集塵イ-の調整は良いか (37) ミル電力は最適値で運転されてるか (38) 出粉 BE 電流/電力値は適切か (40) ミル・ライフ-は過度に摩耗してないか (41) ボール投入量、サイズは適切か (42) 屑、割れボールがミル内に多量に残留してないか (43) グリッド 蓄積によるミル詰りが無いか (44) 2室に於ける詰りは無いか (45) ボールの空打現象が起きていないか (46) ボール・サイズの逆転現象が無いか (47) スリット目巾、開孔比は適正か (48) ハ-レター-羽根枚数、摩耗は適切か (49) ハ-レター-の回転数は最適か (50) 循環ファン-の運転は適切か (51) 頁岩粉末度の管理値は適切か (52) 抽気ダ-ンパ-の調整は最適か (53) 循環ダ-クト内のダ-スト堆積は (54) サイクロン下 F/D の作動は十分か (55) 頁岩精粉の水分管理は適切か (56) AS の空気量は適切か (57) 頁岩原料の加リ-変動はどうか	B B B B B A A A A A A A A B B A A B B A B B B B	リ-クの有無確認 " 発塵の有無確認          目巾 開孔比 中仕切 14mm 13.6% 出口仕切 16mm 10.8%  30Nm3/min/(t/h) 粉末度粗大化 循環風量の約 20%  F/D のシ-ル性確認 w=1.0-1.5(%)
石炭工程	[5] 石炭乾燥機	(58) 熱風配管系のリ-ク防止は良いか (59) Bag-Filter 系統でのリ-ク防止は良いか (60) 排ガス温度の管理値は適切か	C C B	リ-クの有無確認 "  
	[6] 石炭ミル	(61) 緊張油圧設定値は最適か (62) ダム・リング の高さは適切か (63) ブレード・リング通風面積は適切か (64) ミル差圧とハ-レター-回転数の関係は適切か (65) ミル本体、サイクロン等のリ-ク対策は十分か (66) ミル排ガス温度の管理値は適切か	B B B B A B	リ-クの有無確認

		(67) テ-ブル-ライ-ロー-ウの摩耗は？ (68) 粉碎量が低下してないか (69) 輸送機、他集塵イ-の調整は良いか (70) 石炭粉末度の管理値は適切か (71) 微粉炭計量器の精度管理は良いか	B B B B B	発塵の有無確認 90μ ± 1.0% → ± 1.6kcal
焼成工程	[7] 原料送入系統 石灰石原料 (原料サイロ曳出- プ-レ-ヒ-ター-送入迄)  頁岩原料 (頁岩サイロ曳出- F.F 炉送入迄)	(72) 輸送機系の集塵イ-の調整は良いか (73) プ-レ-ヒ-ター-送入部リ-ク防止は十分か (74) 石灰石粉末度は適切か  (75) 輸送機系の集塵イ-の調整は良いか (76) F.F 炉送入部リ-ク防止は十分か (77) 分割送入は均一、適切か (78) 頁岩粉末度は適切か	B B B  B A NA B	発塵の有無確認 リ-クの有無確認  発塵の有無確認 リ-クの有無確認
	[8] プレヒーター C1 Top Cyclone  C2 Cyclone  C3 Cyclone  C4 Cyclone	(79) サイロン本体は変形状況はどうか (80) 保温材の施工状況は良好か (81) サイロン表面温度は適切か (82) ウ-イトの調節は適切か (83) 各部のリ-ク防止は十分か (84) 排ガス温度/原料温度は適切か (85) サイロンの圧力損失は適切か (86) サイロン表面温度は適切か (87) ウ-イトの調節は適切か (88) 各部のリ-ク防止は十分か (89) 排ガス温度/原料温度は適切か (90) サイロンの圧力損失は適切か (91) サイロン表面温度は適切か (92) ウ-イトの調節は適切か (93) 各部のリ-ク防止は十分か (94) 排ガス温度/原料温度は適切か (95) サイロンの圧力損失は適切か (96) サイロン表面温度は適切か (97) ウ-イトの調節は適切か (98) 各部のリ-ク防止は十分か (99) 排ガス温度/原料温度は適切か (100) サイロンの圧力損失は適切か	A  C C B C C C C B B C C C B B C C C B B C C	サイロンの熱変形確認  F/D の作動状況確認 リ-クの有無確認 tg=330-350℃  F/D の作動状況確認 リ-クの有無確認 tg=495-515℃  F/D の作動状況確認 発塵の有無確認 tg=635-655℃  F/D の作動状況確認 発塵の有無確認 tg=760-770℃

	C5 Cyclone	(101) サイクロン表面温度は適切か (102) ウェットの調節は適切か (103) 各部のリーク防止は十分か (104) 排ガス温度/原料温度は適切か (105) サイクロンの圧力損失は適切か	C B B C C	F/D の作動状況確認 発塵の有無確認 tg=865-875℃
	Top-IDF Inlet Duct	(106) 保温材の施工状況は良好か (107) 煙道各部のリーク防止は十分か (108) IDF(1)(2)のバランスは良いか	— B B	リークの有無確認
	F.F 炉	(109) 燃料焚比は適切か (Fs≤60%) (110) 抽気風量は十分か (111) 微粉炭粉末度は適切か (112) 炉内燃焼状況は十分か (113) 炉出口、O2/CO の管理は適切か (114) 頁岩中の燃料の燃焼は適切か	B C B B B C	
	[9] キルン	(115) 燃料焚比は適切か (Fk≥40%) (116) 焼成帯断面積当熱負荷は適切か (117) 矽焼点温度は適切か (118) クリッ落口温度は適切か (119) 窯尻排ガス O2/CO 管理は適切か (120) マントル・ドラフト の設定値は最適か (121) キルン・バーナの燃焼状況は良いか (122) 1次空気割合は適切か (123) 微粉炭燃料粉末度は最適か	B B B B C C C C C B	$Q \geq 3,5 \times 10^6 \text{kcal/m}^3\text{h}$ tg≥1450℃ tcl≥1300℃ O2=1.2-1.6(%) 約 10-12(%)
	[10] クーラ	(124) グレート面積当り負荷は適切か (125) 全体の冷却風量は適切か (126) 高温部(1-3 室) 吹込風量は最適か (127) クーラ排気風量/温度は適切か (128) 出口クリッ温度の管理は適切か (129) クーラ集塵配管系リーク防止は良いか (130) クーラ排気の集塵は十分か (131) クーラ排気ファン2 系列のバランスは良いか (132) サイロ周辺輸送機等の集塵イヤ-の調整は良いか	B A B C C C C B C B	1.3-1.5 t/m2/h 2.3-2.5Nm3/kg-cl 1.45-1.55Nm3/kg-cl tcl=120-130℃ リークの有無確認 発塵の有無確認 発塵の有無確認
仕上工程	[11] NO 1-3 セメント 粉砕シ	(133) シル電力は最適値で運転されてるか (134) 出粉 BE 電流/電力値は適切か (135) シル音圧レベルは適切か	B B NA	1 室音圧 105-107dB

		(136) ミルライナ-は過度に摩耗してないか (137) 屑、割れボールがミル内に多量に残留してないか (138) グリッド蓄積によるミル詰りがないか (139) ボールサイズ の逆転現象がないか (140) スリット目巾、開孔比は適正か (141) 中仕切、流量コントロール弁は適切か (142) セパレータ-の回転数は最適か (143) セパレータ-駆動ベルトの緊張は適切か (144) 循環ファンの運転は適切か (145) 精粉の粉末度管理は適切か (146) 抽気ダンプ-の調整は最適か (147) 循環ダクト内のダスト堆積は (148) サイクロン下 F/D の作動は十分か (149) ミル出粉温度管理は適切か (150) ミル内(1,2 室)散水量の管理は適切か (151) 粉砕助剤の使用管理は適切か (152) 粉砕系集塵イヤ-の調整は良いか	B A B A B NA B B B B B B B B B B B B B NA B	目巾 開孔比 中仕切 6mm 6-8% 出口仕切 8-10mm 8-10% V-ベルトのスリップ 確認 30Nm <sup>3</sup> /min/(t/h) Bl=3100cm <sup>2</sup> /g 循環風量の約 20 % tcl=115-130℃ 粉砕量の 1%以下 粉砕量 x 0.02-0.03% 発塵の有無確認
	[12] NO 4-5 セメント 粉砕ミル	(153) ミル電力は最適値で運転されてるか (154) 出粉 BE 電流/電力値は適切か (155) ミル音圧レベルは適切か (156) ライナ-は過度に摩耗してないか (157) 屑、割れボールがミル内に多量に残留してないか (158) グリッド蓄積によるミル詰りがないか (159) ボールサイズ の逆転現象がないか (160) スリット目巾、開孔比は適正か (161) 中仕切、流量コントロール弁は適切か (162) セパレータ-の回転数は最適化 (163) セパレータ-駆動ベルトの緊張は適切か (164) 循環ファンの運転は適切か (165) 精粉の粉末度管理は適切か (166) 抽気ダンプ-の調整は最適か (167) 循環ダクト内のダスト堆積は (168) サイクロン下 F/D の作動は十分か (169) ミル出粉温度管理は適切か (170) ミル内(1,2 室)散水量の管理は適切か (171) 粉砕助剤の使用管理は適切か (172) 粉砕系集塵イヤ-の調整は良いか	B B NA B A B A B NA B — B B B B C B B B NA B	1 室音圧 105-107dB 目巾 開孔比 中仕切 6mm 6-8% 出口仕切 8-10mm 8-10% V-ベルトのスリップ 確認 30Nm <sup>3</sup> /min/(t/h) Bl=3100cm <sup>2</sup> /g 循環風量の約 20% F/D の作動確認 tcl=115-130℃ 粉砕量の 1%以下 粉砕量の 0.02-0.03% 発塵の有無確認



12-11 省エネルギー対策

12-10-3 章で記述した事項に対する改善事項として、関連設備並びに、運転操作等から省エネルギー対策項目を具体的に選んだ。それを表 12-27 に示す。

Table 12-27 Selected Measures for Energy Efficiency Promotion

省エネルギー対策項目	低減目的	
	電力	熱量
< 設備関係 >		
1. 原料工程		
1-1 石灰石粉砕系 (1) 熱風配管系リーク防止	◎	
1-2 頁岩ドライヤー (2) ドライヤー入口、出口リーク防止	◎	
1-3 頁岩粉砕ミル (3) ミル通風系のリーク防止 (4) 精粉輸送システムの合理化 (空気輸送 → 機械輸送方式)	◎ ◎	
2. 石炭乾燥、粉砕工程		
2-1 石炭ミル / 石炭乾燥機 (5) 石炭ミルの増設 (Cap. 20 t/h x 1 set ) (6) 石炭ミル/ 石炭乾燥機の排ガス系のリーク防止	◎ ◎	◎
3. 焼成工程		
3-1 原料送入系 (7) 頁岩原料 — 計量器出口 → FF 炉送り輸送系の変更 Feed Pump19.02-1A/1B/1C → BE/AS 輸送方式 (8) 頁岩原料送入位置変更 FF 炉送入 → C3 サイクロン入口 (9) 頁岩原料送入方法変更 空気輸送吹込 → サイクロン/Bag Filter で空気分離、送入	◎	◎ ◎
3-2 プレヒーター・サイクロン (10) 圧損低減対策 → C3/C4 サイクロンの改造 (11) C5 サイクロン集塵効率向上 (12) リーク防止 → C1~C5 間リーク量 約 330-340Nm <sup>3</sup> /min (13) 廃熱ボイラ / 発電の採用	◎ ◎ ◎	◎ ◎ ◎
3-3 FF 炉 (14) FF 炉の改造 → 炉内容積の拡大 (15) 抽気煙道の拡大、水平化 (16) 抽気風量 コントロールバルブ / ベンチュリ・流量計の採用		◎ ◎ ◎
3-4 キルン (17) 窯尻リフター・レンガの採用 (18) 窯尻絞りの採用 (19) 窯尻 / 口元のリーク防止対策		◎ ◎ ◎

省エネルギー対策項目	低減目的	
	電力	熱量
3-5 クーラ (20) クーラ廃熱ボイラ/発電の採用 (21) クーラ GBF の据替 → EP の採用 リーク防止 (排ガス量の減少)、圧損低減、集塵効率向上	◎ ◎	◎
4. セメント粉砕工程 (22) No.1,2,3 ミル停止 No.4,5 ミルの Pre-Grinding 方式への転換(能力倍増) (23) O-Sepa セパレーターの採用 (24) 輸送システムの合理化 (空気搬送 → 機械輸送方式)	◎ ◎ ◎	
< 運転関係 >		
1. 石炭乾燥、粉砕工程 (1) 石炭ドライヤーの運転停止 (乾期に実施) <輸送機、ファン停止>	◎	
2. 焼成工程 (2) キルン / FF 炉 燃比割合の変更 Kiln / FF = 18 / 82 → 42 / 58 (3) FF 炉燃料 Oil (一部使用) → 石炭 100% への変更 (4) キルン回転数の減速 → クリンカ品質の向上	◎	◎ ◎
3. セメント粉砕工程 (5) 粉砕助剤の使用	◎	

以上の如く、省エネルギーの対策項目は設備関係で 24 件、運転関係で 5 件選定された。

### 12-11-1 リーク防止対策

調査、測定結果から、各部門でのリーク量を推定した。結果は下記の通りである。

(図 12-14 Gas flow diagram 並びに 表 12-24 Gas, Material and Heat balance data を参照のこと)

(1) 石灰石粉碎系	(a) Roller Press/Hammer Mill 系	-----	234 Nm <sup>3</sup> /min
	(b) Limestone Mill 系	-----	244 "
(2) 頁岩ドライヤー・ミル系	-----	818	"
(3) 石炭乾燥・粉碎系	(a) Coal Mill 系	-----	189 "
	(b) Coal Dryer 系	-----	174 "
(4) プレヒーター系	-----	147	"
(5) キルン系	-----	85	"
(6) GCT ( Gas Conditioning Tower )	-----	366	
(7) クーラー排ガス系	-----	2,060	"
合計	-----	4,317	Nm <sup>3</sup> /min

合計リーク量は全体排ガス量(10,930 Nm<sup>3</sup>/min) の約 39.5%を占める。この余剰のリーク量を減らす事により、電力量で概算合計 約 825 kWh/h、年間で 6,336,000 kWh/y の電力量の節減になる。電力原単位では (1) 原料部門で 約 0.7 kWh/t-cli.、(2) 焼成部門で約 3.1 kWh /t-cli.の合計約 3.8 kWh /t-cli. の電力原単位の低減効果が期待できる。

### 12-11-2 粉体輸送システムの合理化

本工場では原料 (頁岩) 輸送及びセメント輸送に空気輸送設備である FK pump + Compressor が使われている。この関係のおおよその電力使用量は約 1,493 kWh/h、設備モーター動力では約 2,126 kW となる。

この輸送システムを機械式の Bucket Elevater (BE) + Air Slide (AS)方式に改造する事により下記のようなかなり大幅な電力原単位の低減が期待できる。即ち、

(1) 原料部門 (頁岩輸送系) :	約-140 kWh/h (約 0.6 kWh /t-cli.)
(2) 焼成部門 (頁岩輸送系) :	約-275 kWh/h (約 1.2 kWh /t-cli.)
(3) セメント粉碎部門 :	約-825 kWh/h (約 3.5 kWh /t-cli.)
合計	-1,240 kWh/h = -9,523,000 kWh/y (約 5.3 kWh/t-cli.)

