

第9章 病院（セレンバン病院）

9-1 病院の特色

本病院は、1969年に設立された。T字型をした9階建て建物の中に入院患者用ベッド（800）が収容されており、1階部分には外来患者棟及び処置・診断室を擁している。病院はNegeri Sembilan州に設置された国立の総合病院である。この病院と同じ設計仕様のものがマレーシア国内数カ所にあり、国の代表的な病院のひとつと言えよう。この病院には、電力、燃料油、冷水、温水及び蒸気といった民生部門としてのほとんど全てのエネルギー使用形態がある。従って調査団は、代表的なほとんどすべてのエネルギー消費に関するエネルギー診断を実施した。本章では、エネルギー診断の結果、結果の評価及びエネルギー効率改善策の提案等について述べる。

9-1-1 病院の概要

- | | |
|-------------------|--|
| (1) 名称： | Hospital Seremban（セレンバン病院） |
| (2) 住所： | Jalan Dr. Muthu, off Jalan Rasah, 70300 Seremban, Negeri Sembilan
Telephone: 06-723333, Facsimile: 06-7625771 |
| (3) 病院長： | Dr. T. Mahadevan |
| 病院管理者： | Dr. K. Gunapusanam（副院長） |
| エネルギー管理者： | Tongkah Medivest Sdn. Bhd. Service Center, Hospital Seremban（民営化企業） |
| (4) 病院の経営形態： | 公立（連邦政府所有） |
| (5) 年間経費： | 6千万リンギット／年 |
| (6) 組織図： | 図 9-1 に示す。 |
| (7) 従業員数： | 1,700（診療、非診療、支援サービス部門を含む専任者の合計）
医師： 172、 看護婦： 597 |
| (8) エネルギー関連管理要員数： | 保守技術者： 4、 保守作業員： 88 |
| (9) 設立年度： | 1969（新病院） |

9-2 設備の現状と主要なエネルギー消費設備

- (1) 全敷地面積、ha : 85 (新病院: 26, 旧病院: 59)
- (2) 全床面積、ha : 4 (新病院: T字型9階建ての入院患者用ビル、外来患者用および処置・検査地区含む1階建ての張出し建物全体)
- (3) ベッド数 : 800
- (4) 主要業務 : 診療 : 14 科、医療・診療トレーニング : 12 コース、
支援サービス : 11 項目
 - 1) 外来患者サービス
外来患者サービスは、週6日で1日のサービス時間は次のとおりである。
月 - 金: 8:00 AM - 4:15 PM
土 : 8:00 AM - 12:45 PM
日 : 休日
 - 2) 緊急サービス
緊急サービス体制は次のとおりである。
年間サービス日数、days : 365、1日のサービス時間、hours : 24
- (5) 使用燃料 :
軽質油 : 縦型煙管ボイラー用燃料 (3 基)
ディーゼル油 : 緊急用発電機用燃料 (2 基) および焼却炉用
- (6) 月間エネルギー消費量 (1997 年) :
軽質油、kl/月、RM/月 : 85.7、30,000
電力、MWh/月、RM/月 : 571.4、120,000
- (7) 主要エネルギー消費設備の概要:表 9-1 に示す。
 - 1) ボイラー
 - 2) 冷凍機
- (8) 受電設備 :
 - 1) 受電電圧、kV : 11
 - 2) 現状の需要量、kW : 1,000
 - 3) 現状の力率、% : 85
 - 4) 緊急用発電機、kVA : 750 & 819 (定常時需要量の50%)
- (9) 蒸気および電力の用途先 :
 - 1) 蒸気 : キッチンおよびランドリー、温水器、所内温水器、ベッド洗浄機、ステライザー、調湿機および空調機再熱コイル
 - 2) 電力 : 空調用電力、照明用その他すべての電力は変電所経由TNBから受入れ

(10) エネルギー管理

民営化された支援サービス会社（名称：Tongkah Medivest Sdn. Bhd.）が、本病院のエネルギーと保守管理を担当している。

病院コンプレックスの本体は 1969 年に建設され、その後いくつかのエネルギー消費設備（冷凍設備等）は改善されている。

9-3 エネルギー診断とその結果

本病院のエネルギー診断は、1998 年 6 月 29 日から 7 月 9 日に実施した。この期間内に測定の前準備及び診断の一次結果についての討議も行った。スケジュールの概要は次の通りである。

9-3-1 測定項目・測定箇所・測定機器

エネルギー消費状況を評価しエネルギーバランスを向上するため、エネルギー診断スケジュール・診断項目に従って以下に述べる測定を実施した。

(1) 電力受電系統及び配電

- 1) 高圧受電：電圧、電流、電力、力率のトレンドデータ
- 2) 高圧配電：電圧、電流、電力、力率のトレンドデータ
- 3) 低圧配電：電圧、電流

(2) 空調システム

- 1) 冷凍機：入／出冷水温度、冷水流量、電圧・電流・電力・力率
- 2) 再冷塔：入／出冷水温度、再冷水流量
- 3) AHU：電圧・電流、空気流量・温度
- 4) ブローワー・ファン：空気流量、電圧・電流
- 5) 空調エリア：温度・湿度・CO₂濃度
- 6) 室内空調エリア：温度・湿度
- 7) 屋外条件：温度・湿度・CO₂濃度

(3) 照明システム

- 1) 共通空間：照度
- 2) 部屋：照度

(4) 熱使用設備

- 1) 蒸気ボイラー： 燃料流入量・燃料性状、ボイラー供給水の流量・温度・電気伝導度・pH、発生蒸気の温度・圧力、排出ガスの温度・ O_2 / CO / CO_2 組成
- 2) 温水器： 温水の温度
- 3) 断熱： ボイラー表面温度

(5) エネルギー消費量

- 1) 電力消費量
- 2) 燃料消費量

(6) 現場踏査

- 1) 機器リスト確認
- 2) 図面調査
- 3) 機器、設備の運転状況観察

Table 9-1 Outline of Major Energy-Consuming Facilities

Name	Type	Number	Manufacturer	Start-up	Rated Capacity	Remarks
Boilers						
Boiler - 1	Horizontal Smoke Tube	1	Multipac	1968	9 bar, 2950 kg/hour	in operation
Boiler - 2	ditto	1	ditto	ditto	ditto	malfunctional
Boiler - 3	ditto	1	ditto	ditto	ditto	in operation
Air Conditioning System						
Chiller - 2	Centrifugal	1	Trane Hermetic	1969	185 tons	uneconomical
Chiller - 1	Vertical Rotary Screw	1	Dunham Bush	1988	250 tons	in operation
Chiller - 3	ditto	1	ditto	ditto	ditto	in operation
Cooling Tower	Louver with 2 Fans	1	Marley		1969	750 Tons
manual control						
Chilled Water Pumps		3				
Cooling Water Pumps		3				
Air-Handling Units		53			290 tons in total	40% of buildings
area						

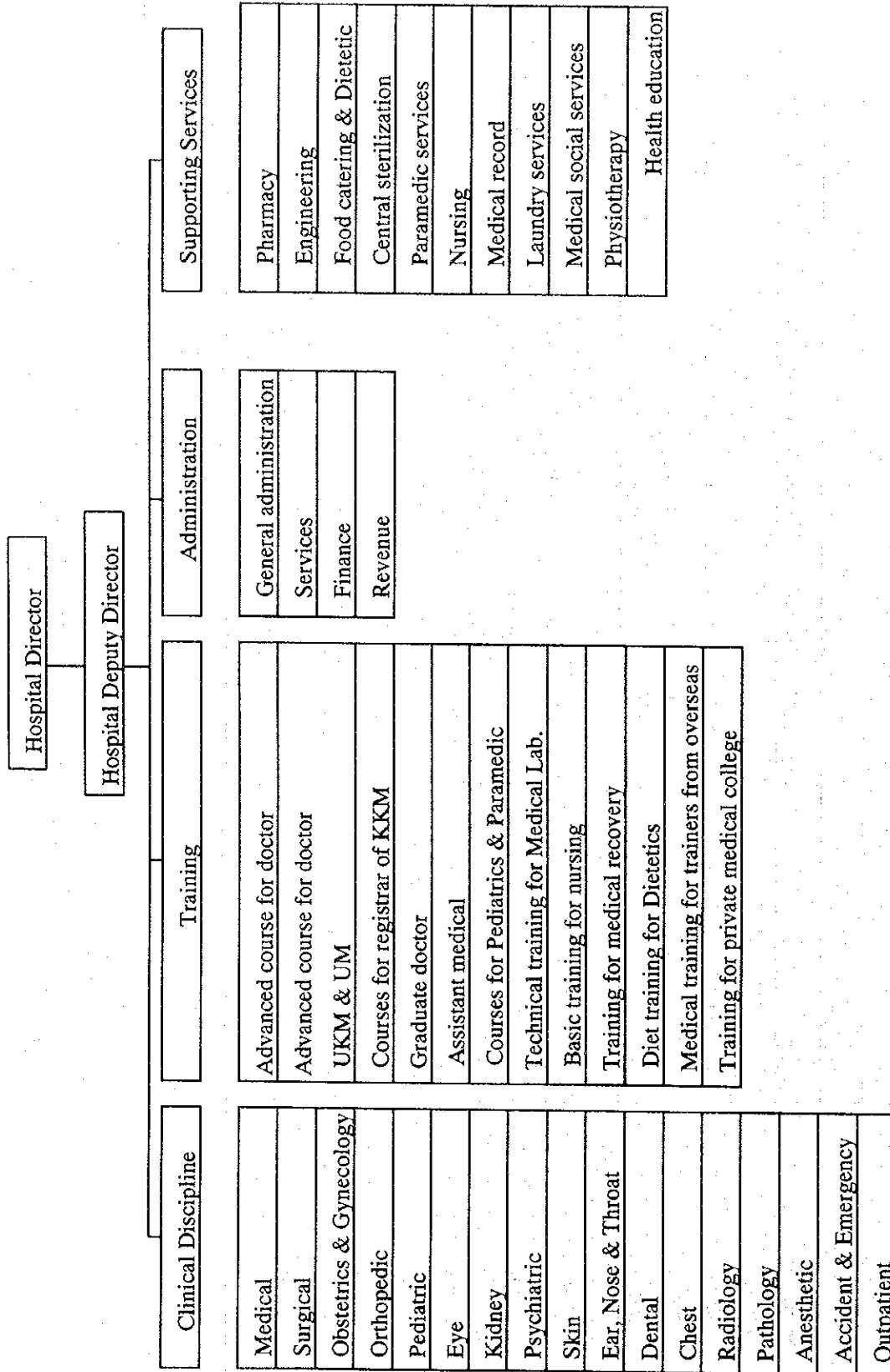


Figure 9-1 Hospital Organization Chart

9-3-2 エネルギー診断結果

(1) TNB からの電力受電

この病院は TNB (Tenaga Nasional Berhad) から受電系統線 No.1 又は No.2 経由で電力供給を受けている。平日における時間毎の電力需要量は、夜昼の差が大きく昼間が高く夜間が低くなっている。一方休日においては、夜昼の差はほとんど見られない。これらのうち週日の傾向を図 9-2 に示した。

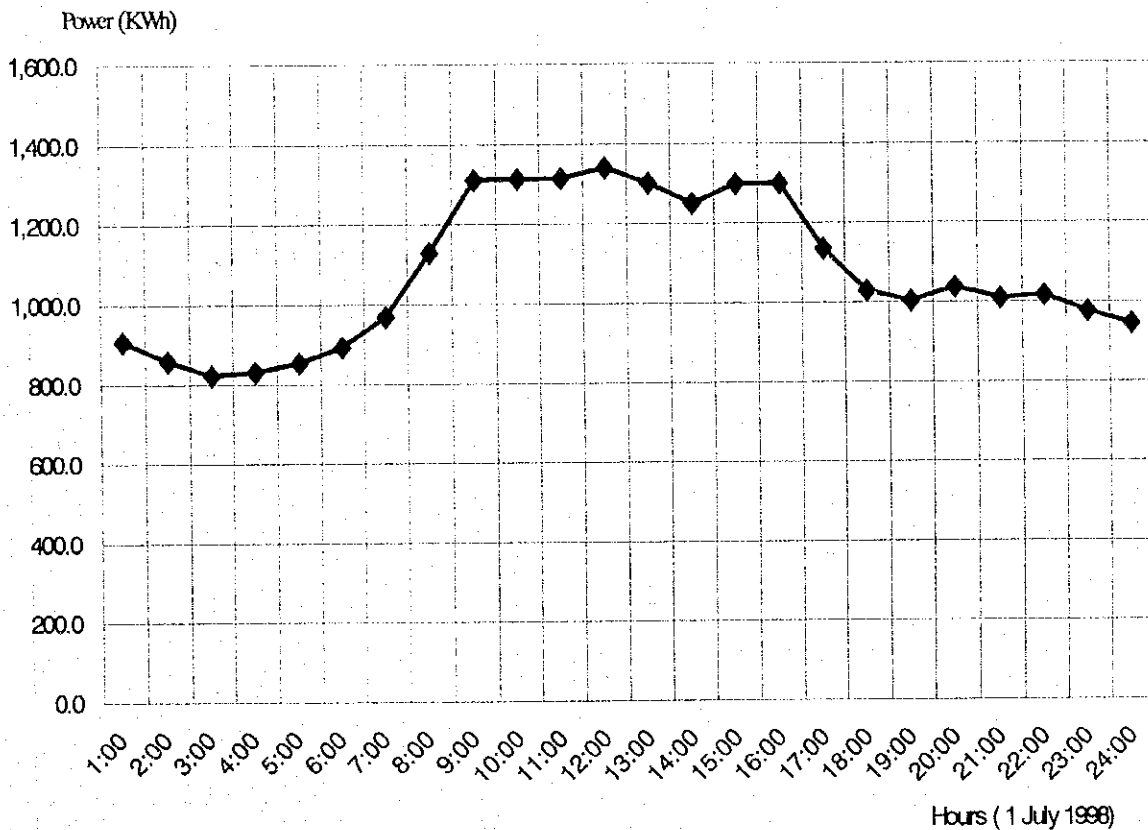


Figure 9-2 Power Receiving TNB

(2) 受電変圧器による構内配電

低圧配電用として2台の変圧器が設置されている。No.1 変圧器は non essential line への電力供給を、また No.2 変圧器は緊急用発電機が接続されている essential line への電力供給を行っている。

- 力率 : No.1 = 0.733 - 0.679 No.2 = 0.807 - 0.752
- 負荷 : No.1 = 30 - 49 % No.2 = 26 - 44 %

No.1、No.2 変圧器とも負荷の値が非常に低い。変圧器の固定損即ち鉄損の比率を低下させる検討が必要であろう。

(3) 冷凍機システム

冷凍機 No.1 および No.3 の時間毎電力消費量データによると、力率が非常に低く冷凍機システムが頻繁に過電流トリップ作動により停止している。

- 冷凍機 No.1 : 電力消費量 kWh = 63.8 - 119.3
力率= 0.30 - 0.49
- 冷凍機 No.3 : 電力消費量 kWh = 82.0 - 105.3
力率= 0.37 - 0.48

(4) ボイラーシステム

表 9-2 に、7月8日に測定したボイラー排ガスの組成を示す。

Table 9-2 Boiler Flue Gas Content and Intake Air Condition

Instrument:		HODAKA HT-2000	
Parameter (Fuel Type):		"Diesel Oil"	"Heavy oil (C)"
Time:		10:45	14:30
Flue Gas Content			
Oxygen (%)		7.3 - 7.6	7.2
Carbon dioxide (%)		9.9	10.5
Carbon monoxide (%)		7	8
Nitrogen oxide (ppm)		98 - 102	111
TG (degree Celcius)		165.0 - 186.1	195.3
TA (degree Celcius)		33.7 - 33.9	34.9
hPa		-0.97 to -1.12	-1.24
Intake air	0.4497 (Nm ³ /s)		
Velocity;	9.04 (m/s)		
Temperature;		30.1 degree Celcius	
Suction Area;		0.0552 (m ²)	

(5) 病院建屋内の環境条件

病院内至る所で、自然条件を取入れたシステムが採用されている。将来の空調システム計画時新たな検討を要する。

照明強度は測定場所毎に9～1,324ルクスと大きく変化しているが、この値は日本の事務所ビルの通路、階段部分に適用される基準値を満足している。

CO₂濃度についても建築基準法の管理基準値の範囲内である。

9-3-3 セレンバン病院におけるエネルギーバランス

病院における全体エネルギーバランスを図9-3に示す。病院の主要設備では、図に示すように電力、軽質油およびディーゼル油といった各種形態のエネルギーが使用されている。消費比率は、病院におけるエネルギー使用の特徴を示している。電力が、全一次エネルギー消費量の約56%を占めている。

9-3-4 エネルギー消費原単位

454,600 kcal/m²/yr

(Note-1) エネルギー消費量内訳

Energy	Consumption	Unit Calorific Value	Energy Consumption Amount
Light Fuel Oil	786,240 kl/yr	9,900 kcal/l	7,783.8 x 10 ⁶ kcal/yr
Diesel Oil	13.63 kl/yr	9,000 kcal/l	122.7 x 10 ⁶ kcal/yr
Electric Power	4,501,099 kWh/yr	2,250 kcal/kWh	10,127.5 x 10 ⁶ kcal/yr
TOTAL			18,034.0 x 10 ⁶ kcal/yr

(Note-2) 床面積内訳

Floor	1	2	3	4	5	6	8	TOTAL
Area, m ²	1,920	270	3,750	14,300	2,600	14,200	2,630	39,670

日本の類似の病院と比較した表9-3によると、顕著な差異としては、セレンバン病院のエネルギー消費原単位が非常に小さいことである。1) 自然通気をより多く取り入れており又冷房専用（暖房の機能は不要）であること 2) きめこまかな照明管理、合理的なエレベーター運転管理等省エネルギー管理を進めている等セレンバン病院がより省エネルギー的であるといえる。