### 12-11-3 石炭ミルの増設

石炭ミル能力不足により、F.F 炉系では 約 3.1 t/h の重油を使用している。これは全熱量の約 15%に相当する。燃料コストは石炭の約 2 倍であるので石炭ミルを増設し、更に重油の使用をなくす事により燃料コストの低減を図る。  
対策としては下記 2 案が考えられる。

- (1) 既設石炭ミル (能力 12.0 t/h) + 小型豎形石炭ミル (能力 7.5 t/h)
- (2) 大型豎形石炭ミル (能力 21.0 t/h) 新設

現状、石炭乾燥、粉碎系の電力量を測定した結果は 約 767 kWh/h、これに重油燃焼関連の電力使用量 約 45 kWh/h が加わり、合計 812 kWh/h (≒ 3.73 kWh/t-cli.) となる。

(1) 案の場合、これに小型ミルの電力消費量 約 500 kWh/h が加算され、電力原単位は概算 約 6.0 kWh/t-cli. 程度となる。これに対し (2) 案、ドライヤー並びに付属輸送機器がなくなるため、約 820 kWh/h (≒ 3.76 kWh/t-cli.) 程度となり、電力原単位は現状とほぼ同じで変わらない。(1)と(2)との電力原単位差は約 2.3 kWh/t-cli.である。

よって、工場の合理並びに、省エネルギーを考慮すると、(2) 案の採用が望ましい。

### 12-11-4 頁岩原料の送込位置、方法の変更

(1) 頁岩原料の示差熱分析 (DTA) 並びに、熱重量分析 (TG) の結果、F.F 炉での頁岩燃料の燃焼を考えたとき、F.F 炉直接投入でなく、C4 サイクロン入口に投入する事も検討の必要がある。これにより F.F 炉での燃焼改善が期待できる。

(2) 頁岩燃料の投入方法の変更 (空気輸送方式 → 機械輸送方式) に依る熱量低減  
搬送空気量： 44 m<sup>3</sup>/min x 2 系列 → 72 Nm<sup>3</sup>/min  
上記搬送空気量を高温の抽気風量に置き換えた場合の低減熱量

$$75 \text{ Nm}^3/\text{min} \times 750 \text{ }^\circ\text{C} \times 0.33 \text{ kcal/Nm}^3\text{ }^\circ\text{C} = 17,820 \text{ kcal/min} \rightarrow 8,210 \times 10^6 \text{ kcal/y}$$

石炭換算： 8,210 x 10<sup>6</sup> kcal/y / 6,528 kcal/kg = 1,258 t-coal/y

### 12-11-5 サイクロンの圧損低減対策 (表 12-16 を参照のこと)

サイクロン圧力損失 (mmAq)	現状(測定)	改造後(想定)	低減効果
C3 サイクロン	240	160	80
C4 サイクロン	190	160	30
C1~C5 サイクロン	950	840	110

圧損低減効果は電力使用量の低減として計算される。上記圧力損失 110 mmAq の低減は電力使用量で概算、約 430 kWh/h (≒ 2.0 kWh/t-cli.)相当となる。

これによる年間電力使用量の低減は概算 3,300,000 kWh/y が期待できる。

#### 12-11-6 C5 サイクロン集塵効率の向上

表 12-16 に記載のように C5 (bottom)サイクロンの集塵効率は  $\eta=66.3(\%)$  と悪い。この結果として C1 (top) サイクロンの排ガス温度が高くなっている。これを通常の集塵効率になるよう改造する事により、下記効果が期待できる。

	現 状	改造後	結 果
(1) 圧力損失	150 mmAq	→ 210 mmAq	60 mmAq 増加
(2) 排ガス温度低下	450 °C	→ 390~400 °C	約 50~60°C 低下

圧力損失増加に伴う電力使用量の増加：

230 kWh/h (= 1.05 kWh /t-cli.) ..... 1,770,000 kWh/y

排ガス温度低下による熱量低減：

$2.11 \text{ Nm}^3/\text{kg-cli.} \times 50^\circ\text{C} \times 0.315 \text{ kcal/Nm}^3\text{C} = 33.2 \text{ kcal/kg-cli.}$  .....  $55,584 \times 10^6 \text{ kcal/y}$

石炭換算(石炭節約量) ..... 約 **8,510 t-coal/y**

#### 12-11-7 廃熱ボイラ / 発電の採用

全焼成熱量の約 47.4%のプレヒーター排ガス顕熱 (315.1 kcal/kg-cli.)とクーラ排ガス顕熱 (145.2 kcal/kg-cli.)のうち、現在、約 30%程度が原料乾燥並びに、石炭乾燥熱源として利用されている。残り 70%の熱量は有効利用されていない。この有効利用技術として廃熱発電システムの採用を考える。

(12-10-1 章「エネルギー・フロー」を参照のこと)

既に本廃熱発電システムの技術は、日本のセメント会社の約 50%の工場で採用されている。

本工場での可能発電量： 15,800 kW (有効発電量： 13,700 kW)

年間有効利用発電量： 101,007,000 kWh (推定)

これは 1997 年度、工場の電力使用量 (233,670,000 kWh)の約 43.2%に相当する。

## 12-11-8 F.F 炉の改造

12-9-3 章(1)「F.F 炉に於ける燃料の燃焼状況」で記載のように、F.F 炉での燃焼が悪く約 35 から 40%の燃料が燃えずに窯入り原料と共にキルンに送入されている。

この原因は第 1 に抽気風量が約 35 から 40%不足、第 2 に F.F 炉での燃料の燃焼に必要な滞留時間が約 1.5 秒と小さい。即ち、炉内容積が小さい為である。

この為の対策として、(a) F.F 炉内容積の拡大を考えた改造、

(b) 抽気煙道の拡大、併せてベンチュリー流量計の採用

等が考えられる。しかし、これら対策を実施することは現実に難しい。又、上記対策を実施した場合、F.F 炉に於ける燃焼改善と、それによる熱量低減効果を想定することは非常に難しい。

## 12-11-9 窯尻リフター・レンガ

前章 12-11-8 で記載のように、未燃カーボンが窯入り原料と共にキルン窯尻に送入される。この未燃カーボンを窯内で効率よく燃焼させるための対策として、リフター・レンガを設置する事が考えられる。日本でも同じ目的で、稼働しているキルン 74 基のうち、23 基のキルンでリフター・レンガが採用されている。

これによる効果として、排ガス温度が約 15 °C 低下し、熱量が約 11.7 kcal/kg-cl.低減する事が予想される。

## 12-11-10 クーラ GBF の据替

クーラ排ガスの集塵機としては、現在使用している GBF (Gravel Bed Filter)、バツグ・フィルター並びに、EP (Electrostatic Precipitator) 等がある。現在使用している GBF は(a) 集塵効率が悪い (b) その機能上、キルン・フツドの圧力制御が難しい。この為キルン系並びに、プレヒータ系のガス流量が不安定となり、系全体の運転が不安定となる。系全体を安定化させる対策として、GBF に替わり EP を設置する事が望ましい。

この効果として

- (a) 系全体が安定し、キルン並びに、F.F 炉の燃焼の安定化が図れる。これによる熱量低減は 20 kcal/kg-cl. (年間  $30 \times 10^9$  kcal/y) が予想される。
- (b) クーラ排ガス系のリーク防止 (リーク量 2,060 Nm<sup>3</sup>/min) 並びに、キルン口元のリーク防止を図る事が出来る。リーク防止に伴う電力節減量は概算 3,000 kWh/d (年間 960,000 kWh/y) が予想される。
- (c) 集塵効率の向上が図れる。クリンカー飛散量低減により年間約 250 トンのクリンカが回収される。

#### 12-11-11 セメント粉砕系統の合理化

本工場のセメント粉砕は Tube Mill + Cyclone Separator 方式で、粉砕電力原単位が高い。予備粉砕機を導入し、粉砕工程を簡略化し、電力原単位を下げる。

予備粉砕機としては (a) Vertical Roller Mill と (b) Roller Press とがあるが、保守管理費用の安い Vertical Roller Mill の採用が望ましい。

具体的対策として

- (a) No.1,2,3 ミル (能力各 28 t/h)、No.6 ミル (能力 15 t/h) を運転停止
- (b) No.4,5 ミル (能力各 70 t/h) に予備粉砕機 1 基を設置し、ミル能力の増産 (各 120 t/h) を図る。

予備粉砕システムの採用により概算で 12,210,000 kWh/y の電力量の低下が期待できる。

#### 12-11-12 粉砕助剤

本工場で粉砕助剤は使用されていない。しかし、少量の使用によりミル粉砕量が増加し、ミル粉砕動力が著しく低減する。日本での実績では、粉砕助剤 0.01% の添加により粉砕量が約 5% 増加し、電力原単位が約 5% 低減している。粉砕助剤の価格との兼ね合いがあるが、省エネルギー対策として検討すべき技術である。

電力低減効果：  $40.7 \text{ kWh/t-cem} \times 0.1 = 4.07 \text{ kWh/t-cem} \cdots \cdots 7,500,000 \text{ kWh/y}$   
( 粉砕助剤使用量： 0.02 % 添加を仮定 )

## 12-12 省エネルギー対策の技術選定

12-11 章で選定された省エネルギー対策項目のうち、設備関係で 24 件と運転関係で 5 件の中から、下記 4 件が省エネルギー効果の大きい項目と考え、技術選定をする。

### (1) 廃熱ボイラ / 発電システム

プレヒーター排ガス熱量並びに、クーラ排ガス熱量回収のため、廃熱ボイラ/発電システムが選定された。本システムはプレヒーター排ガス熱量回収用のボイラー、クーラ排ガス熱量回収用のボイラー並びに、両ボイラから発生した蒸気を電気に変換するタービン、発電機と復水器から構成されている。

本工場で採用する廃熱ボイラ/発電システムの一例を下記に示す。

プレヒーター側廃熱ボイラ容量 …… 432,000 Nm<sup>3</sup>/h at 445°C →

クーラ側廃熱ボイラ容量 …… 240,000 Nm<sup>3</sup>/h at 350°C →

タービン / 発電機仕様 …… 15,800 kW

復水器容量 …… 76 t/h

図 12-20 に廃熱回収、発電プラントの構成図を示す。

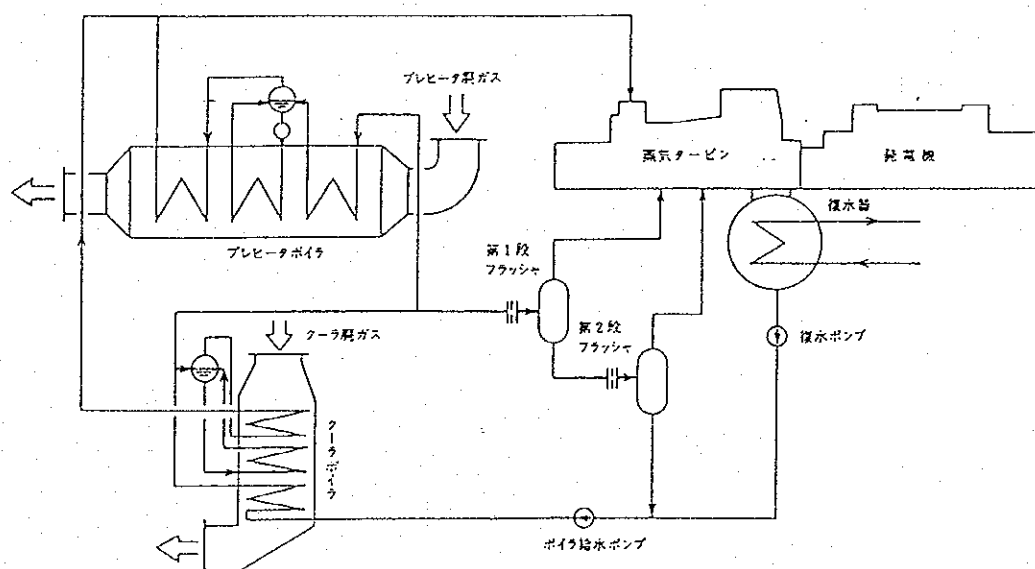


Fig. 12-20 Schematic Diagram of Waste Heat Recovery Power Plant with 2-Stage Flash System



## (2) セメント予備粉砕システム

既設セメント粉砕システムの合理化を行い、電力低減並びに修繕費等のコスト削減を図る。即ち、No.1,2,3 並びに、No.6 ミルを休止し、No.4,5 ミルに予備粉砕システムを設置する。本システムは 1 台の予備粉砕機と O-Sepa セパレーター並びに、それぞれのミルに O-Sepa セパレーターを併設するシステムで構成される。

本システムの容量は下記の通り。

予備粉砕機 (CKP-240 型)	500 t/h x 2,200 kW
O-Sepa N-3000 型	3,000 m <sup>3</sup> /min

## (3) 石炭乾燥、粉砕ミルの増設

既設石炭ミルは粉砕容量が小さく、不足分は FF 炉で価格の高い重油を使用している。重油に代わり 100%石炭を使用してコストを下げる為、プレヒーター系に専用の石炭乾燥、粉砕システムを選定する。本システムは石炭乾燥、粉砕機としての豎型ミルとバツグ・フィルター及び微粉炭計量器一式から構成される。

本システムの容量は下記の通り。

石炭乾燥・粉砕機	豎型ミル	UM20.2 D	21.0 t/h x 340 kW
バツグ・フィルター			
微粉炭計量器一式			

## (4) リフター・レンガの採用

プレヒーター、FF 炉での燃料の燃焼が悪く、多量の未燃燃料がキルンに戻っている。この未燃燃料をキルン内で効率よく燃焼させ、熱量低減を図るため、キルン内にリフター・レンガを施工する技術を選定する。

## 12-13 省エネルギー対策のコスト

### (1) 廃熱ボイラ/発電システム

発電量： 15,800 kW

有効発電量： 13,700 kW

設備機器代 (含む、現地工事据付+試運転 S/V フィー) .....	2,400,000 千円
現地工事費 (含む、土木工事費等) .....	600,000 千円
合計 .....	3,000,000 千円
Assumed 31.05¥/RM .....	(96,618,000 RM)

### (2) セメント予備粉砕システム

予備粉砕機 (KHI CKP-240 型相当品) 500 t/h x 2,200 kW

O-Sepa N-3000 型、/ O-Sepa N-1000 型 x 2 基

設備機器代 (含む、現地工事据付+試運転 S/V フィー) .....	1,050,000 千円
現地工事費 (含む、土木工事費等) .....	1,150,000 千円
合計 .....	2,200,000 千円
	(70,853,000 RM)

### (3) 石炭乾燥、粉砕ミルの増設

石炭乾燥、粉砕ミル (UBE UM20.2D 型相当品) 21 t/h x 370 kW

Bag Filter, Fan, 石炭計量設備一式

設備機器代 (含む、現地工事据付+試運転 S/V フィー) .....	595,000 千円
現地工事費 (含む、土木工事費等) .....	355,000 千円
合計 .....	950,000 千円
	(30,595,000 RM)

### (4) リフター・レンガの採用

リフター・レンガ施工 6 列 200 mm x 15 m

リフター・レンガ代+工事費 .....	10,000 千円
	(322,000 RM)

## 12-14 省エネルギーポテンシャル

### (1) 廃熱ボイラ / 発電システム

項	目	Preheater exhaust gas	Cooler exhaust gas
(1) Exhaust gas volume	(Nm <sup>3</sup> /kg-cli.)	2.11	1.44
	(Nm <sup>3</sup> /h)	432,000	242,000
(2) Gas temperature	(℃)	445	350
(3) Sensible heat of exhaust gas	(kcal/kg-cli.)	315.1	145.2
(4) Dust content	(g/Nm <sup>3</sup> )	100	25
(5) Gas temperature at boiler outlet	(℃)	250	130
(6) Sensible heat of boiler outlet gas	(kcal/kg)	89.0	40.4
(7) (3)-(6)		226.1	104.8
(8) Evaporation of steam	(kg/t-cli.)	285	64
	(t/h)	62.2	13.9

排ガス顕熱合計 460.3 kcal/kg-cli.

廃熱ボイラで回収する熱量は約 331 kcal/kg-cli.

ボイラ蒸発量は約 76 t/h で、これによる発電量は約 15,800 kW が想定される。

1) Average power generation (90 % : load factor) .....	14,200 kW
2) Power consumption of auxiliaries .....	500 kW
3) Net power generation .....	<b>13,700 kW</b>
4) Operation time per year .....	320 days
5) Total amount of power generation per year .....	<b>101,007,000 kWh</b>
13,700 kW x 24 h/d x 320 d/y x 0.96 = 101,007,000	
(96 % : running factor)	

この廃熱ボイラ/発電システムで発生する電力量のうち、工場の有効電力量として利用できる電力は、1997年度の電力使用量 (233,670,000 kWh) の約 43.2%に相当する。

### (2) セメント予備粉砕システム

No.1,2,3, 並びに No.6 セメント・ミル (合計粉砕量: 99~100 t/h) を休止して No.4,5 セメント・ミル (合計粉砕量: 140 t/h) に予備粉砕機を設置する事により粉砕量を 239 から 240 t/h にする。

現状での No.4,5 のミル電力 .....

(表 12-20 を参照の事)

ミル増産効果は 70 t/h から 120 t/h …… 31.5 kWh/t-cem x 70/120 = 18.5 kWh/t-cem  
 予備粉砕機設置による電力増加 …… 約 7.0 kWh/t-cem  
 電力原単位 (kWh/t-cem) …… 表 12-20 を参照のこと

(単位 : kWh/t-cem)

	現状電力原単位 (Mar.'98 - Aug.'98)	既設 No.4,5 設備システム	ミル 予備粉砕システム
(1) ミル本体電力	32.1	31.5	18.5
(2) 付属機器、輸送機	8.6	—	(8.6)
(3) 予備粉砕機電力	—	—	7.0
(4) 粉砕部門全体	40.7	—	34.1

電力原単位低減ポテンシャル

$$(40.7 - 34.1) \text{ kWh/t-cem} \times 1,850,000 \text{ t/y} = 12,210,000 \text{ kWh/y} \rightarrow \approx 1,450 \text{ kWh/h}$$

### (3) 石炭乾燥、粉砕ミルの増設

現在使用している重油に替え、全量石炭に切り替える。

重油使用量 : 33,447 t/y (1997) …… 0 (表 12-8 を参照のこと)

代替石炭量 : 33,447 t/y x 9584/6528 = 49,105 t-coal/y

石炭ミル設置に伴い、ミルに余力が出来るので石炭粉末度を R90 $\mu$  残分 = 10% から 5% に細かくする。これによる効果は (a) 熱量低減効果として約 15.5 kcal/kg-cli.、(b) 電力原単位増として約 0.3 kWh/t-cli.程度ある。

(a) 熱量低減効果 : 15.5 kcal/kg-cli. x 5,200 t/d x 320 d/y = 25,792 x 106 kcal/y

石炭換算 : 25,792 x 106 kcal/y / 6,528 kcal/kg-coal = 3,950 t-coal/y 節減

(b) 電力増加 : -0.3 kWh/t-cli. x 5,200 t/d x 320 d/y = 499,200 kWh/y 増加

### (4) リフター・レンガの採用

プレヒーター排ガス温度の低下 : 約 15°C

これに伴う熱量低減 :

$$2.11 \text{ Nm}^3 / \text{kg-cli.} \times 0.37 \text{ kcal/Nm}^3\text{C} \times 15^\circ\text{C} = 11.7 \text{ kcal/kg-cli.}$$

$$11.7 \text{ kcal/kg-cli.} \times 5200 \text{ t/d} \times 320 \text{ d/y} = 19,468,800 \times 10^3 \text{ kcal/y}$$

石炭換算 : 19,468,800 x 10<sup>3</sup> kcal/y / 6,528 kcal/kg = 2,982 t-coal/y 節減

## 12-15 省エネルギー効果

### (1) 廃熱ボイラ / 発電システム

本システムの発電量 (13,700 kWh/h) と年間利用発電量 (101,007,000 kWh) に依る効果は下記の通り。

- (a) kilowatt of max, demand :  $13,700 \text{ kW} \times 16.2 \text{ RM/kW} \times 12 \text{ m/y} = 2,663,280 \text{ RM/y}$
- (b) Peak Period :  $101,007,000 \text{ kWh} \times 0.178 \text{ RM/kWh} \times 14/24 = 10,487,900 \text{ RM/y}$
- (c) Off-Peak Period :  $101,007,000 \text{ kWh} \times 0.098 \text{ RM/kWh} \times 10/24 = 4,124,450 \text{ RM/y}$
- 合計 (a)+(b)+(c) ..... **17,275,630 RM/y**

### (2) セメント予備粉砕システム

本システム採用による節約電力量 : 12,210,000 kWh/y (1,450 kWh/h) に依る効果は下記の通り。

- (a) kilowatt of max, demand :  $1,450 \text{ kW} \times 16.2 \text{ RM/kW} \times 12 \text{ m/y} = 281,880 \text{ RM/y}$
- (b) Peak Period :  $12,210,000 \text{ kWh/y} \times 0.178 \text{ RM/kWh} \times 14/24 = 1,267,800 \text{ RM/y}$
- (c) Off-Peak Period :  $12,210,000 \text{ kWh/y} \times 0.098 \text{ RM/kWh} \times 10/24 = 498,580 \text{ RM/y}$
- 合計 (a)+(b)+(c) ..... **2,048,260 RM/y**

### (3) 石炭乾燥・粉砕システム

石炭乾燥粉砕ミル (Cap: 21t/h) の採用による石炭乾燥・粉砕部門の合理化により省エネルギー効果は下記の通り。

- (a) 重油使用量低減に伴う効果 :  $33,447 \text{ t/y} \times 422 \text{ RM/t} = 14,114,630 \text{ RM/y}$
- (b) 石炭使用量増加に伴う損失 :  $49,105 \text{ t/y} \times 135 \text{ RM/t} = 6,629,170 \text{ RM/y}$
- (c) 石炭粉末度微細化による熱量低減効果 :  
 $3,950 \text{ t/y} \times 135 \text{ RM/t} = 533,250 \text{ RM/y}$
- (d) 石炭粉末度微細化による電力増加損失  
Peak Period  $499,200 \text{ kWh/y} \times 0.178 \text{ RM/kWh} \times 14/24 = 51,830 \text{ RM/y}$   
Off-Peak Period  $499,200 \text{ kWh/y} \times 0.098 \text{ RM/kWh} \times 10/24 = 20,380 \text{ RM/y}$
- 合計 (a)-(b)+(c)-(d) ..... **7,946,500 RM/y**

### (4) リフター・レンガの採用

リフター・レンガの採用による熱量低減効果は下記の通り。

$$60,800,000 \text{ kcal/d} \times 320 \text{ d/y} \times 0.0208 \text{ RM}/10^3 \text{ kcal} = 404,685 \text{ RM/y}$$

## 12-16 省エネルギー対策の便益

本節では、省エネルギー対策の便益をマレーシアの現行エネルギー価格に基づき推算する。

### 12-16-1 マレーシアの現行エネルギー価格

#### (1) 燃料

表 12-29 に APMC 社ラワン工場で使用している燃料の単価および熱量を示す。

Table 12-29 Price and Heat Value of Fuel

	Heat Value (kcal/kg)	Unit Price (RM/ton)
Fuel Oil	10,200 (net 9,584)	422
Fuel Coal	6,800 (net 6,528)	135
Coal Shale	700	5.7

#### (2) 電力

APMC 社ラワン工場における現在の電気料金は、テナガナショナルのタリフ（1997 年 5 月 1 日発効）における E-3 区分のうち有資格顧客用の特別レートに従っている。この区分のタリフに従い電力料金は以下ようになる。

- ピーク負荷料金（8 時から 22 時まで） 0.178 RM/kWh
- オフピーク負荷料金（22 時から 8 時まで） 0.098 RM/kWh
- 最大需要料金 16.2 RM/kW/month

### 12-16-2 対策の便益

12-15 節で表 12-29 のエネルギー価格に基づいて求めた各対策の便益を表 12-30 に纏めて示す。

Table 12-30 Benefits from Measures

Measures	Benefit (RM/year)
Waste heat boiler/generator system	17,275,630
Pre-grinding system for cement grinding	2,048,260
Construction of coal drying/grinding mill	7,946,500
Adoption of lifter brick	404,685

### 12-17 省エネルギー対策の財務分析

本節では投資を必要とし便益も数値的に推算されている以下の対策の財務的フィージビリティを知るために財務分析を行う。

- 廃熱ボイラ/発電
- セメント粉砕系統における予備粉砕システム
- 石炭ミルの増設
- 窯尻リフター・レンガの採用

#### 12-17-1 財務分析の方法

##### (1) 適用する方法

本調査では投資プロジェクトに広く使われ、かつ認められている二つの方法を採用する。第1の方法は回収期間法 (payback period method) である。これは正味キャッシュフローの蓄積によって投資を回収するのに要する期間と定義される回収期間を算出する方法である。第2の方法は割引キャッシュフローベースの内部収益率法 (internal rate of return (IRR) method on discounted cash flow basis) である。財務的内部収益率はプロジェクトから得られる正味収入の現在価値が投資額の現在価値と等しくなるような割引率と定義される。

##### (2) 回収期間

正味キャッシュフローは以下のように定義される。

- 1) 売上高の増加
- 2) 差し引き：投資額
- 3) 差し引き：操業前費用
- 4) 差し引き：運転資本の増加
- 5) 差し引き：運転コストの増加
- 6) 差し引き：販売コストの増加
- 7) 差し引き：法人税の増加

省エネルギー対策の投資の場合には、売上高および販売コストに変化はなく、運転資本の変化および操業前費用も無視できる。投資額は前節で推算されている。運転コストの変化はほとんどが電力、燃料等のユーティリティ料金の増減によるものであり、これは既に推算されている。法人税の変化は、マレーシアの法人税率および減価償却を考慮の上、課税対象収益に基づき計算される。

回収期間を計算するには、建設期間から運転期間までのキャッシュフロー表が作成される。建設中には投資と操業前費用によって累積キャッシュフローは負の値を示すが、運転が開始されれば資金回収によって累積キャッシュフローは増え、ある年に零になる。回収期間は運転開始から累積キャッシュフローが零になるまでの期間と定義される。

### (3) 内部収益率 (IRR)

この計算も回収期間法と同様にキャッシュフロー表の作成から始まる。つぎに、プロジェクトの正味キャッシュフローが零になるような割引率を試行錯誤によって求める。こうして求められた割引率が財務的内部収益率 (IRR) である。

#### 12-17-2 財務分析の前提

財務分析は以下の前提のもとで行われる。

- 1) 為替レート：                      US\$ 1 = RM 3.8; US\$ 1 = JY 118
- 2) プロジェクト・ライフ：        運転開始から 15 年
- 3) 法人税率：                        30 パーセント



- 4) 減価償却： 定額法が適用され、プラントおよび機械類に対する減価償却期間は15年
- 5) 投資額： 表12-31に各対策の投資額をまとめて示す。

**Table 12-31 Fixed Investment Cost for Measures**

Measures	Fixed Investment Cost (RM)
Waste heat boiler/generator system	96,618,000
Pre-grinding system for cement grinding	70,853,000
Construction of coal drying/grinding mill	30,595,000
Adoption of lifter brick	322,000