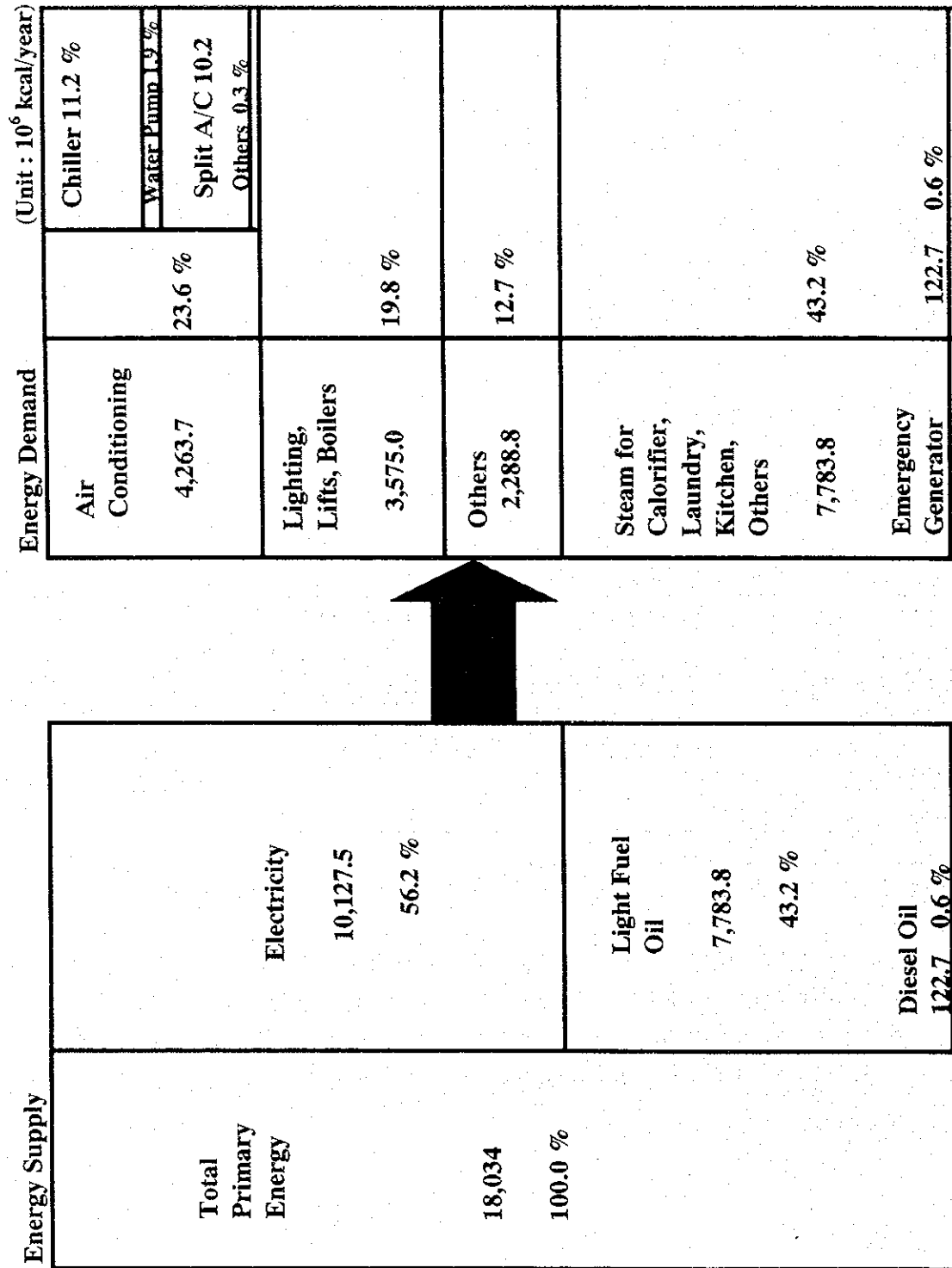


Figure 9-3 Overall Energy Flow in the Hospital

Table 9-3 Hospital Energy Management Comparison

Item	Malaysia National Hospital SEREMBAN	A Tokyo Metropolitan Hospital
1. Establishment	1969(year)	1974(year)
2. Floors	9 (building A) 9 (building B)	14 (building A) 14 (building B)
3. Total floor area	40,000(m ²)	65,238(m ²)
4. Beds	800	801
5. Electricity Consumption	4,501(MW/year)	13,995(MW/year)
Power Receiving Voltage	11 kV	22 kV
6. Fuel Consumption		
(1) Fuel Oil	786 kl/yr	2 kl/yr (emergency use)
(2) City Gas	-	2,182,027 Nm ³ /yr
(3) Others	14 kl/yr (emergency use)	-
7. Boiler		
(1) Capacity x Unit	3 (t/h) x 3	8.4 (t/h) x 3
(2) Steam Pressure	9 (kg/cm ²)	7 (kg/cm ²)
8. Chiller		
(1) Capacity x Unit	250 RT x 3	1,000 USRT x 1 350 USRT x 4
(2) Type	Turbo x 3	Turbo x 4 Absorption x 1
(3) Space Conditioning Unit	AHU x 53 Window x 120 Package x 10	FCU x 461 (Main building) x 126 (Annex building) Package x 31
9. Water Consumption	Not available	273,133 m ³ /yr
Unit Energy Consumption (National average)	454,600 kcal/m ² /yr ---	810,700 kcal/m ² /yr (586,100 kcal/m ² /yr)

9-3-5 エネルギー管理と省エネルギー活動についての現状

病院の主要設備は 1969 年に建設されたため、いくつかの施設は既に経済的寿命を超えている。

病院における省エネルギー問題の特徴としては以下のとおりである。

(1) 自然解放型建物

- 自然通風システムの最大限活用
- 旧世代型省エネルギー建物の典型
- 自然解放部分と密閉部分との共存

(2) 省エネルギー意識

- 照明強度の徹底管理
- エレベーター運転の適正管理
- 分散型空調区域の区分管理
- 力率管理

(3) 電力管理

- 旧型エレベーター電力管理システム
- 頻発する冷凍機システムの過電流トリップ

(4) 熱管理

- ボイラーオンオフ運転管理
- 空調システムの将来改造計画

9-3-6 設備の問題点

病院に対するエネルギー診断の測定結果及び分析について本報告書の前項まで述べてきた。これらエネルギー診断結果を踏まえ、本項では省エネルギー対策実施項目の提案を述べる。主要項目は次の通りである。

- (1) エレベーター電力供給システムへのインバーター制御方式の導入
- (2) ボイラー排ガスの酸素濃度及び温度条件の改善
- (3) 冷凍機システムにおける過電流トリップ防止及び低力率の改善
- (4) TNB 受電システムの改善
- (5) 空調システムの改善及び蓄熱システムの導入（将来計画）

9-4 省エネルギー対策

(1) エレベーター電力供給システムへのインバーター制御方式の導入

本病院は8基のエレベーターが設置されている。主要な仕様を表9-4に示す。

Table 9-4 Lift Specification at Hospital Seremban

Control System	VVGD-CL	Working status
Capacity	23 persons	Lift #1 : operating for goods
Stops	9 stops	Lift #2,3: stand by
Speed	Lift #1,6,7,8 : 90 m/min. Lift #2,3,4,5 :105 m/min.	Lift #4,5: operating for general usage
Operation	Lift #1,6,7,8 : 1C-2BC Lift #2,3,4,5 : 2C-2BC	Lift #6 : operating for patients Lift #7,8: operating for bed/ passengers

6基のエレベーターは老朽化しており又リレー制御方式で運転されているが、いずれのエレベーターも運転状態、保守管理とも良好である。将来、エレベーター設備の改造を行う場合には VVVF 方式による電源供給システムの導入が望ましい。新方式導入により省エネルギーを計れると共に乗り心地も改善できる。電力削減量としては、全体消費量のおよそ 30-40 %と推定される。エレベーター No.4 及び No.5 の合計で一日当り 51-68 kWh となる。

(2) ボイラー排ガスの酸素濃度及び温度条件の改善

測定値に基づきボイラー供給空気の実際空気比推算を行う。ボイラー排ガス中の O₂ 及び CO₂ の組成はそれぞれ 7.2、10.5%である。酸素濃度が高いのはボイラー燃焼室内の空気が過剰であること、二酸化炭素濃度が低いのは不完全燃焼を示している。排ガス組成と空気比との関係を示す技術文献から、このボイラーの空気比が 1.45-1.5 であることが容易に読み取れる。

一方、空気流入量を 1,620 Nm³/hr、燃料油流量が 165 kg/hr として比空気量 (A) は 9.82 Nm³/kg となる。1 kg の燃料油を完全燃焼させるのに必要な理論空気量 (A₀) は、燃料油の化学組成分析データを用いて計算すると 6.54 Nm³/kg となる。

この場合も空気比は 1.5 (= A/A₀)となる。

空気比が若干高いのは、ボイラーの自動オンオフ運転に起因するものと思われる。燃焼のオンオフがかなり頻繁に切り替わり運転時間は少なくなっている。

このため定常運転状態の継続時間が短く、不完全燃焼のためボイラー効率が低いレベルに維持できないと推定される。

日本では、工業分野におけるエネルギーの適切かつ合理的使用の推進を計るための判断基準を公表している。小規模ボイラーに適用される基準値を抜粋して表 9-5 に示す。

Table 9-5 Japanese Guidelines for Boiler Operation Conditions (Reference)

Equipment	Air Ratio		Exhaust Gas Temperature	
	(Standard Value)	(Desired Value)	(Standard Value)	(Desired Value)
Steam Boiler Size: less than 5 ton/hr Fuel: Liquid Fuel Load:50-100 percent	1.3	1.2-1.3	250 degrees centigrade	220 degrees centigrade

ボイラー回りには測定計器がほとんど設置されていない。強制通気ファン（FDF）のダンパー調整あるいはファンモーターの回転数制御により空気比改善を図るためには、排ガスサンプリングを行うことが必要である。燃焼制御により省エネルギーを図る場合には空気量の絞りすぎあるいは不完全燃焼により大気汚染を引き起こさないよう細心の注意が必要である。

排ガス温度は、表 9-2 で示したとおり 165 から 195.3 °C の範囲で変動しているが上記表の目標値以下である。

(3) 冷凍機システムにおける過電流トリップ防止及び低力率の改善

冷凍機 No.1 及び No.3 は、24 時間高負荷で連続運転され病院建屋の約 40% の区域に空調用冷水を供給している。しかしながら、この冷凍機システムは過電流トリップ作動により頻繁に停止している。

冷凍機システムは、1) 力率が非常に低い 2) 過電流トリップ設定値の 300 アンペアに近接した高電流値を示している。これは冷凍機 No.3 に関しても同様である。

対策として検討事項は次の通りである。

- 1) 低力率の原因調査
- 2) ブレーカーヒューズ交換、300 A から 350 A
- 3) 力率改善コンデンサーの設置
- 4) 配電系統ケーブルのサイズアップ

(4) TNB 受電システムの改善

力率改善コンデンサーの取替後は、TNB からの受電システムの力率は最高の値を保持している。それ以来力率低下による付加的な料金は課せられていない。

受電電力データを更に詳細に解析してみると、無効電力は負の値となっており力率はおよそ 0.96（進み力率）である。

力率改善コンデンサーの自動制御システムの設定を若干調整する必要があるだろう。

(5) 空調システムの改善及び蓄熱システムの導入（将来計画）

日本における病院においては、ターボ冷凍機と吸収式冷凍機とを組み合わせた中央集中管理方式の冷暖房システムを主体とし、補完的に分散方式の空調機が採用されている。一方、セレンバン病院では自然換気、強制換気、中央方式及び分散方式を組み合わせている。建物の約40%が中央方式により空調されている。

近い将来、自然換気あるいは強制換気方式に代えて中央集中管理方式の適用が避けられないであろう。その場合は、次の項目について検討が必要である。

- 1) 冷凍機システムの改造 最経済設備方式の選定
 - 吸収式冷凍機； 固定的需要を賄う
 - ターボ冷凍機； 変動的需要を賄う
- 2) 中央方式に付帯させた潜熱蓄熱装置の導入
 - 優位性：
 - ピーク時の需要をオフピーク時の需要にシフトすることにより効果的なピーク時
 - 負荷をカット出来る
 - 契約電力料金の低減
 - 冷凍機設計能力低減による設備費削減