### 12-17-3 財務分析の結果

表12-31に、上記対策に対する税引き前FIRROI、税引き後FIRROIおよび回収期間を示す。また、表12-32から12-35にこれらの対策のキャッシュ・フロー表を示す。

**Table 12-32 Results of Financial Evaluation**

Measures	FIRROI before tax	FIRROI after tax	Payback Period
Waste heat boiler/generator system	15.9%	11.8%	6.9 years
Pre-grinding system for cement grinding	-9.0%	-5.7%	n.a.
Construction of coal drying/grinding mill	25.1%	18.6%	5.0 years
Adoption of lifter brick	125.7%	90.0%	1.1 years

**Table 12-33 Cash Flow Table (Measure: Waste Heat Boiler/Generator System)**

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Less: Fixed investment	96,618	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plus: Reduction in operating cost	0	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276
Less: Corporate tax increased	0	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250	3,250
Incremental Cash Flow (before Tax)	-96,618	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276	17,276
Incremental Cash Flow (After Tax)	-96,618	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025	14,025
Cumulative net cash flow	-96,618	-82,593	-68,567	-54,542	-40,517	-26,492	-12,466	1,559	15,584	29,610	43,635	57,660	71,686	85,711	99,736	113,761
Depreciation	0	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441	6,441

**Table 12-34 Cash Flow Table (Measure: Pregrinding System for Cement Grinding)**

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Less: Fixed investment	70,853	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plus: Reduction in operating cost	0	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048
Less: Corporate tax increased	0	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803	-803
Incremental Cash Flow (before Tax)	-70,853	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048	2,048
Incremental Cash Flow (After Tax)	-70,853	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851	2,851
Cumulative net cash flow	-70,853	-68,002	-65,151	-62,300	-59,450	-56,599	-53,748	-50,897	-48,046	-45,195	-42,345	-39,494	-36,643	-33,792	-30,941	-28,090
Depreciation	0	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724	4,724

**Table 12-35 Cash Flow Table (Measure: Construction of Coal Drying/Grinding Mill)**

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Less: Fixed investment	30,593	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plus: Reduction in operating cost	0	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946
Less: Corporate tax increased	0	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772	1,772
Incremental Cash Flow (before Tax)	-30,593	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946	7,946
Incremental Cash Flow (After Tax)	-30,593	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174	6,174
Cumulative net cash flow	-30,593	-24,419	-18,244	-12,070	-5,895	279	6,453	12,628	18,802	24,977	31,151	37,325	43,500	49,674	55,849	62,023
Depreciation	0	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040	2,040

Table 12-36 Cash Flow Table (Measure: Adoption of Lifter Brick)

Year	Unit: Thousand RM															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Less: Fixed investment	322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plus: Reduction in operating cost	0	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405
Less: Corporate tax increased	0	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
Incremental Cash Flow (before Tax)	-322	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405	405
Incremental Cash Flow (After Tax)	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290
Cumulative net cash flow	-322	-32	257	547	837	1,127	1,416	1,706	1,996	2,285	2,575	2,865	3,155	3,444	3,734	4,024
Depreciation	0	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

#### 12-17-4 財務分析の結論

現地調査の際入手した情報では、最近のマレーシアの貸出金利は年率 12 から 14% の範囲にある。この金利がマレーシアにおける資本の機会費用と考えられる。

廃熱ボイラ／発電 は提言した対策の中で投資額が最大であり RM 96,618,000 かかるが、創出される便益も最も大きく年間 RM 17,275,630 に達する。この対策の税引き前 FIRROI は 15.9%、税引き後 FIRROI は 11.8% である。また回収期間は 6.9 年と推算される。この対策は本調査で設定した条件の下では、財務的フィージビリティのぎりぎりの水準にある。

セメント粉砕系統の予備粉砕は省エネルギーに関しては小さな便益しか創出しない。これに対する投資は 15 年間では回収できず FIRROI は負の値を示す。この便益は財務的にフィージブルでないと結論付けられる。

石炭ミルの増設は、税引き前および税引き後の FIRROI がそれぞれ 25.1%、18.6% であり、財務的に健全なフィージビリティを持っている。回収期間は 5 年であり、妥当な範囲にある。この対策は財務的にみてフィージブルであると言って良い。

窯尻リフター・レンガの採用は、回収期間であり 1.1 年 FIRROI も極めて高いことより、優れた財務フィージビリティを持っている。RM 322,000 と低い投資額がこの対策の利点である。

#### 12-18 省エネルギーのための提言

APMC 社ラワン工場のエネルギー診断および引き続き行われた検討に基づき、以下の様な省エネルギー対策を提言する。

##### (1) 財務分析に基づく省エネルギー対策の提言

12-12 節で選ばれ財務分析を行った 4 つの対策のうち、以下の 3 つの対策が財務分析の結果に基づき推奨される。

### (a) 廃熱ボイラ／発電

この対策はプレヒーター排ガスとクーラー排ガスの顕熱の回収を可能にする。このシステムは 次の装置から構成される：(1)プレヒーター排ガス顕熱を回収するボイラー、(2)クーラー排ガス顕熱を回収するボイラー、(3)タービン、発電機およびコンデンサーから成る発電システム。この対策は本調査で設定した条件の下では財務的にはぎりぎりの水準にあると言える。この対策については詳細な検討を行うよう提言する。

### (b) 石炭ミル増設

現在、既設石炭ミルの能力が小さいため、FF 炉では高価な重油が石炭と共に使用されている。次のような装置で構成される石炭ミルを建設するよう提言する：(1)石炭の乾燥・粉砕のための縦型ミル、(2)バッグ・フィルター、(3)微粉炭計量器一式。この対策によって工場内で使用しているすべての重油は石炭に転換され、燃料費の削減につながる。さらに、微粉炭の燃焼によって燃焼効率が改善される。また、財務的にはフィージブルであると言える。石炭ミルの建設を提言する。

### (c) 窯尻リフター・レンガの採用

プレヒーター FF 炉での燃料の燃焼が不完全なため多くの未燃炭素がキルンに戻ってきていることがエネルギー診断の結果明らかになった。プレヒーター FF 炉からの未燃炭素を効率よく燃焼させることにより熱消費を削減するため、キルンの内壁の窯尻部分にリフター・レンガを施工することを提言する。この対策は財務的フィージビリティの点からも優れており提言するものである。

## (2) その他の省エネルギー対策

### (a) リーク防止

エネルギー診断において、石灰石粉砕系、頁岩ドライヤー・ミル系、石炭乾燥・粉砕系、プレヒーター系、キルン系、ガス・コンディショニング・タワー、クーラー排ガス系と言ったプラント内の様々な箇所においてリークが見られた。合計リーク量は排ガス全体の約 39.5%を占めると推定され、このリークを減らすことによって 3.8 kWh/ton-clinker の電力削減が期待できる。この対策を検討することを提言する。

### (b) 粉体輸送システムの合理化

現在、石炭およびセメントは FK ポンプおよびコンプレッサーといった空気輸送設備によって輸送されている。この輸送システムを機械式のバケット・エレベータとエア・スライド・システムに改造することによって約 5.3 kWh/ton-clinker の電力削減が期待できる。

この対策についてさらに検討するよう提言する。

(c) 頁岩の投入位置および方法の変更

頁岩の示差熱分析 (DTA) および熱重量分析 (TG) の結果から、FF 炉での頁岩の燃焼を考えたとき、FF 炉への直接投入でなく、C4 サイクロン入口に投入することを検討する必要がある。

さらに、頁岩の投入方法については、空気輸送方式から機械輸送方式に変更することを提言する。この対策によって 1,258 ton-coal/year の熱量削減が期待できる。

(d) C5 サイクロン集塵効率の向上

C5 (ボトム) サイクロンの集塵効率が悪いことが判明した。この結果として C1 (トップ) サイクロンの排ガス温度が高くなっている。集塵効率を向上させることによって、圧力損失増加に伴い 1,770,000 kWh/year の電力使用量の増加は予想されるが、排ガス温度が低下し、これにより 8,510 ton-coal/year の熱量が削減できると期待される。この対策を推奨する。

(e) クーラー GBF の据替

クーラー排ガス用の既設のグラベル・ベッド・フィルター (GBF) の電気集塵器 (EP) への据替を検討するよう提言する。この対策によって以下の便益が期待される。

- キルンおよび FF 炉での燃焼の安定化による約 20 kcal/kg-clinker の熱量低減
- クーラー排ガス系およびキルン口元からのリーク防止による 960,000 kWh/year の電力削減
- 集塵効率向上による年間約 250 トンのクリンカ回収

この対策のさらなる検討を提言する。

(f) 粉砕助剤

経済性はマレーシアにおける粉砕助剤の価格によるが、粉砕助剤の使用について検討することを提言する。粉砕助剤を 0.02% 添加するものとすれば、粉砕ミルにおいて 7,500,000 kWh/year の電力削減が期待できる。



## 第13章 食品工業

### 13-1 食品工業エネルギー診断の概要

1998年2月に行った第一次現地調査の結果、JICA調査団は食品工業のエネルギー診断実施の対象工場として Central Sugars Refinery Sdn Bhd を選定した。この工場には燃料油、ボイラーによる蒸気および自家発電等各種形態のエネルギーを使用している。工場は1965年10月に一日当たりの粗糖処理量150トンで生産を開始したが、現在では1,300トンの能力を持っている。国内の精糖会社4社のうちでは30パーセントの能力で国内第2位を占めている。

### 13-2 精糖工場の特徴

表13-1に示したとおりマレーシアには4社が精製糖の生産を行っている。精糖工業分野における Central Sugars Refinery 社の生産設備能力は約30パーセントである。

Table 13-1 Rated Capacity of Sugar Refinery Sub-sector

Factory	Rated Capacity (ton melt/day)
Central Sugars Refinery Sdn Bhd	1,300
A	2,000
B	700
C	600

### 13-3 工場・設備・操業の概要

#### 13-3-1 工場概要

- 1) 工場名称: Central Sugars Refinery Sdn Bhd
- 2) 工場所在地: Batu Tiga, 40000 Shah Alam, Selangor, Malaysia  
Telephone: 03-5591414/7 Fax No: 603-5598792

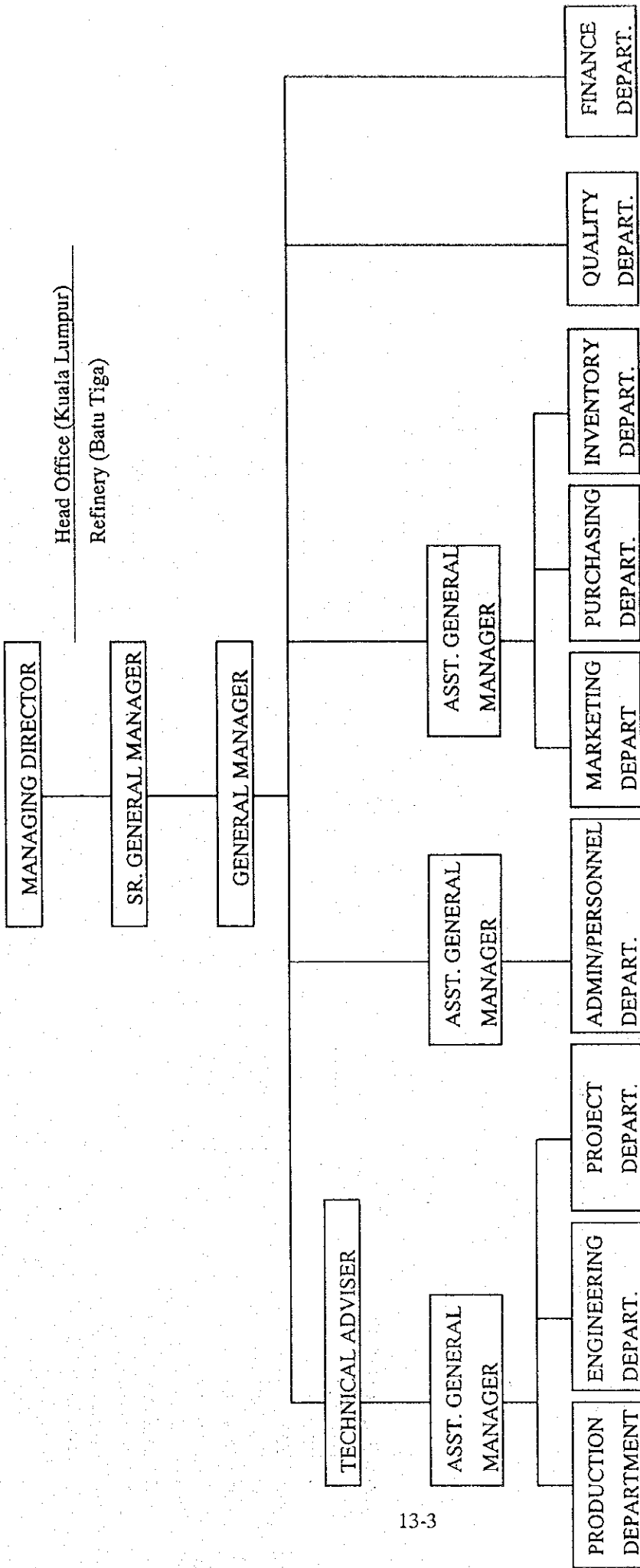


- 3) 工場組織: General Manager: Mr. Lem Cheng Hoe  
 Technical Adviser: Chan Choong Lim  
 Engineering Manager: Ir. Lim Chin Chuan
- 4) 工業種別: 食品工業、  
 精糖業 (私企業)
- 5) 資本金: 33 million RM (リンギット)
- 6) 組織図: 図 13-1 参照
- 7) 従業員数: 290
- 8) 技術者数: 14  
 - 機械技術者 4, - 化学技術者 5,  
 - 電気技術者 2, - 計装技術者 2
- 9) エネルギー関連技術者:  
 - 熱 1, - 電気 5
- 10) 工場敷地面積:  
 - 工場用地 16 acres (総面積)  
 - 建屋用地 6.4 acres
- 11) 工場レイアウト: 図 13-2 参照
- 12) 主要製品: 精製糖  
 - White sugar  
 - Brown sugar  
 - Liquid sugar
- 13) 年間販売高推移: 表 13-2 参照