潜熱蓄熱システム導入を折込んだ空調システムの将来構想を図 9-4 に示す。

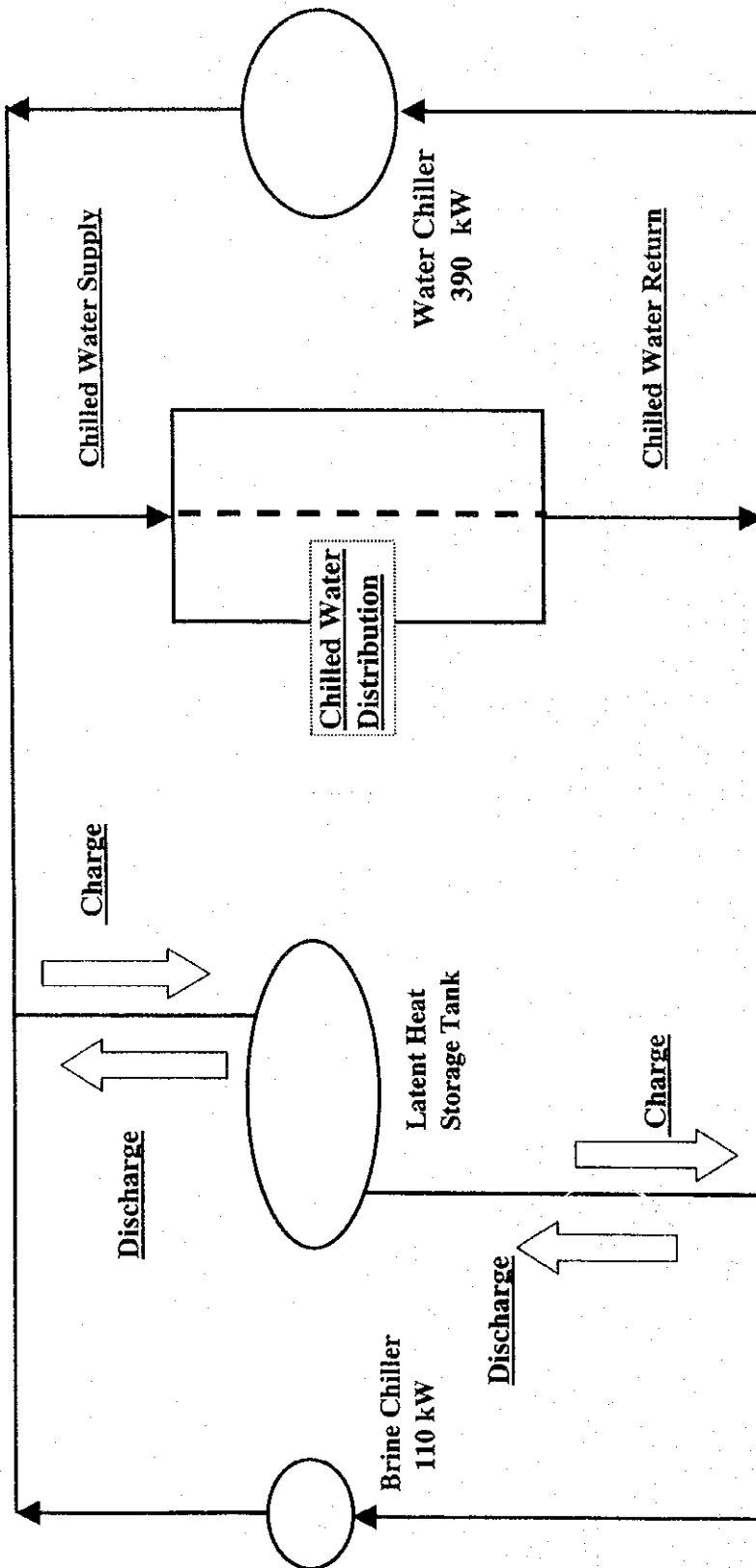


Figure 9-4 Schematic Flow for Latent Heat Storage System

9-5 省エネルギーポテンシャル

省エネルギーポテンシャルのまとめを行う。

(1) エレベーター装置におけるインバーター導入による電力削減効果

1) 運転管理強化	空運転防止対策はすでに実施中
2) エレベーター電力供給系にインバーターコントロール導入	157-210 kWh/day

(2) ボイラー燃焼条件の改善

1) 空気比改善	自動オンオフ運転のため、きめこまかな管理は困難
2) 排ガス温度低減	基準値はクリアしている (但し、オンオフ運転されているボイラーへ基準値をそのまま適用することは困難)

(3) 冷凍機システムにおける過電流トリップの解消

力率改善コンデンサーの設置	冷凍機 No.1、No.3 への電力供給系統へ 170 kVA のコンデンサー設置
---------------	---

(4) 受電システムの改善

自動力率改善装置の設定調整	進み力率、電流による問題点改善: 設備寿命、電力損失
---------------	-------------------------------

(5) 潜熱蓄熱システムの導入 (将来の冷凍機能力増強後のみ適用可能)

契約電力料金の削減	150 kW / month
電力料金 (従量)	
ピーク時間帯	1,400 kWh per day
オフピーク時間帯	-2,000 kWh per day
冷凍機設計能力の低減	650 to 500 kW

9-6 省エネルギー対策のコスト

提案された省エネルギー対策の3件、即ち、エレベーターシステムにおける電力削減、冷凍機システムにおける過電流トリップ解消策および潜熱蓄熱システムの導入について概算見積りを行った。但し、最後の案件は将来構想に関するものであり参考として記載したものである。

(1) エレベーター装置におけるインバーター導入

	10 ³ Yen	RM
1. Lift replacement (L# 1, 6, 7, 8)	-	1,550,400
2. Lift replacement (L# 2, 3, 4, 5)	-	1,594,400
(Inverter controller installation: L# 1,2,3,4,5,6,7,8)		(314,480)
TOTAL	-	3,144,800

(2) 冷凍機システムにおける過電流トリップ対策

	10 ³ Yen	RM
1. Capacitor (25 kVar x 7 unit = 175 kVar)	3,220	-
2. Installation work (2 人・日)	100	-
TOTAL	3,320	-

(3) 潜熱蓄熱システムの導入

	10 ³ Yen	RM
1. Water chiller (capacity: 390 kW)	19,500	-
2. Brine chiller (capacity: 110 kW)	9,000	-
3. Phase change material and tank (tank : carbon steel, 70 m ³)	10,500	-
4. Installation work	6,000	-
TOTAL	45,000	-

9-7 省エネルギー対策の便益

9-7-1 マレーシアの現行エネルギー価格

提唱したすべての省エネルギー対策において電力が節減される。セレンバン病院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）のC2区分に従っている。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）	0.208 RM/kWh
-オフピーク負荷料金（22時から8時まで）	0.128 RM/kWh
-最大需要料金	25.7RM/kW/month

9-7-2 対策の便益

各対策の便益を推算し、その結果を表9-6に示す。

Table 9-6 Estimation of Benefit from Measures

Measures	Benefit, RM/year
Introduction of Inverter Control System for the Lift Power Supply	20,569
Introduction of Latent Heat Storage System	57,273

9-8 省エネルギー対策の財務分析

本節では投資によ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。

- エレベータの電力供給システムへのインバータ制御システムの導入
- 潜熱蓄熱システムの導入

1 番目の対策の財務分析は、古くなったエレベータの更新時にこの対策が実施されるといふ仮定の下で行われる。また、2 番目の対策に対しては、チラーシステムの拡張に際して潜熱蓄熱システムを導入する仮定の下で財務分析が行われる。このような条件の下においては、省エネルギー機器を設置するのに要する金額だけが省エネルギー便益を得るための投資額と考えられ、残りの投資は省エネルギーに関係なく必要な更新費用と考えられる。

実際は、1 番目の対策については、エレベータの更新時にインバーターの付いた VVVF システムを導入するものと仮定し、インバーター関連費用だけを財務分析に用いる投資額として計上している。2 番目の対策については、財務分析の投資額を潜熱蓄熱システムが取り付けられる場合の投資額とそれが取り付けられない場合の投資額の差と定義する。

9-8-1 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： セレンバン病院は国立の組織のため無税
- 4) 減価償却： なし
- 5) 投資額： 表 9-7 にマレーシア・ドルで表示する。潜熱蓄熱システムに対しては、インバータ制御システムのみが計上されている。また 2 番目の対策の投資額は全投資額 4,500 万円から 650 kW チラーの 3,250 万円を差し引き、マレーシア・ドルに換算した。

Table 9-7 Fixed Investment for Measures

Measures	Fixed Investment, RM
Introduction of Inverter Control System for the Lift Power Supply	314,000
Introduction of Latent Heat Storage System	402,542

9-8-2 財務分析の結果

表 9-8 に、上記 2 つの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。

Table 9-8 Results of Financial Evaluation

Measures	FIRROI before tax	FIRROI after tax	Payback Period
Introduction of Inverter Control System for the Lift Power Supply	-0.2%	-0.2%	15.3 years
Introduction of Latent Heat Storage System	11.4%	11.4%	7.0 years

さらに、電気料金が現在の日本の水準と考えられる表 9-9 の価格にまで値上げされると仮定した場合の 3 種類の指標を 2 つの対策に対して計算した。この計算は電気料金が如何にこれらの対策の財務的フィージビリティに影響するかを知るために行われた。

Table 9-9 Assumed Rise in Electricity Rate for Study

	Assumed Electricity Rate for Study		Reference (C2 tariff)
Peak Load Rate	0.483 RM/kWh	(15 JY/kWh)	0.208 RM/kWh
Off-peak Load Rate	0.113 RM/kWh	(3.5 JY/kWh)	0.128 RM/kWh
Max. Demand Charge	49.9 RM/kW/month	(1,550 JY/kWh/month)	25.7 RM/kW/month

表 9-10 に、表 9-9 で仮定した電気料金のもとでの分析結果を示す。税引き前と後の FIRROI は 1 番目の対策については約 12%の増加、2 番目の対策については約 46%の増加を示した。また 1 番目、2 番目の対策の回収期間はそれぞれ 8.5 年および 5.3 年短縮された。

Table 9-10 Results of Financial Evaluation at Assumed Increased Electricity Rate

Measures	FIRROI before tax	FIRROI after tax	Payback Period
Introduction of Inverter Control System for the Lift Power Supply	12.0%	12.0%	6.8 years
(Difference from the base)	(+12.2%)	(+12.2%)	(-8.5 years)
Introduction of Latent Heat Storage System	57.3%	57.3%	1.7 years
(Difference from the base)	(+45.9%)	(+45.9%)	(-5.3 years)