**Table 13-2 Trends of Annual Sales Amounts**

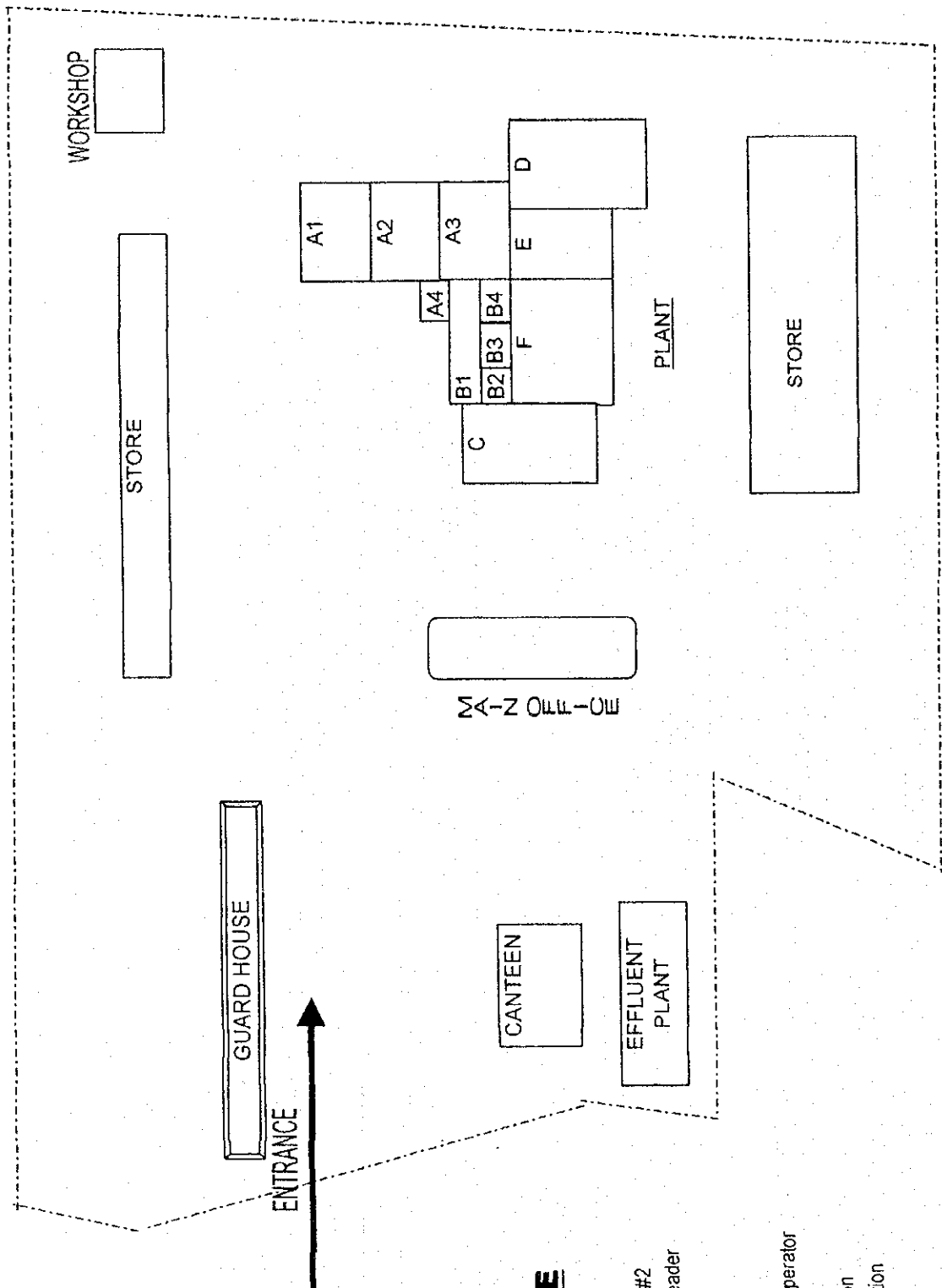
Products	1994	1995	1996	1997 (estimate)	1998 (plan)
Refined Sugar	300,081 ton	315,875 ton	332,500 ton	350,000 ton	300,000 ton
Retail price	(1.20 RM/kg)	(1.20 RM/kg)	(1.20 RM/kg)	(1.20 RM/kg)	(1.45 RM/kg)

- 14) 工場経歴: 1965年10月能力150 ton-melt/日で生産開始



(60 persons)

Figure 13-1 Company Organization Chart



**AREA CODE**

- A1 : BOILER #4
- A2 : BOILER #3
- A3 : BOILER #1 AND #2
- A4 : High Pressure Header
- B1 : Turbine # 4
- B2 : Turbine #3
- B3 : Steam Separator
- B4 : Beside Steam Separator
- C : Affination Station
- D : Clarification Station
- E : Crystallization Station
- F : Curing Station

Figure 13-2 Factory Layout (Central Sugars Refinery)

### 13-3-2 設備概要

既述したとおりこの工場の主要製品は精製糖である。図 13-3 は、概念的な生産工程を示したものである。

この工場では溶解工程の改造により粗糖処理能力を日産 1,300 から 1,500 トンへと増加させる計画を持っている。

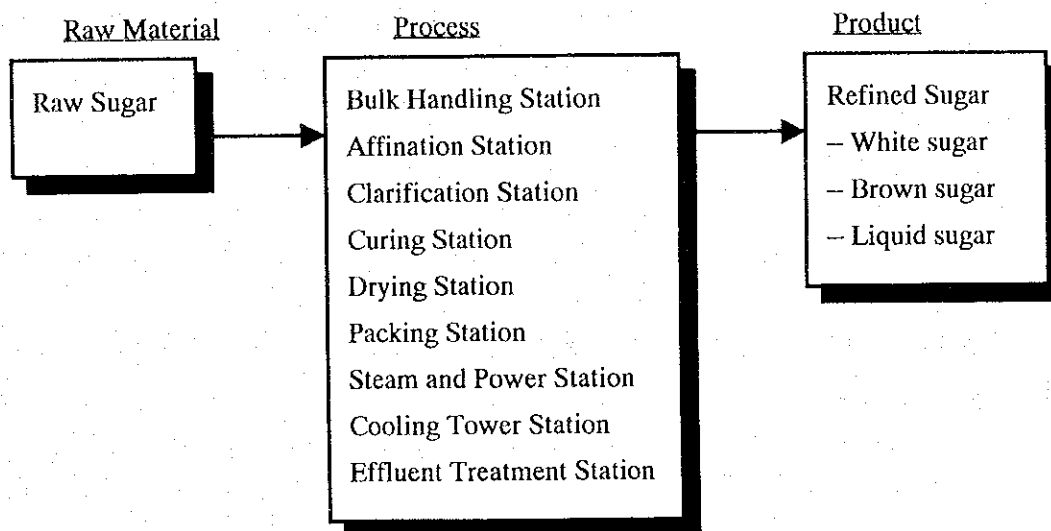


Figure 13-3 Outline of Production Facilities

### 13-3-3 製造工程

図 13-4 に工場の生産工程を示す。

#### (1) Bulk handling station

港で荷揚げされた粗糖はトラック、トレーラー車で工場に搬送され溶解工程に供給される。

#### (2) Affination station

粗糖は計量器通過後、粗糖貯槽に入れられる。そこから粗糖は溶解シロップと混合されミングラーに移される。ミングラーから流れ出た粗糖マグマは、溶解工程にある遠心分離器でマグマおよび溶融粗糖の混合物から糖蜜と不純物とを分離される。

溶融粗糖はメルターで再溶融された後メッシュスクリーンで濾過工程を経て粗糖液中間タンクに送られる。

**(3) Clarification station**

粗糖液は石灰乳で処理され、カーボネーターに送られる。カーボネーターでは石灰乳の中に炭酸ガスを吹き込み、炭酸カルシウム沈殿物を形成させ粗糖液中の不純物および色素成分を吸着する。炭酸ガスはボイラー排ガスを利用している。