9-8-3 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。

エレベータの電力供給にインバータ制御システムを取り付ける対策は、エレベータの更新時期に行われても財務的にフィージブルにならない。現在この病院ではエレベータの運転が低いいため、エレベータで使用している電力は比較的少なくなっている。このため、インバータ制御システムが取り付けられても効果は余り期待できない。フィージビリティが低いもう一つ別の理由はマレーシアの廉価な電力料金体系にある。もし、電気料金が現在の日本の水準にまで達すれば、財務的フィージビリティは表 11-30 に示す様に最低限の水準にまで改善される。

潜熱蓄熱システムの対策は、チラー拡張に際して同時に設置されるとの仮定の下、評価される。本調査の条件の下では、この対策は財務的フィージビリティの限界の水準にあると結論付けられる。FIRROI は 11.4%、回収期間は 7 年である。しかし、表 11-30 に示す指標から判断すると、もし電気料金体系が現在の日本の水準に達すれば財務的にフィージブルとなる。チラー拡張の際に潜熱蓄熱システムを導入することを提言する。

9.9 省エネルギーのための提言

セレンバン病院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。

- (a) セレンバン病院では現在のところ自然通風、機械的通風、集中冷房および個別冷房を組み合わせて用いている。本館の約 40%は集中冷房によって冷やされている。近い将来、自然通風や機械的通風に代り冷房設備の拡張が避けられないとなると考えられる。この様な状況になれば、潜熱蓄熱システムの導入を検討するべきである。この技術によりピーク需要をオフピーク需要にシフトすることによって、ピーク需要と最大負荷の削減が可能となる。また、財務分析によって本調査で設定された条件の下では、この対策が財務的フィージビリティのぎりぎりの水準にあると結論付けられた。
- (b) チラーシステムは過電流によるトリップのためしばしば停止する。エネルギー診断の期間中に調査団が行った検討によれば、このシステムには、極端に低い力率とセット値の 300 アンペアに極めて近い電流値という 2 つの問題がある。次のような対策を検討すべきである。
- 力率が低い原因を明らかにする。
 - ヒューズを 300 アンペアから 350 アンペアに大きくする。
 - キャパシターを設置する。
 - 配電線ケーブルを太いものに取り替える。
- (c) 調査団によるエネルギー診断の期間中に TNB からの受電系統での力率が負の値になった。これには、キャパシター・バンクの自動制御を調整することを提言する。
- (d) ボイラー排ガス空気比は日本のガイドラインを越えている。これはオンオフ運転の影響にもよると考えられるが、省エネルギーの観点から運転管理強化による改善が望まれる。

第10章 セメント

10-1 セメント産業の特徴

マレーシアのセメント産業は、1953年にセランゴール州にマラヤ・セメント社ラワン工場を建設し操業が開始された。その後、1958年に同じくセランゴール州で、マラヤ工業、鉱山会社が操業を開始し、引き続き、1964年ペラック州にタセック・セメント社並びにパン・マレーシア・セメント社が操業を開始した。1970年代から1980年代にかけて、セメント需要増加に対応して、サバ州並びにサラワク州に各セメント粉砕工場を含め、数社のセメント会社が設立された。

1995年現在、マレーシアでは国内セメント需要に対応して、高品質のセメントを安定して供給するための、一貫製造工場6工場とセメント粉砕工場4工場の合計10社が稼働している。1996年度セメント産業の主要データは下記の通り。

クリンカー生産量：	929 万トン
セメント生産量：	1,271 万トン
セメント需要量：	1,519 万トン
セメント販売価額：	198.0 RM/トン (9.90 RM/50kg 袋)
1人当たりセメント消費量：	717.0 kg

1967年3月、マラヤ・セメント社とパン・マレーシア・セメント社の両工場が合併し、アソシエイテッド・パン・マレーシア (APMC 社) を設立した。その後、APMC 社は両工場の拡張と近代化に巨額の投資を行った。1992年に増産活動が完成し、その公称生産能力はクリンカー年産280万トンとなった。又、1997年にはカンタン工場で年産180万トンのクリンカー生産が操業開始される予定である。

APMC 社はマレーシア規格と英国規格に従って、普通セメント、メイゾンリー・セメント並びにフライアッシュ・セメントを製造している。又、市場要請により、その他の特殊セメントの製造も行っている。

10-2 工場、生産設備及び主要製品の生産工程の概要

10-2-1 工場概要

- 1) 工場の名称 : Associated Pan Malaysia Cement Sdn, Berhad. ラワン工場
- 2) 住所 :
 本社事務所 : Wisma APMC: No2, Jaran Kilang 46050 Petaling Java Selangor Darul Ehsan. Tel: 03-7918344 Fax: 03-7917309 / 7942518
 ラワン工場 : Rawang Works : 48000 Rawang Selangor Darul Ehsan. Tel: 03-6916711 / 4 Fax: 03-6919361
- 3) 社長 (名前) : Saw Zwe Seng 工場長 : Chen Choon Siong
- 4) エネルギー管理者 : (エンジニアリング部長) : Tan Chek Luck (陳 澤六)
 (運転部門担当部長) : R. Jaya Kumaran
- 5) 従業員数 / 技術者数 : (但し、下記数値に工場長 1 人は含まない)

	管理者	事務職 / 技術者	従業員	小 計
管理部門	9	14	3	26
製造部門	56	123	294	473
鉱山部門	4	5	52	61
合 計	69	142	349	560
- 6) エネルギー管理技術者 : 13 人
 工場長 : 1
 燃料関係技術者 : 5
 電気関係技術者 : 7
- 7) 主要製品並びに年間販売数量の推移 :

Table 10-1 Trends in Annual Sales Amount : (unit ton / year)

Kinds of cement	Year					
	1992	1993	1994	1995	1996	1997
(1) Ordinary portland Cement	1,096,596	1,129,533	1,161,363	1,213,085	1,256,472	1,296,728
(2) Fly ash cement	86,323	160,870	197,364	341,168	383,265	435,895
(3) Masonary cement	167,741	183,634	208,035	180,592	143,230	159,614
Total	1,367,352	1,474,041	1,566,762	1,734,645	1,782,967	1,892,237

8) 工場の歴史 :

マヤン・セメント社は、1953年にセランゴール州ラワンにマレーシア国で最初のセメント工場として建設された。同社は世界最大のセメント会社であるイギリスのブルー・サークル社の関連会社である。2基の湿式キルンとクラツシャー、ミル等が建設され、1981年迄、運転されていたが、現在は運転されていない。

1981年初期に、新型5段、2系列、SF式仮焼炉付キルンが日本の石川島播磨重工業により建設され、運転に入った。この日産4,000トンSF式仮焼炉付キルンは、1992年に日産5,000トンの5段、NSF式仮焼炉付キルンに改造された。

9) セメント産業部門に於ける市場占有率並びに立場 :

AMPC社は、マレーシア国においてトップのセメント会社で、市場占有率は約33%である。

10) 工場設備能力 (設計能力 / 実績能力) :

設計能力 : クリンカ年産 1,500,000 トン

実績能力 : クリンカ年産 1,600,000 トン (セメント年産 1,860,000 トン)

11) 雇用並びに教育訓練

新規採用の従業員に対しては、工場内でOJTによる運転操作教育並びに、安全教育が有る期間実施される。しかしながら、従業員に対しエネルギー管理教育は直接行われていない。運転操作教育並びに安全教育の詳細は受領していない。

10-2-2 製造工程概要

APMC社ラワン工場の物質、ガス並びに燃料のフロー図を Figure 10-1 示す。

(1) 原料鉱山

石灰石は工場近くの鉱山で採掘され、ダンプ・トラックで運搬されてきて、30 m/m以下に砕石される。500 - 1,100 カロリーの熱量を持つ頁岩 (コール・シェール) が、粘土原料として、24 km 離れた野積置場から掘り出され、工場までトラックで運ばれ粗砕され、貯蔵場で混合され、使用される。

(2) 原料製造

石灰石と頁岩は乾燥後、それぞれ別々にローラー・プレス並びに閉回路チューブ・ミ

ルで粉砕される。粉砕された石灰石と頁岩は原料品質が規定の品質基準を満たすのを確実にするため、混合並びに貯蔵サイロに別々に貯蔵される。

(3) クリンカ焼成

1981年早々に、日本の石川島播磨重工(株)により、新設、5段、2系列の仮焼炉付き乾式キルンが、ラワン工場に建設され、稼働に入った。この4,000 t/d SF式仮焼炉は、1992年に5,000 t/d、5段NSF式仮焼炉に改造された。

このキルンの運転形態は独特である。即ち、1次原料の石灰石と、2次原料の頁岩が鉄原料と調合され、別々に粉砕、混合され、サイロに貯蔵される。

混合並びに貯蔵サイロから曳き出された石灰石原料は、5段サイクロン・プレヒーターの上部に供給され、石炭を含む頁岩原料は直接、RF 仮焼炉に供給される。石灰石原料は各サイクロンを通過し、最終5段サイクロンで900℃の原料分解温度に到達し、そこで頁岩と混合し、約90%の分解度の原料として、回転窯に送入され、セメント・クリンカに成る。本件のような石灰石原料と粘土原料の別供給方式は世界でも珍しく、本工場が唯一の例である。

(4) クリンカ冷却機

赤熱クリンカは約1,250℃でキルンから排出され、グレート・クーラーで急激に冷却され、クリンカ・サイロに運ばれる。本クーラーは最新のFL Smidth社CFGグレートを採用している。

(5) セメント粉砕

クリンカは、クリンカ・サイロから曳き出され、約5%の石膏を添加し、閉回路チューブ・ミルで粉砕されセメントとなる。石膏はセメントの凝結時間を調整するために添加される。セメント・ミルで粉砕されたセメントは、空気輸送され出荷のため、セメント・サイロに貯蔵される。

(6) 包装並びに出荷

セメント・サイロから曳き出されたセメントは包装工場の袋詰め用の高速ロータリー・パッカーに送られる。セメントは50kgに袋詰めされ、トラックや鉄道貨車に積み込まれ出荷される。バラ積タンク車には、直接セメント・サイロから積み込まれる。バラ積セメントは、又、会社専用の貯蔵所に出荷するために、鉄道貨車に積み込まれる。

(7) 品質管理

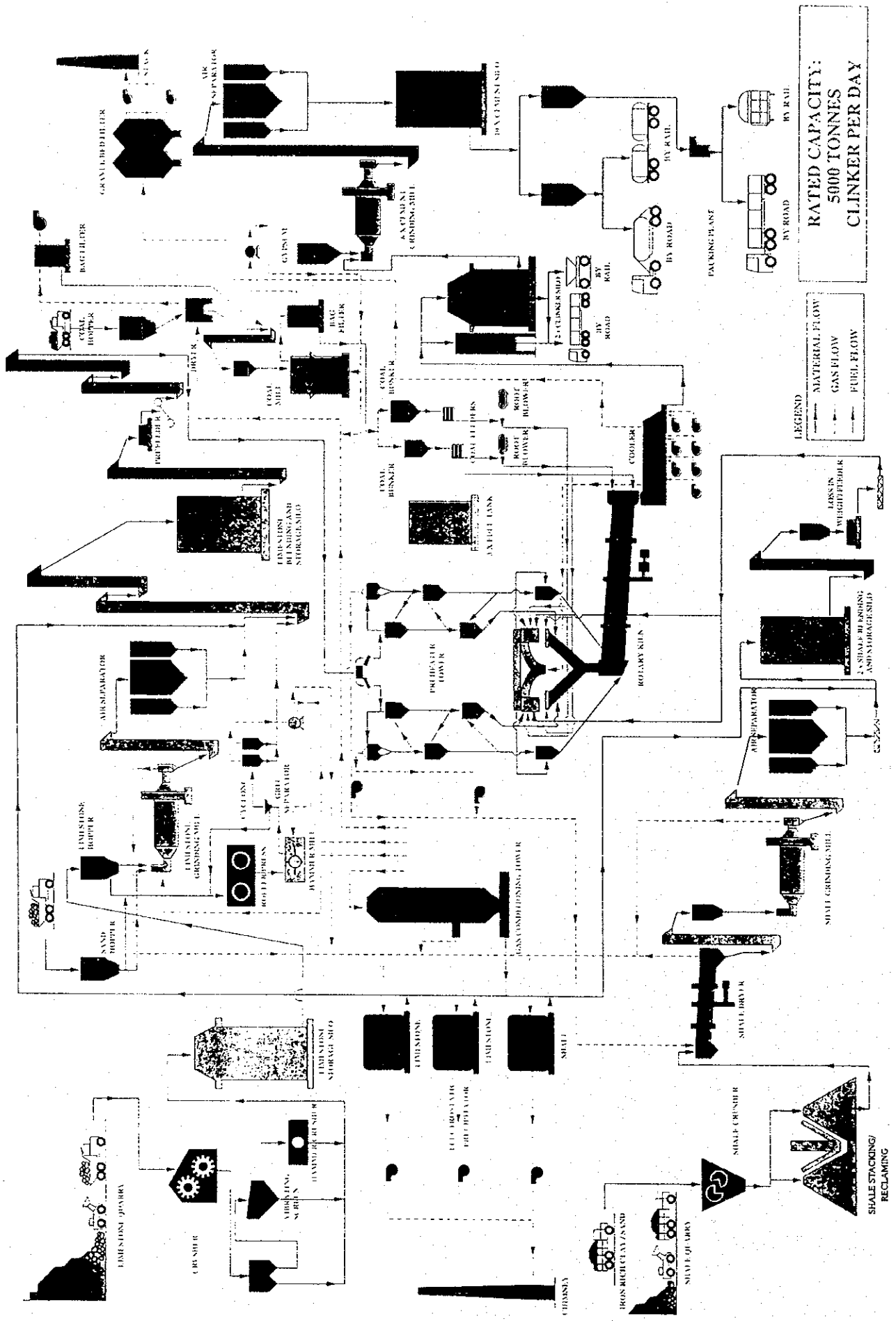
ラワン工場の試験室は最新のマルチ・チャンネル型X線分析計と、自動サンプラー並

びに、その他実験機器を備えている。最終製品の品質が、マレーシアの規格並びに工業調査協会（SIRIM）が設定した規格を十分満たすことを確実にするため、原料の調合があらゆる工程で厳しく、コントロールされている。

(8) 環境管理

各工程に於ける機器として、高効率の電気集塵機を設置している。各工程に設けられているグラベル・ベット・フィルターや、バッグ・フィルター等により、ダスト排出基準が常時、政府により要求されている規制値以下によく維持されている。

Figure 10-1 Rawang Works Dry-process Flow Chart



10-3 エネルギー消費量の推移

最近6年間のエネルギー使用量と原単位の推移を、又、1997年度のエネルギー別消費割合をそれぞれ Table 10-2 並びに、Table 10-3 に示す。

Table 10-2 Trends of Annual Energy Consumption and Unit Consumption

Name of utility	Year	1992	1993	1994	1995	1996	1997
(1)Fuel oil	ton	16,796	24,460	29,755	42,590	32,235	33,447
(2)Bituminous coal	ton	63,512	88,845	99,702	111,324	148,160	153,413
(3)Other fuel (Coal shale)	ton	516,682	348,967	405,282	404,651	403,514	349,017
(4)Electricity	1000 kWh	158,614	180,297	205,006	213,546	222,624	233,670
(5)Clinker Production	ton	997,070	1,120,055	1,299,175	1,474,030	1,554,895	1,560,055
	(t / day)	3,567.6	3,701.0	4,214.6	4,691.6	4,875.6	4,826.4
(6)Cement Production	ton	1,360,602	1,474,041	1,566,762	1,734,845	1,782,967	1,892,237
(7)Heat Consumption (kcal / kg-cli')		952	1071	1124	982	912	915
(8)Power Consumption	(kWh / t-cli')	159.1	161.0	157.8	144.9	143.2	149.8
	(kWh / t-cem)	131.3	137.1	138.9	129.8	130.3	134.2

Table 10-3 Annual Energy Consumption (1997)

Name of Utility	Consumption (ton / year)	Heat value (kcal / kg)	Calorific value (10 ⁹ kcal / y) (%)	Unit price (RM / t)	Cost 10 ³ RM/y (%)
Fuel oil	33,447	10,200	341.2 (21.4)	422	14,114.6 (18.6)
Coal (wet)	153,413				
Coal (dry)	130,401	6,500	847.6 (53.0)	135	20,710.8 (27.2)
Coal (wet)	349,017				
Shale (dry)	296,664	700	207.7 (13.0)	5.7	1,989.4 (2.6)
Electricity	*-1 (10 ³ kWh/y)	(kcal/kWh)		Tariff E-3	
	233,670	860	201.0 (12.6)	Special	39,259.2 (51.6)
Total	—	—	1597.5 (100.0)	—	76,074.0(100.0)

エネルギー使用量、原単位の推移を見ると、1993年に生産量4,000 t/dから5,000 t/dへの増産活動が完成した結果、

- (1) クリッカー生産量は3,701 t/dから4,876 t/d（1996年度）に増加した。
- (2) 使用熱量は1,071 kcal/kg-cl'から915 kcal/kg-cl'に低減した
- (3) しかし、電力原単位は137.1 kWh/t-cemから134.2 kWh/t-cemと殆ど変わっていない。
- (4) 但し、これらの原単位は、いずれも日本の数値と比較すると、約25-30%高い。

又、1997年度のエネルギー別の使用量の比較を、Table 10-2並びにTable 10-4に示す。

Table 10-4 Relative Comparison of Energy Consumption (1997)

Name of utility	Calorific base (%)	Monetary base (%)	Calorie price RM/10 ³ kcal	Unit price ratio
(1) Fuel oil	21.4	18.6	0.0414	2
(2) Coal	53.0	27.2	0.0208	1
(3) Coal shale	13.0	2.6	0.0081	0.4
(4) Electricity *-1	12.6	51.6	0.169 - 0.195	8 - 9
Total	100.0	100.0	—	—

N.B: *-1 Peak / Off-peak の割合を 58 / 42 で計算し、金額を算出した。又、契約電力は、30,400 kW と仮定した。

- (2) 電力エネルギーの消費は、カロリー・ベースでは全エネルギー使用量の約13%を上まわらないが、金額ベースでは約52%に達すると指摘される。
- (3) 重油の使用量はカロリー・ベースでは全エネルギー使用量の約22%以下である。金額ベースでは約19%になり、この使用の低減が望まれる。
- (4) カロリー単価で見ると、電力の価格は石炭の8 - 9倍、又、重油の価格は2倍である。電力は大変コストが高いことが判る。

10-4 エネルギー診断の方法と手順

省エネルギー診断のための工場調査は、先ず、調査チームにより準備された質問状並びに、データ・シートを基に、工場の省エネ担当者との面談、資料収集並びに、設備調査により実施された。

このセメント工場のエネルギー診断の実施に当たり、先ず第1段階として、運転データの調査、解析を行い、次にエネルギー調査のために、種々の測定を実施しました。

エネルギー診断の主要項目は次の通りである。

1. 焼成部門の熱消費量
 - (1) プレヒーター並びに、FF 炉
 - (2) キルン
 - (3) クーラー
2. 原料粉砕部門の電力消費量
3. 石炭乾燥、粉砕部門の電力消費量
4. セメント粉砕部門の電力消費量

10-5 測定の実施内容

最近のエネルギー消費状況を計算、評価し、熱、ガス、物質バランスを明確にするため、エネルギー診断の主要項目に対応し、スケジュールに従って、下記の測定と運転データの解析を実施した。