炭酸カルシウム処理された液は回転式圧力フィルターで透明な液即ちブラウン液と炭酸カルシウム沈殿物とを濾過分離される。

ブラウン液はタンクに貯えられる。一方炭酸カルシウム沈殿物即ちマッドは濾過機からフィルタープレスにポンプ移送されマッド中の砂糖分が回収される。

ブラウン液は脱色するためイオン交換樹脂塔に供給される。

**(4) Curing station**

イオン交換樹脂塔を出た透明液はタンクに一旦貯えられてから、多重効用蒸発缶に移送される。

透明液は蒸発缶で濃縮された後透明液タンクに送られさらに蒸発・結晶工程を繰り返す。

精糖遠心分離器により砂糖分の分離精製が行われる。

**(5) Drying station**

精糖遠心分離器からの砂糖分は振動篩において固形砂糖を篩い分けた後流動床式冷却機に供給される。

**(6) Packing station**

乾燥され冷却された砂糖は砂糖貯槽に移送され、袋詰めして製品倉庫に搬送される。

*Bulk Handling of Raw Sugar*

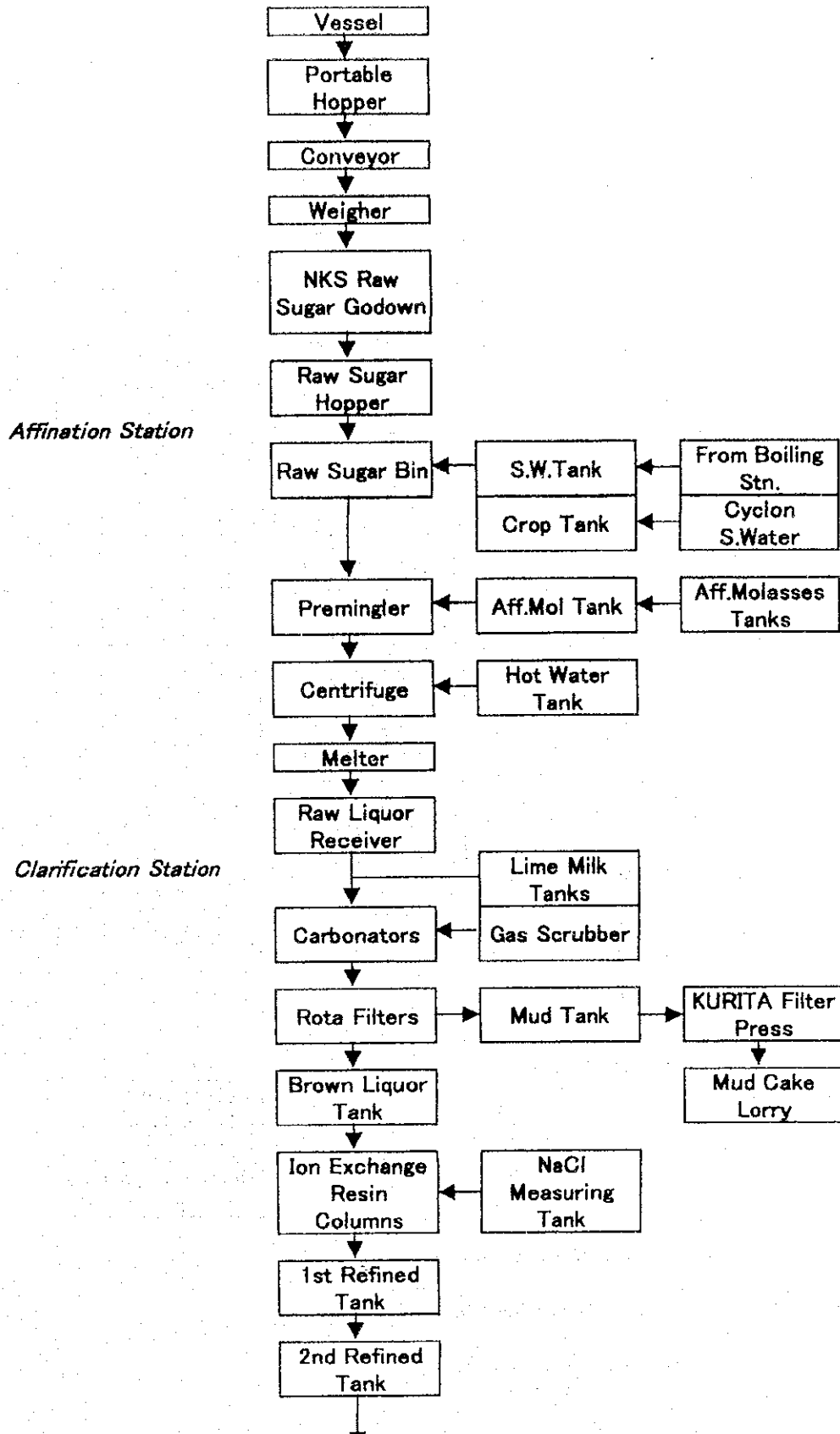


Figure 13-4 Simplified Flow Sheet of Sugar Refining

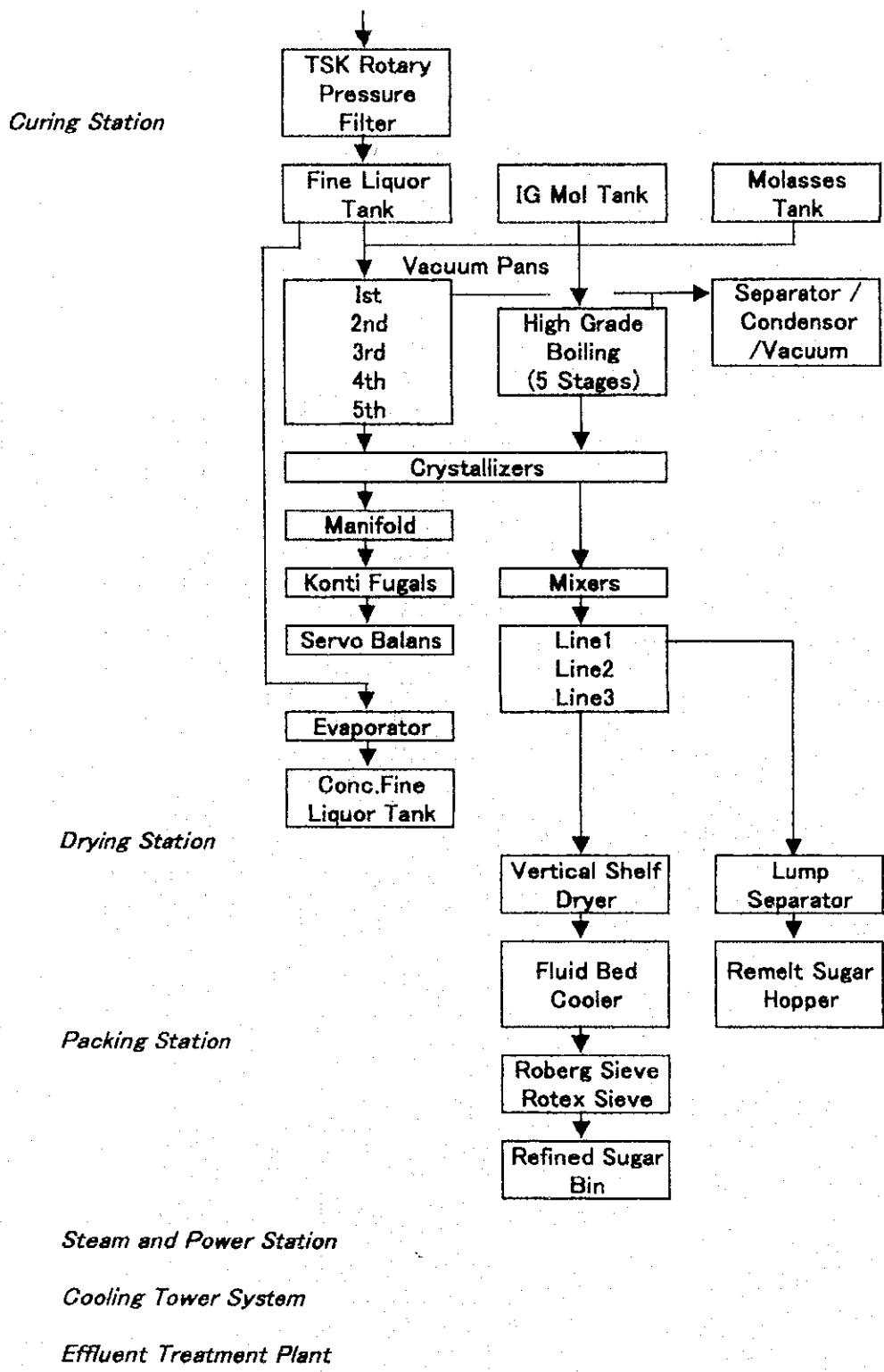


Figure 13-4 Simplified Flow Sheet of Sugar Refining

#### 13-4 運転稼働状況

##### (1) プラント運転形態

工場プラント運転は一日 24 時間、年間 330 日の連続運転である。溶解プロセスおよび後精製プロセスに多数設置されている個々の遠心分離器は、電力需要量の平準化を図るため並列シーケンス制御管理がされている。

##### (2) プラント保守形態

工場は予防的保守管理を適用しており数日間のプラント停止をして保守工事を行っている。

#### 13-5 生産量・エネルギー消費量

(1) 生産量能力、主要製品の年間生産量推移および年間稼働時間: 表 13-3 参照

Table 13-3 Production Capacity, Production Amounts and Annual Operating Hours

	Production Capacity (ton-melt/day)	Production Amount (ton/year)	Annual Operating Hour (hours/year)
1994	1,300	312,584	7,920
1995		329,036	7,920
1996		346,354	7,920
1997		364,583	7,920
1998		312,500	7,920

(2) 主要製品製造のための原料およびエネルギー消費量推移:

表 13-4 参照

(3) 年間用役消費量推移: 表 13-5 参照

(4) 主要製品生産コスト: N.A (Confidential)

(5) エネルギー価格: Medium fuel oil 400 RM/ton (数年間の平均値)

(6) エネルギーフロー図: N.A



**Table 13-4 Unit Consumption Figure of Raw Materials and Energy for Each Major Product**

Name of major product	Unit consumption figure	Unit	1994	1995	1996	1997 (estimate)	1998 (plan)
Refined sugar	1. Raw materials						
	(1) Raw sugar	raw melt ton / ton refined	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	2. Energy						
	(1) Heat/melt sugar	10 <sup>3</sup> kcal/ ton raw sugar	801	828	853	875	783
	(2) Electricity/melt sugar	kWh/ ton raw sugar	79.178	79.444	77.752	77.650	78.144

Table 13-5 Annual Utility Consumption and Unit Price

No.	Name of utility	Unit	Lower heating value (kcal/kg)	1994		1995		1996		1997(estimate)		1998 (plan)	
				Con- sump- tion	Unit price	Con- sump- tion	Unit price	Con- sump- tion	Unit price	Con- sump- tion	Unit price	Con- sump- tion	Unit price
1.	Medium Fuel oil	ton	10,100	24,806		26,979		29,265		31,614		24,248	
2.	Steam	ton		359,687	391,195		424,342		458,408		351,596		
3.	Electricity	10 <sup>6</sup> kWh		24.75	26.14		26.93		28.31		24.42		
4.	Process water	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>		1.19	1.19		1.20		1.20		1.20		
5.	Cooling water	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>		33.3	33.3		33.3		33.3		33.3		
6.	Boiler feed water	ton		374,074	406,843		441,315		476,730		365,659		
7.	R.O output	10 <sup>6</sup> ton		-	-		0.32		0.32		0.32		

### 13-6 エネルギー管理と省エネルギー活動についての現状

#### (1) 省エネルギー管理目標

18.5 ton medium fuel oil / ton raw-melt (1997 年度)

毎会計年度の始めに工場幹部は燃料消費原単位および電力消費原単位に関して省エネルギー管理目標値を設定している。

#### (2) 工場における省エネルギー推進活動

エンジニアリングマネージャが統括する省エネルギー委員会を 10 年間程月 1 回の頻度で開催している。委員会は、技術分野のマネージャ、エンジニアから成る総勢約 10 名のメンバーにより構成されている。

#### (3) エネルギー管理のためのデータ・記録

エンジニアリング部は、蒸気ボイラ、蒸気タービン、電力等運転データを管理している。その他の運転データは生産部が管理している。

蒸気ボイラについてはコンピュータが導入されておりコンピュータによるデータ採取が可能である。

#### (4) エネルギー管理のための従業員教育

エネルギー管理のための従業員教育を実施している。新入社員に対する運転者教育が一定期間、工場内で行われる。一方、運転状況およびエネルギー管理状況に関する短時間の検討会が毎朝開かれる。

#### (5) 設備保全管理

- 1) 予防保全によりスチームトラップをも含めた主要設備・機器の作動状況を、チェックリストを使って毎日点検している。
- 2) 予防保全のデータを基に計画的に修復作業を実施する。  
(4-5 日プラント停止/ 回)

#### (6) 実施した省エネルギー対策とその効果

力率改善用コンデンサーの設置により力率 0.8 以上に改善した。

#### (7) 計画中の省エネルギー対策とその予想効果

省エネルギー目標値管理し、目標値を見直している (5-7 パーセント / 年)。

### (8) 工場・業界の経済的状況

国家経済の動きに応じて変動する。

### (9) 省エネルギー推進上の問題点

- 1) 省エネルギー投資の資金回収期間が若干長い
- 2) 蒸気システムまわりの測定機器数が少ない

### (10) 環境汚染管理

- 1) 作業環境: 良好(計器室および電気室に空調設置済)
- 2) 排ガス:

ボイラ排煙筒に排煙ガス分析器設置されていないが、排煙ガス中の大部分の二酸化炭素はガス・スクラバーで炭酸カルシウムとして回収しており、二酸化炭素濃度に関して環境庁 (DOE) の定めた排出濃度基準値 (10 パーセント) 以下である。

- 3) 排水: 活性汚泥処理設備
- 4) 廃棄物: 10 トン /日 (Sugar cake mud をローリー車で搬出)

## 13-7 設備の現状と問題点

### 13-7-1 主要エネルギー消費設備の問題点

- 1) 蒸気主配管まわりに蒸気流量測定機器が少ない
- 2) エネルギーフローチャートがない
- 3) 運転の安定性を重視

### 13-7-2 省エネルギー推進上の問題点およびエネルギー診断に対する要望事項

現時点における検討課題および診断項目は次の通りである。

- 1) 蒸気実流量の測定
- 2) エネルギーフロー図の作成
- 3) スチームコンデンセート回収強化
- 4) スチームトラップ正常作動状態の保持
- 5) 機器まわりの断熱機能強化
- 6) 圧縮空気実流量の測定
- 7) 力率改善
- 8) 蒸気タービン発電機の発電効率向上

9) エネルギー関連主要機器: 表 13-6、13-7、13-8、13-9、13-10 と 13-11 を参照

- ボイラ: No.1/2 15 t/h 11 bar x 2 (予備)

No.3 30 t/h 11 bar x 1 (予備)

No.4 50 t/h 17 bar x 1 (稼働)

- スチームタービン発電機;

No.1 800 kw x 1 (予備)

No.2 1,200 kw x 1 (予備)

No.3 2,500 kw x 1 (予備)

No.4 3,500 kw x 1 (稼働)

No.5 1,000 kw x 1 (予備)

- 空気圧縮機 No.1, 3, 4

- 遠心分離機 x 15

10) 自家発電電力対買電比率:

10 - 15 パーセント (全消費電力に対する買電比率)

自家発電能力; 4,375 kVA

11) 受電システム

- 受電電圧、volt: 415 (50 Hz)

- 最大消費電力、kWh: 3,200 (Total Demand)

600 (内数; TENAGA より受電)

- 力率、%: 80

- 変圧器容量、台数:

1,500 kVA x 5

1,250 kVA x 1

750 kVA x 2

630 kVA x 1

200 kVA x 1

- 緊急用発電機: 1,000 kw x 1 unit, 440 volt, 60 Hz

Table 13-6 Details of No.3 Boiler

No.	Particulars of boilers	Specifications
1.	Manufacturer's name	Maxitherm
2.	Date of construction / Modification	1980
3.	Type of boiler	Water tube type Packaged boiler
4.	Max. continuous evaporation rate	30 t/hr
5.	Max. working pressure	17.5 bar G
6.	Normal pressure	20 bar G
7.	Normal temperature	300 °C ( Super heated steam )
8.	Boiler heat transfer area	748.8 m <sup>2</sup>
9.	Super heater heat transfer area	29.6 m <sup>2</sup>
10.	Fuel	Medium fuel oil
11.	Burner type / Number	Hamwoothy oil burner
12.	Drafting method	Forced draft
13.	Smoke stack ( top bore x height )	1.4 m $\phi$ x 43.33 m H

Table 13-7 Details of No.4 Boilers

No.	Particulars of boilers	Specifications
1.	Manufacturer's name	Vickers Hoskins (M) Sdn Bhd
2.	Date of construction / Modification	1988
3.	Type of boiler	Water tube type    Packaged boiler
4.	Max. continuous evaporation rate	50 t/hr
5.	Max. working pressure	24 bar G
6.	Normal pressure	20 bar G
7.	Normal temperature	310 °C ( Super heated steam )
8.	Boiler heat transfer area	898.0 m <sup>2</sup>
9.	Super heater heat transfer area	37.0 m <sup>2</sup>
10.	Economizer heat transfer area	not insatilled
11.	Air pre-heater heat transfer area	1,150 m <sup>2</sup>
12.	Combustion chamber volume	3,600 cubic ft
13.	Fuel	Medium fuel oil
14.	Burner type / Number	Y-jet steam atomised burner ( Saakle burner )
15.	Drafting method	Forced draft
16.	Smoke stack ( top bore x height )	1.4 m $\phi$ x 50 m H
17.	Control system	YOKOGAWA

Table 13-8 Equipment List ( Turbine Generator No. 3 )

No.	Equipment	Quantity	Main Specification	Remarks
	Turbine Generator No.3	1	<p data-bbox="391 1142 414 1288"><u>Turbine_side</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Manufacturer : Nadowski</li> <li>b) Speed : 7,620 rpm</li> <li>c) Steam inlet pressure : 11 bar</li> <li>d) Steam inlet temperature : 290 °C</li> <li>e) Exhaust steam pressure : 1 bar</li> <li>f) Steam rate : 13.1 kg/kwh</li> </ul>	(stand-by)
			<p data-bbox="798 1142 821 1288"><u>Generator_side</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Manufacturer : AEG</li> <li>b) Speed : 1,800 rpm</li> <li>c) Output capacity : 2,500 kw</li> <li>d) Voltage output : 3,300 volt</li> <li>e) Output current : 546 Amp</li> <li>f) Cycle : 60 Hz</li> </ul>	



Table 13-9 Equipment List ( Turbine Generator No. 4 )

No.	Equipment	Quantity	Main Specification	Remarks
	Turbine Generator No.4	1	Turbine_side	( in operation )
			<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Manufacturer : Shin-Nippon Machinery</li> <li>b) Speed : 6,545 rpm</li> <li>c) Steam inlet pressure : 17 bar</li> <li>d) Steam inlet temperature : 310 °C</li> <li>e) Exhaust steam pressure : 1 bar</li> <li>f) Steam consumption : 38,200 kg/h</li> <li>g) Steam rate : 10.9 kg/kwh</li> </ul>	
			Generator_side	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Manufacturer : Shinko</li> <li>b) Speed : 1,800 rpm</li> <li>c) Output capacity : 3,500 kw</li> <li>d) Voltage output : 3,300 volt</li> <li>e) Output current : 765 Amp</li> <li>f) Cycle : 60 Hz</li> </ul>	

Table 13-10 Equipment List ( Air Compressor No. 1, 3 & 4 )

No.	Equipment	Quantity	Main Specification	Remarks
	Air compressor No.1	1	Model : JG x GE HP : 150 HP Inlet capacity @ 100 psi : 817.1 cfm Max. pressure : 150 psig Compressor speed : 705 rpm Bore stroke : 14-1/2 - 10 x 7 Motor service factor : 1.15 SF	
	Air compressor No.3	1	Model : VMD 500 HP : 125 HP Free air del. : 560 cfm @ 100psig Max. pressure : 150 psig Speed : 735 rpm	
	Air compressor No.4	1	Type : Screw HP : 30 HP Output Capacity: 130 cfm Delivery Pressure : 5 bar (min.) 7.5 bar (max.) 7.0 bar (normal)	