(1) 原料粉砕部門

1. 石灰石粉砕ミル： 粉砕量、ミル動力
2. 頁岩粉砕ミル： 粉砕量、ミル動力並びに F.K ポンプ / 圧縮機動力、流量
頁岩の DTA / TG 解析

(2) 石炭乾燥、粉砕部門

1. 石炭乾燥機： 乾燥容量 / 動力、水分含有量、排ガス量 / 温度
2. 石炭粉砕ミル： 粉砕容量 / 動力、水分含有量、排ガス量 / 温度

(3) セメント粉砕部門

1. No.1~3 ミル： F.K ポンプ / 圧縮機動力、流量、粉砕量 / ミル動力
2. No.4~5 ミル： F.K ポンプ / 圧縮機動力、流量、粉砕量 / ミル動力

(4) 焼成部門

1. プレヒーター： 温度 / 圧力、燃焼ガス ($O_2/CO/CO_2$ %)、排ガス流量
ダスト含有量、表面温度
2. FF 炉： 石炭 / 重油 / 頁岩送入手量、搬送空気量 / 温度、表面温度
未燃カーボン量
3. キルン： 石炭送入手量、搬送空気量、1次空気量、表面温度、

- 燃焼ガス量 ($O_2/CO/CO_2$ %)
4. クーラー : 冷却風量、排ガス流量、抽気風量 / 温度、表面温度
出口クリンカ温度、
5. 列効品質 : 窯入原料、クリンカ化学成分

(5) エネルギー使用量

(6) 工場（現場）調査

1. 設備リスト見直し
2. 図面類の調査
3. 設備機器、プロセスの運転状態の観察

10-6 測定調査項目及びその解析結果

10-6-1 測定調査項目

- (1) 原燃料とエネルギー使用量
- (2) 空気量並びに排ガス量の測定
 - 1) キルン1次空気量測定
 - 2) RF炉1次空気量測定
 - 3) 石炭乾燥機並びに粉砕機出口排ガス量測定
 - 4) クーラー排ガス量測定
 - 5) 抽気風量（3次空気風量）測定
 - 6) IDF 排ガス量測定
- (3) サイクロン出口静圧測定とサイクロン出口原料の igloss (LOI) 測定、調査結果
 - 1) サイクロン出口静圧測定
 - 2) サイクロン出口原料の igloss (LOI) 測定、調査
- (4) $O_2/CO/CO_2$ (%) の測定並びに調査結果
- (5) 窯入原料並びに列効の化学成分の分析結果
- (6) 表面温度の測定
- (7) 各設備の電力使用量と電力原単位の調査
- (8) 頁岩 (Coal shale) の燃焼特性の調査

10-6-2 データー解析結果

エネルギー診断で実施した諸測定の結果並びに、既存のデータの調査、解析の結果から、本工場の設備機器或いは運転に関し、下記事項が明確になった。

- (a) 使用熱量が 950-970 kcal/kg-cli' と高い。
- (b) 抽気風量（3次空気量）測定結果では、FF 炉燃料燃焼に必要な空気量（2,900 Nm³/min）に対し、約 60%であった。この事は FF 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、Table 10-6 に示す。主な数値は下記の通り。

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は計算結果、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) O₂ (%) の記録紙から、
 - 1) 窯尻 O₂ (%) : 短期間変動は約 0.6-1.0%、長期変動は約 1.4-1.6%
 - 2) C5 サイクロン出口 O₂ (%) : 15 分周期の変動、O₂ の変動は約 0.6-2.5%が確認出来る。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) FF 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。結果は平均して 213 kcal/kg であった。マテリアル・バランスを仮定し、計算した結果、約 35-40%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。

10-7 工場のエネルギー・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。結果を Table 10-5 に示す。

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'、持ち込み熱量の約 37.2%と高いのが特徴である。又、プレヒーター並びに、クーラー排ガスの持ち去り顕熱が高く、全体熱量の約 47.5%に達する。

Table 10-5 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

(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、物質並びに熱バランスを計算するのは非常に難しい。そこで (a) 安定時のキルン運転データ、(b) エネルギー診断時の測定データ並びに、(c) 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。結果を Table 10-6 に示す。

計算結果から、概略、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% ある。
- d) プレヒーター排ガス量は $2.11 \text{ Nm}^3/\text{kg-cli}'$ 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) 焼成熟量は $924.7 \text{ kcal} / \text{kg-cli}'$ 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 $170.4 \text{ kcal}/\text{kg-cli}'$ 、F.F 炉 $754.3 \text{ kcal}/\text{kg-cli}'$ 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 $145.2 \text{ kcal} / \text{kg-cli}'$ 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 $315.1 \text{ kcal}/\text{kg-cli}'$ の一部 $149.2 \text{ kcal}/\text{kg-cli}'$ が原料と、石炭乾燥に使われ、残り $165.9 \text{ kcal}/\text{kg-cli}'$ 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。これは抽気風量が十分、F.F 炉の燃焼に使われていない事による。即ち、抽気風量が少なく、排ガス風量が多いためである。

10-8 エネルギー消費原単位

Table 10-7 並びに Table 10-8 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、Figure 10-2 並びに Figure 10-3 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 10-6 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 ³ /Min)	(Nm ³ /kg-cli')	(°C)	(kcal/kg-cli')
(A) Clinker Production	5250 (t / day) 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
Heat Consumption						924.7
(D) Cooler						
(7) Cooler Inlet	—	1.0719			(1350)	369.0
(8) Cooler Outlet	—	0.9685			141	- 25.9
(9) Cooler Quenching Air			7700	2.1125	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 ³		7310	2.0055	(185)	(- 115.0)
Cooler Efficiency						η=52,8(%)
(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	0.2711	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	1.7673		
(a) Combustion Gas			4632	1.2708		
(b) Vco ₂ + H ₂ O			1130	0.3100		
(c) Excess/Leakage air			680	0.1866		

N.B: *: Measuring data during Energy Audit

ITEM	Material	Gas / Air	Tg / Tm	Heat
PROCESS	(t / h) (kg/kg-cli')	(Nm ³ /min) (Nm ³ /kg-cli')	(° C)	(kcal/kg-cli)
(27) Preheater Outlet Gas		*7703 2.1133	445	- 315.1
(a) Combustion Gas		5337 1.4644		
(b) Vco ₂ + H ₂ 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 0.1125	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 0.9561		
(I) Limestone Mill				
(34) Roller Press/H-Mill	100 0.4572			
(a) Hot Gas		1283 0.3520	420	-51.7
(b) Leakage Air		469 0.1286		
(c) Exhaust Gas		234 0.0642		
(35) Limestone Mill	260 1.1888			
(a) Hot Gas		786 0.2156	75	
(b) Leakage Air		814 0.2234	420	
(c) Moisture of L/stone		244 0.0669		
(d) Exhaust Gas		216 0.0593		
(36) L/Stone Line Outlet		1274 0.3496	120	
		2060 0.5651		
(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 1.4776		
(K) E.P for Limestone (I)	Fly dust 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)		10930 2.9986		- 132.7

Table 10-7 Malaysia APMC Rawang Works Data

Year	Cl. Production (tonnes/year)	Ratio (%)	Kiln Operation rate(%)	Heat Cons. (kcal/kg-cl.)	Power Con. (kWh/t-cem)	Labor Pro- ductivity (t/m)
1992	999,070	100	76.4	952	131.3	(1,780)
1993	1120,055	112.3	82.9	1,071	137.1	—
1994	1299,175	130.3	84.5	1,124	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 10-8 Trends in Japan's Energy Consumption
[Statistical data of the Japan Cement Industry]

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

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-cl¹
- (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。