Table 13-11 Equipment List ( Centrifugal Machine )

No.	Equipment	Quantity	Main Specification	Remarks
	TSK Centrifugal machine	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Manufacturer : TSK (Japan)</li> <li>b) Process type : batch</li> <li>c) Basket capacity : 600 kg/batch</li> <li>d) Main motor capacity : 220 kw</li> <li>e) Normal speed : 1,800 rpm</li> <li>f) Max. current : 400 Amp</li> </ul>	

## 13-8 エネルギー診断の方法

設備の現状と問題点に基づきエネルギー診断のための分析測定計画が立案された。

### 13-8-1 エネルギー診断のための確認事項

工場は、プラントメンテナンス上の要請および市場の需要見合でプラントの計画停止時期を決定している。そのためエネルギー診断実施のスケジュールについて1ヶ月前に連絡する必要がある。

第1次および第2次現地調査時の項目について確認した。

- 1) エネルギー診断の対象機器図面
- 2) エネルギー診断の対象機器の構造・外形寸法
- 3) エネルギー診断のための測定機器設置に際しての注意点
- 4) エネルギー診断のための測定機器設置計画
- 5) 測定機器設置許可手続
- 6) エネルギー診断のための工場所有測定機器確認
- 7) エネルギー診断のためのプラント既設置測定機器確認

### 13-8-2 測定項目・測定個所・測定機器

エネルギー診断のための主な分析測定個所を表 13-12 に示す。主要機器回りの分析測定個所について次の図に示す。

図 13-5 蒸気システム

図 13-6 電力システム

詳細な分析測定スケジュールを表 13-13 に示す。工場関係者との協同で行う工場における実質的な分析測定作業期間は10日以内として計画されている。

### 13-8-3 分析測定作業のための設備改造

#### (1) オリフィス流量計の設置

##### 1) 設置の目的

工場関係者との協議を基に、調査団は工場におけるエネルギー診断を実施するに当たっての重要課題の一つとして蒸気流量実測が必須であるとの結論した。蒸気流量測定による期待効果は次のとおりである。

1. 砂糖工場におけるエネルギー診断のためには蒸気バランスを明確にすること

が必須の条件であり、そのためには蒸気流量の測定が必要である。

2. 蒸気流量の測定はボイラー、蒸気タービン発電機およびその他蒸気消費設備間における蒸気の受給運転管理にとって必要である。
3. 蒸気流量の把握は今後のエネルギー管理上有効である。

## 2) 測定個所の選択

現状ではボイラー出口に全発生蒸気の流量を測定するため一基の流量計が設置されている。調査団は二基のオリフィス流量計設置を計画した。一基はプレート蒸発器行きの蒸気ラインに、一基は蒸気アキュムレーター行きのラインに設置した。図 13-5 に示すようにどちらも新しい高圧ヘッダーに接続された蒸気ライン上である。

## 3) 流量計仕様

各オリフィス流量計の機器構成は次のとおりである。

1. オリフィスプレートアセンブリー、プレートおよびタップ付フランジ
2. 差圧発信器
3. 伝送器
4. 蒸気流量記録計

詳細設計データを表 13-14 に示す。

## 4) オリフィス流量計設置のためのプラント改造作業

以下の改造作業は工場側で実施された。

1. 測定個所配管のカットおよびオリフィスアセンブリーの溶接付け。  
オリフィスの上流側、下流側にはそれぞれ配管径の 20 倍、10 倍相当の長さの直管部が必要である。
2. 差圧発信器の据え付けおよびオリフィスフランジタップから発信器までの配管工事
3. ローカル伝送器および流量記録計の設置
4. 計装工事および電源供給

Table 13-12(1) Detailed Plan of Analysis and Measurement for Energy Audit (Food Processing)

Major Items of Energy Audit	Subject Items and Points	Method of Analysis and Measurement										Personal Allocation (Number)			Schedule (Duration)		
		Measurement, Estimate or Trend Record	Equipment of Analysis and Measurement					Local Consultant					JICA	Local Consultant		Factory	
			Required Equipment	Factory	Local Consultant	JICA	Local Labo	Addition	Local Labo	JICA	Local Consultant	Factory					
1. Boiler System	<Boiler>		X											1	1	1	2
	(1) Medium Fuel Oil	E or M	Design Data														
	① Heating Value (LHV & HHV : kcal/kg)	E or M	Supplier's Data or Analysis	X													
	② Specific Gravity	E or M	Supplier's Data or Analysis	X													
	③ Viscosity (c.p)	E or M	Supplier's Data or Analysis	X													
	④ Flow Rate (t/h)	T or M	Ultrasonic Flowmeter				X										
	⑤ Elemental Analysis																
	Carbon(wt%)	E or M	Supplier's Data or Analysis	X													
	Hydrogen(wt%)	E or M	Supplier's Data or Analysis	X													
	Nitrogen(wt%)	E or M	Supplier's Data or Analysis	X													
Oxygen(wt%)	E or M	Supplier's Data or Analysis	X														
Sulfur (wt%)	E or M	Supplier's Data or Analysis	X														
(2) Boiler Feed Water	① Flow Rate( t/h)	T or M	Ultrasonic Flowmeter	X													
	② Temperature	T or M	Bar Thermometer	X													
	③ Pressure(bar)	T or M	Pressure Gauge	X													
	④ Electric Conductivity (μ S/cm)	M	Electric Conductivity Meter														
	⑤ pH	M	pH meter														
(3) Return Condensate	① Flow Rate( t/h)	T or M	Ultrasonic Flowmeter	X													
	② Temperature	T or M	Bar Thermometer	X													
	③ Pressure(bar)	T or M	Pressure Gauge	X													
	④ Electric Conductivity (μ S/cm)	M	Electric Conductivity Meter														
	⑤ pH	M	pH meter														

Table 13-12(2) Detailed Plan of Analysis and Measurement for Energy Audit (Food Processing)

Major Items of Energy Audit	Subject Items and Points	Method of Analysis and Measurement										Personal Allocation (Number)		Schedule (Duration)
		Measurement, Estimate or Trend Record	Equipment of Analysis and Measurement					Local Labo	Addition	JICA	Local Consultant	Factory		
			Required Equipment	Factory	Local Consultant	JICA	Local Labo							
1.Boiler System	(4) R.O Treated Water ① Flow Rate( t/h) ② Temperature ③ Pressure(bar) ④ Electric Conductivity (μ S/cm) ⑤ pH	T or M	Ultrasonic Flowmeter	X						1	1	1	2	
		T or M	Bar Thermometer	X										
		T or M	Pressure Gauge	X										
		M	Electric Conductivity Meter											
		M	pH meter											
	(5) Combustion Air ① Flow Rate( Nm3/h) ② Temperature(°C) ③ Pressure(bar)	T or M	Pitot Tube Gas Flowmeter	X						1	1	1	2	
		M	Bar Thermometer	X										
		M	Pressure Meter for Furnace	X										
	(6) Generated Steam ① Flow Rate( t/h) ② Temperature(°C) ③ Pressure(bar)	T	Operation Data	X						1	1	1	2	
		T	Operation Data	X										
		T	Operation Data	X										
	(7) Exhaust Gas ① Oxygen(vol%) ② CO <sub>2</sub> (vol%) ③ CO(vol%) ④ Flow Rate (Nm <sup>3</sup> /h) ⑤ Temperature(°C)	T or M	Oxygen Content Meter for Exhaust Gas	X						1	1	1	2	
		M	CO/CO <sub>2</sub> Content Meter											
		M	CO/CO <sub>2</sub> Content Meter											
		M or E	Pitot Tube Gas Flowmeter											
M		Bar Thermometer												

**Table 13-12(3) Detailed Plan of Analysis and Measurement for Energy Audit (Food Processing)**

Major Items of Energy Audit	Method of Analysis and Measurement										Personal Allocation (Number)			Schedule (Duration)			
	Subject Items and Points	Measurement, Estimate or Trend Record	Required Equipment	Equipment of Analysis and Measurement					Addition	JICA		Factory					
				Factory	Local Consultant	JICA	Local Labo	Local Consultant		JICA	Local Consultant						
2. Steam Generator (Electric Power Generator)	<Steam Turbine Generator>	E	Design Data	X							X		1	1	1	2	
	① Inlet Steam	T or M	Bar Thermometer	X							X						
	② Flow Rate(t/h)	T or M	Pressure Gauge	X							X						
	③ Temperature (°C)																
	④ Pressure (bar)																
	(2) Exhaust Steam	E	Bar Thermometer	X							X			1	1	2	
	① Flow Rate(t/h)	M	Pressure Gauge for Steam	X							X						
	② Temperature (°C)	M															
	③ Pressure (bar)																
	(3) Condensed Steam	M	Ultrasonic Flowmeter								X			1	1	2	
	① Flow Rate(t/h)	M	Bar Thermometer								X						
	② Temperature (°C)	T or M	Pressure Gauge								X						
	③ Pressure (bar)	T or M	Ultrasonic Flowmeter								X						
	④ Cooling Water (t/h)	T or M	Bar Thermometer								X						
	⑤ C.W Inlet Temperature(°C)	T or M	Bar Thermometer								X						
	⑥ C.W Outlet Temp.(°C)																
	④ Generated Power (kWh/h)	T	Operation Record & Data											1	1	1	
	⑤ Power factor (%)	T	Operation Record & Data											1	1	1	
⑥ Rotation (rpm)	M	Rotation Speed Meter (*1)											1	1	1		

\*1: Marking of Rotating Part is necessary during shut-down.



Table 13-12(4) Detailed Plan of Analysis and Measurement for Energy Audit (Food Processing)

Major Items of Energy Audit	Method of Analysis and Measurement										Personal Allocation (Number)			Schedule (Duration)								
	Subject Items and Points	Measurement, Estimate or Trend Record	Equipment of Analysis and Measurement				Local			JICA	Local Consultant	Factory										
			Required Equipment	Factory	Local Consultant	JICA	Local Labo	Addition														
3. Heat Consuming Facilities (Evaporator) (Vacuum Pan) (Dryer) (Ejector) (Others)	<Heating Materials>																					
	① Flow Rate (t/h)	E	Design Data	X																		
	② Inlet Temperature (°C)	T or M	Bar Thermometer	X																		
	③ Inlet Pressure (bar)	T or M	Pressure Gauge for Steam	X																		
	④ Outlet Temperature (°C)	T or M	Bar Thermometer	X																		
	⑤ Outlet Pressure (bar)	T or M	Pressure Gauge for Steam	X																		
⑥ Steam Header Flow Rate (t/h)	M	Orifice Installation and Portable Meter (2 sets)																				
4. Steam Trap (Prevention of Heat Energy Loss)	<Heated Materials>																					
	① Composition (wt%)	E	(Ultrasonic Flow Meter)	X																		
	② Flow Rate (t/h)	T or M	Bar Thermometer	X																		
	③ Inlet Temperature (°C)	T or M	Bar Thermometer	X																		
	④ Inlet Pressure (bar)	T or M	Pressure Gauge for Steam	X																		
	⑤ Outlet Temperature (°C)	T or M	Bar Thermometer	X																		
⑥ Outlet Pressure (bar)	T or M	Pressure Gauge for Steam	X																			
5. Thermal Insulation System (Prevention of Heat Energy Loss)	<Steam Trap>	M	Steam Trap Checker																			
	(1) Working Condition																					
	(1) Surface Temperature of Main Equipments	M	Surface Thermometer																			
	1) Dryer>	M	Surface Thermometer																			
2) Evaporator	M	Surface Thermometer																				
3) Vacuum Pan	M	Surface Thermometer																				
4) Ejector	M	Surface Thermometer																				
(2) Steam-Piping to Turbine																						
1) Boiler outlet point	T or M	Bar Thermometer																				
① Steam Temperature(°C)	T or M	Pressure Gauge	X																			
② Steam Pressure (bar)	T or M	Surface Thermometer	X																			
③ Surface Temperature (°C)	M	Temperature-Humidity Meter																				
④ Atm. Temperature (°C)	M																					

Table 13-12(5) Detailed Plan of Analysis and Measurement for Energy Audit (Food Processing)

Major Items of Energy Audit	Method of Analysis and Measurement										Personal Allocation (Number)			Schedule (Duration)			
	Subject Items and Points	Measurement, Estimate or Trend Record	Equipment of Analysis and Measurement					JICA	Local Labo	Addition	JICA	Local Consultant	Factory				
			Required Equipment	Factory	Local Consultant	JICA	Local Labo										
5. Thermal Insulation System (Prevention of Heat Energy Loss)	② Turbine inlet point	T or M	Bar Thermometer	X													
	① Steam Temperature (°C)	T or M	Pressure Gauge	X													
	② Steam Pressure (bar)	M	Surface Thermometer														
	③ Surface Temperature (°C)	M	Temperature-Humidity Meter														
	④ Atm. Temperature (°C)	M															
6. Air Compressor System (Electric Power)	<Insulation Material>	E	Specification Data	X													2
	① Thermal Conductivity (kcal/m·h·°C)																
	<Induction Motor>	M	Supplier's Data														
	① Rotation Speed (rpm)	T or M	Rotation Speed Meter (*1)	X													
	② Electricity Consumption (kWh/h)	M	Voltage-Ampere-Watt Meter	X													
7. Hot Water Cooling Tower (Electric Power Consumption)	③ Voltage	M	Voltage-Ampere-Watt Meter	X													
	④ Ampere	M	Voltage-Ampere-Watt Meter	X													
	⑤ Power Factor (%)	M	Power Factor Meter	X													
	<Air>	M	Hot Wire Anemometer														
	① Air Flow Rate (Nm <sup>3</sup> /h)	T or M	Bar Thermometer	X													
7. Hot Water Cooling Tower (Electric Power Consumption)	② Air Inlet Temperature (°C)	T or M	Pressure Gauge for Air	X													
	③ Air Inlet Pressure (bar)	T or M	Bar Thermometer	X													
	④ Air Outlet Temperature (°C)	T or M	Pressure Gauge for Air	X													
	⑤ Air Outlet Pressure (bar)	T or M	Rotation Speed Meter	X													
	<Fan Motor>	M	Voltage-Ampere-Watt Meter	X													
7. Hot Water Cooling Tower (Electric Power Consumption)	① Rotation Speed (rpm)	T or M	Voltage-Ampere-Watt Meter	X													
	② Electricity Consumption (kWh/h)	T or M	Voltage-Ampere-Watt Meter	X													
	③ Voltage	T or M	Voltage-Ampere-Watt Meter	X													
	④ Ampere	T or M	Voltage-Ampere-Watt Meter	X													
	⑤ Power Factor (%)	T or M	Power Factor Meter	X													

Table 13-12(6) Detailed Plan of Analysis and Measurement for Energy Audit (Food Processing)

Major Items of Energy Audit	Method of Analysis and Measurement										Personal Allocation (Number)			Schedule (Duration)
	Subject Items and Points	Measurement, Estimate or Trend Record	Required Equipment	Equipment of Analysis and Measurement						Addition	JICA	Local Consultant	Factory	
				Factory	Local Consultant	JICA	Local Labo							
(Heat Consumption)	<Hot Water>										1	1	1	1
	① Flow Rate (kg/h)	T or M	Ultrasonic Flowmeter	X										
	② Inlet Temperature (°C)	T or M	Bar Thermometer	X										
	③ Inlet Pressure (bar)	T or M	Pressure Gauge	X										
	④ Outlet Temperature (°C)	T or M	Bar Thermometer	X										
	⑤ Outlet Pressure (bar)	T or M	Pressure Gauge	X										
⑥ Piping Surface Temp. (°C)	M	Surface Thermometer	X											
<Insulation Material>		E	Specification Data	X							1	1	1	1
	① Thermal Conductivity (kcal/m·h·°C)													
<Atmosphere>		M	Temperature-Humidity Meter								1	1	1	1
	① Atm. Temperature (°C)	M	Temperature-Humidity Meter								1	1	1	1
8. Electrical Power Generating and Distribution (Electric Power Consumption)	<3.3kv Bus Bar>										1	1	1	3
	① Voltage	T	Voltage-Ampere-Watt Meter	X										
	② Ampere	T	Voltage-Ampere-Watt Meter	X										
③ Power Factor (%)	T	Power Factor Meter	X											
<Distribution Board>		T	Voltage-Ampere-Watt Meter	X										3
① Voltage	T	Voltage-Ampere-Watt Meter	X											
② Ampere	T	Voltage-Ampere-Watt Meter	X											
③ Power Factor (%)	T	Power Factor Meter	X											
<Control Board>		T	Voltage-Ampere-Watt Meter	X										3
① Voltage	T	Voltage-Ampere-Watt Meter	X											
② Ampere	T	Voltage-Ampere-Watt Meter	X											
③ Power Factor (%)	T	Power Factor Meter	X											

Table 13-12(7) Detailed Plan of Analysis and Measurement for Energy Audit (Food Processing)

Major Items of Energy Audit	Subject Items and Points	Method of Analysis and Measurement										Personal Allocation (Number)			Schedule (Duration)	
		Measurement, Estimate or Trend Record	Equipment of Analysis and Measurement					Addition					JICA	Local Consultant		Factory
			Required Equipment	Factory	Local Consultant	JICA	Local Labo	Factory	Local Consultant	JICA	Local Labo					
9. Transformer (Electric Power Consumption)	<1 Transformer> ① Voltage ② Ampere ③ Power Factor (%) ④ Iron Loss (kW)	T or M T or M T or M E	Voltage-Ampere-Watt Meter Voltage-Ampere-Watt Meter Power Factor Meter Design Data	X X X X			X X X						1	1	1	1
10. Phase Balance (Electric Power Consumption)	<3-Phase 4-Way System> ① Phase Current, Amp. ② Phase Voltage ③ Balance Estimation	T.Data or M T.Data or M E	Voltage-Ampere-Watt Meter Voltage-Ampere-Watt Meter	X X			X X X						1	1	1	1
11. Field Investigation	(1) Preparation of Equipment List (2) Investigation of Drawings (3) Operating Condition Observation for Equipment and Facilities	Review Investigation Observation	Existing List Existing Drawings Operation Record	X X X									1	1	1	8

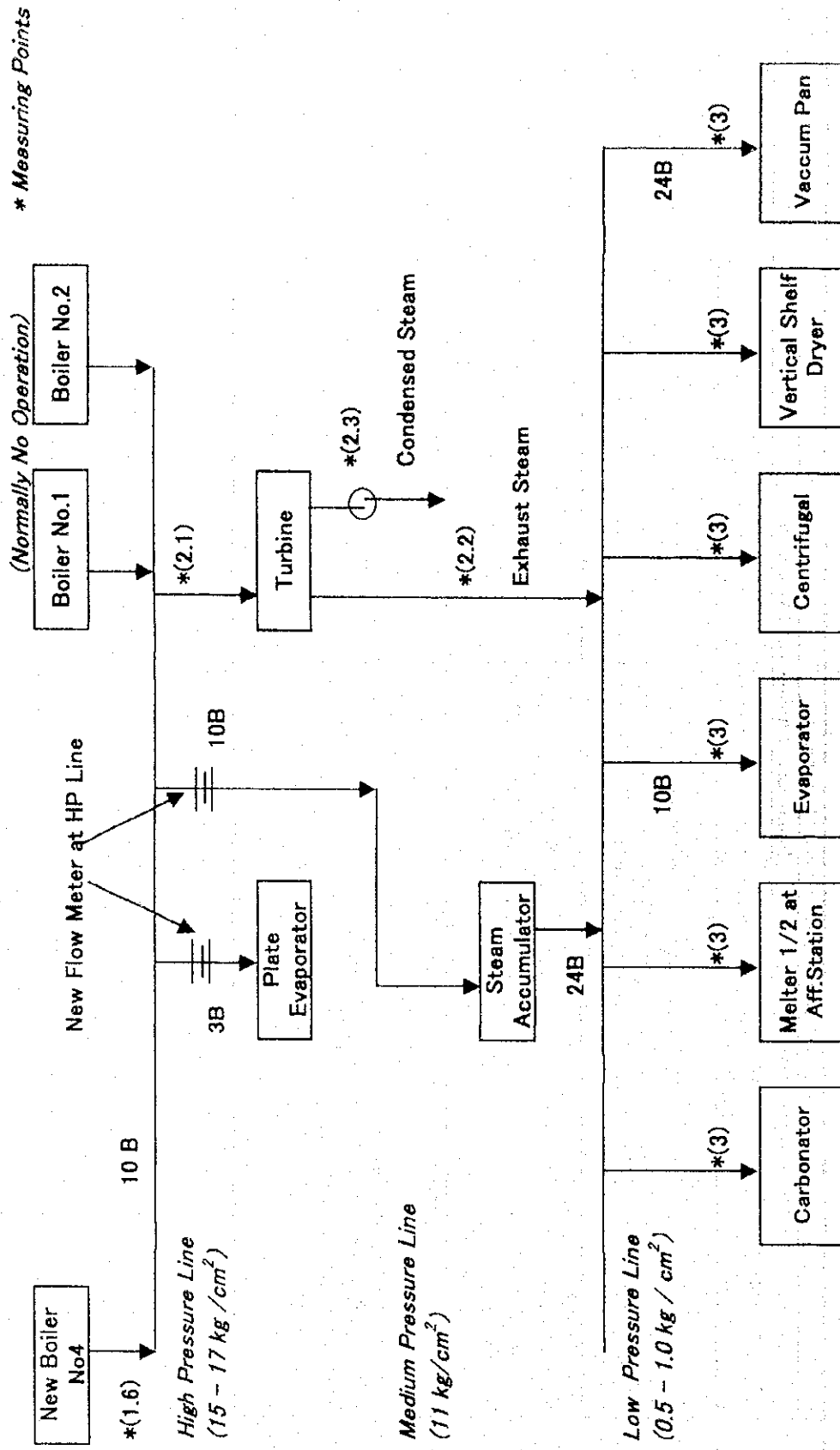


Figure 13-5 Steam System Flow

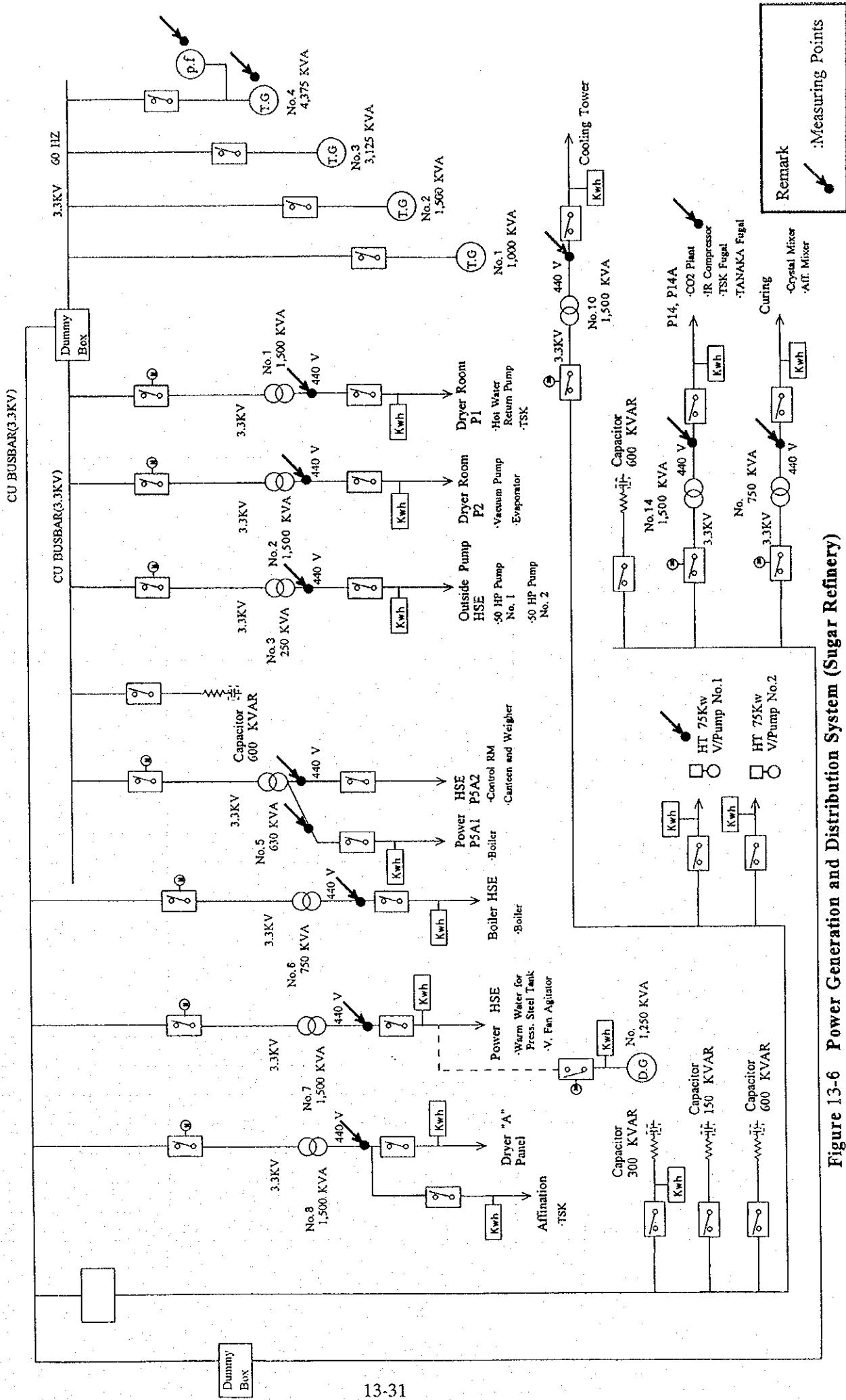


Figure 13-6 Power Generation and Distribution System (Sugar Refinery)

**Table 13-13 Schedule of Analysis and Measurement for Energy Audit (Food Processing)**

Major Items of Energy Audit Subject Items and Points	Working Day										Remarks	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0. Preparation	X											
1. Boiler System												
(1) Medium Fuel Oil		X	X									
(2) Boiler Feed Water		X	X									
(3) Return Condensate		X	X									
(4) R.O Treated Water		X	X									
(5) Combustion Air		X	X									
(6) Generated Steam		X	X									
(7) Exhaust Gas		X	X									
2. Steam Turbine Generator												
(1) Inlet Steam				X	X							
(2) Exhaust Steam				X	X							
(3) Condensed Steam				X	X							
(4) Generated Power				X	X							
(5) Power Factor				X	X							
(6) Rotation				X	X							
3. Heat Consuming Facilities												
<Evaporator>						X	X					
<Vacuum Pan>						X	X					
<Dryer>						X	X					
<Ejector>						X	X					
<Others>						X	X					
4. Steam Trap System						X	X	X				
5. Thermal Insulation System												
<Evaporator>						X	X					
<Vaccum Pan>						X	X					
<Dryer>						X	X					
<Ejector>						X	X					
<Piping>						X	X					
6. Air Compressor System								X				
7. Hot Water Cooling Tower								X				
8. Electrical Power		X	X	X								
9. Transformer					X							
10. Phase Balance						X						
11. Field Investigation		X	X	X	X	X	X	X	X			
12. Review and Discussion											X	

**Table 13-14 Specification for Orifice Steam Flow Meter**

Items / Points	HP Steam to Plate Evaporator	HP Steam to Steam Accumulator
Fluid	HP Steam	HP Steam
Piping Dimension	3 inch	8 inch
Inner Diameter (mm)	77.92	202.74
Outer Diameter (mm)	88.9	219.1
Piping Spec. Ratings	Sch. 40	Sch. 40
Material	API Pipes	API Pipes
Temperature (°C) Normal	270 - 310	270 - 310
Temperature (°C) Design	300	300
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> ) Normal	11.0	10 - 12.0
Pressure (kg/cm <sup>2</sup> ) Design	20.0	24.0
Flow Rate (t/h) Normal	1.9	5 - 6.0
Flow Rate (t/h) Design	5.0	25.0
Density (kg/m <sup>3</sup> )	4.5955	4.5955
Viscosity (cP)	0.0202	0.0202
Differential Pressure at Scale Range (mmH <sub>2</sub> O)	6,500	5,000