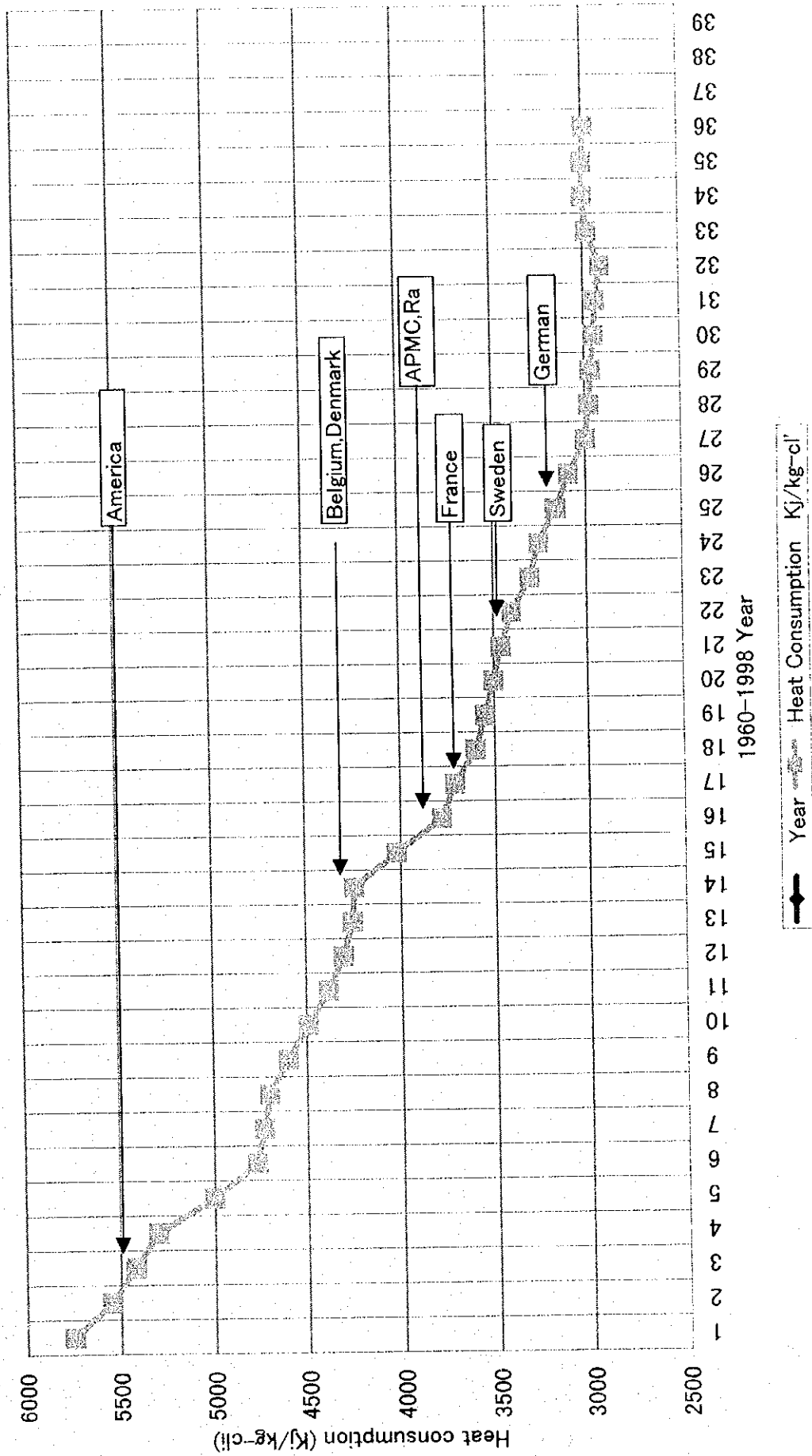


Figure 10-2 Trend Heat Consumption in Japan

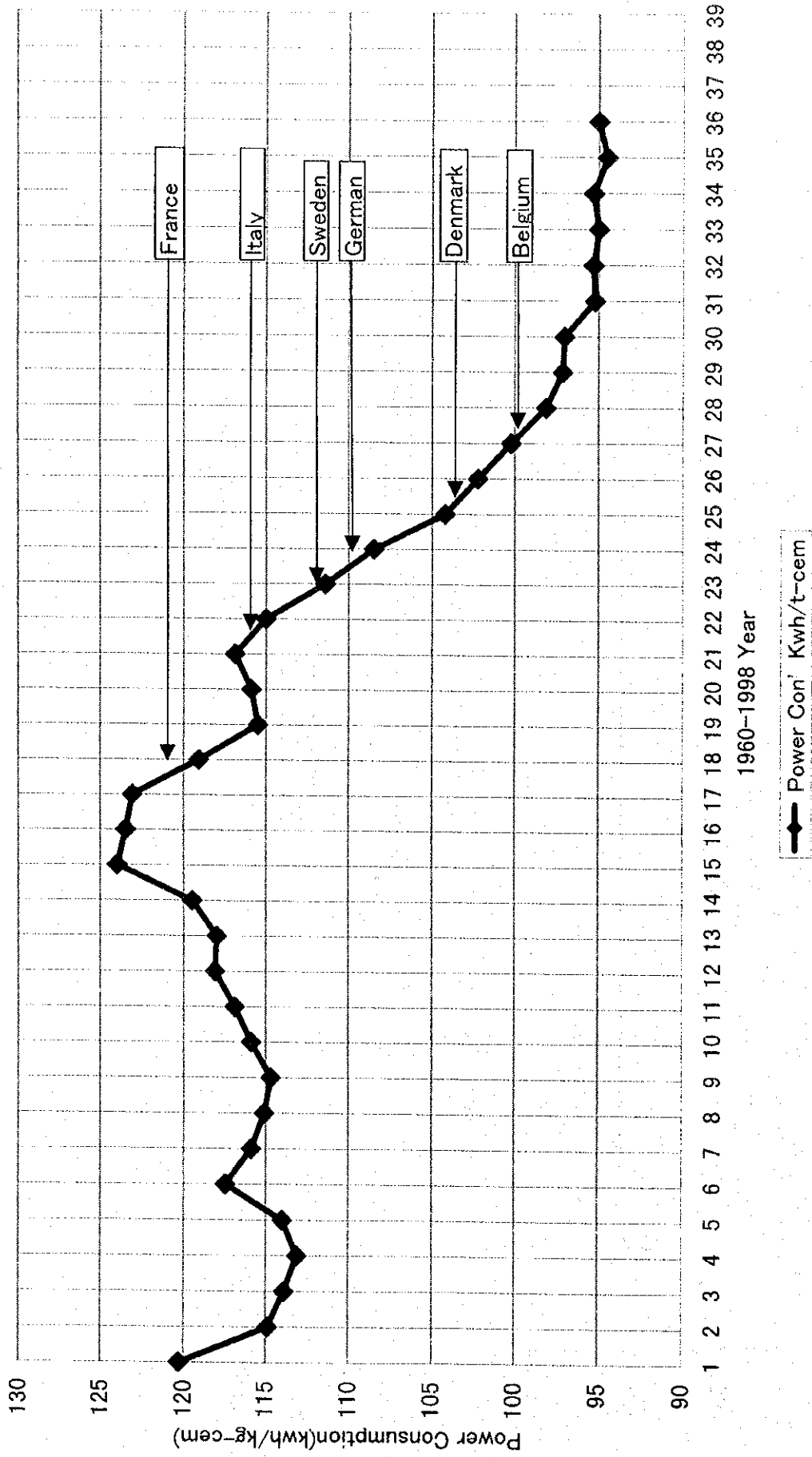


Figure 10-3 Trend Power Consumption in Japan

10-9 エネルギー管理及び省エネルギー活動についての現状

セメント工場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) 通常のセメント・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砕し、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・サイクロン入口に又、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を起こし、運転上問題 ((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、粉砕を同時に行う豎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。
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。
- (3) 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。

(4) 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。

(5) 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、「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、下記の通りでした。

A = 26 (16.4 %)

B = 94 (59.1 %)

C = 39 (24.5 %)

この結果から、10-6-2 章「データ解析結果」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。

10-10 省エネルギー対策

10-9 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 Table 10-9 に示す。

Table 10-9 Selected Measures for Energy Efficiency Promotion

Measures for Energy Efficiency Promotion	Purpose of saving	
	Power	Heat
< Process & Facility >		
1. Raw material department		
1-1 Limestone grinding process		
(1) Prevention of air-leakage at exhaust gas duct	◎	
1-2 Coal shale dryer		
(2) Prevention of air-leakage at dryer inlet and outlet	◎	
1-3 Coal shale mill		
(3) Prevention of air-leakage at mill exhaust gas duct	◎	
(4) Rationalization of transport' system (Pneumatic->Mechanical)	◎	
2. Coal drying & grinding department		
2-1 Coal grinding mill / Coal dryer		
(5) Construction of mill (Cap, 20 t/h x 1 set)	◎	◎
(6) Prevention of air-leakage at exhaust gas duct of dryer & mill	◎	
3. Burning department		
3-1 Raw meal feeding process		
(7) Coal shale raw meal->Change of transportation system to F.F Feed Pump19.02-1A/1B/1C->BE/As transportation	◎	
(8) Change of feeding point of coal shale to F.F furnace Feeding to F.F furnace -> To C3 or C4 cyclone		◎
(9) Change of feeding system of coal shale Pneumatic feed by F.K pump -> Cyclone/B.F/R.F system		◎
3-2 Preheater Cyclone		
(10) Reduction of pressure loss ->Modification of C3/C4 cyclone	◎	
(11) Modification of C5 cyclone to maintain higher collecting eff.		◎
(12) Prevention of air-leakage -> Total leakage 330-340Nm ³ /min	◎	◎
(13) Adoption of waste heat boiler / generator system	◎	◎
3-3 F.F furnace		
(14) Modification / Enlargement of F.F furnace inner volume		◎
(15) Enlargement of tertiary air duct		◎
(16) Adoption of Venturi flow meter and control damper		◎
3-4 Kiln		
(17) Adoption of lifter brick at kiln backend part		◎
(18) Adoption of adjustable orifice at rising duct		◎
(19) Prevention of air-leakage at kiln hood and backend part		◎

Measures for Energy Efficiency Promotion		Purpose of saving	
		Power	Heat
3-5	Cooler (20) Adoption of waste heat boiler and generator (21) Replacement of cooler GBF to EP Prevention of air-leakage/ Easy control of kiln hood pressure, etc	◎ ◎	◎
4.	Cement Grinding department (22) Terminate No,1,2,3 cement mill operations Adopt Pre-Grinding system for No,4,5 cement mills (23) Adopt O-Sepa → Replace cyclone separator (24) Rationalize transportation system (Pneumatic → Mechanical)	◎ ◎ ◎	
< Operation >			
1.	Coal drying / grinding department (1) Terminate coal dryer operation -(operate during dry season only) < Terminate raw coal transportation facilities and fans > Terminate F-1 / F-2 (Dryer) / F-3 Terminate bag filter process	◎	
2.	Burning department (2) Change fuel ratio of kiln to F.F furnace Kiln / F.F = 18 / 82 → 42 / 58 (3) Change fuel from oil (partial use) to 100% coal firing (4) Reduce kiln rotation speed to maintain good quality of clinker	◎	◎ ◎
3.	Cement grinding department (5) Adopt and use grinding aids	◎	

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。

以上の内、主な省エネルギー対策とその効果に関し、10-10-1～10-10-12 章に詳細を記載する。その結果を Table 10-10 「省エネルギー対策一覧表」に示す。又、その中で技術選定した 4 項目に関し、投資採算計算を行い表中に示した。

10-10-1 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。

(Table 10-6 Gas, Material and Heat balance data 参照)

(1) 石灰石粉碎系	(a) Roller Press/Hammer Mill 系	-----	234 Nm ³ /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 ³ /min

合計リーク量は全体排ガス量 (10,930 Nm³/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 (1) 原料部門で約 0.7 kWh/t-cli' (2) 焼成部門で約 3.1 kWh /t-cli'、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。

10-10-2 粉体輸送システムの合理化

本工場では原料 (頁岩) 輸送 並びに、セメント輸送に空気輸送設備、即ち、FK pump + Compressor が使われている。この関係の電力使用量は概略で、約 1,493 kWh/h、設備モーター動力で約 2,126 kW となる。

この輸送システムを機械式の Bucket Elevator (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		-1240 kWh/h =	-9,523,000 kWh/y (約 5.3 kWh/t-cli')

Table 10-10 A List of Measures for Energy Efficiency Promotion

Measures of Energy Efficiency Promotion	Energy Saving Effect		Investment (10 ³ yen) (RM)	Calculation IRR, N(year)
	Heat / Power Consumption	Monetary Amount (Yen/y) (RM/y)		
1) Prevention of air-leakage	3.8 kWh/t-cli' (6,336,000 kWh/y)	916,000 RM/y		
2) Rationalization of transportation system	5.3 kWh/t-cli' (9,523,000 kWh/y)	1,377,000 RM/y		
3) Mill construction	Reduce oil + 33,447 t/y Increase coal 49,105 t/y Reduction of heat 25,792 x 10 ⁶ kcal/y (Convert into coal 3950 t/y) Increase of power 499,200 kWh/y	-14,114,630 RM/y + 6,629,170 RM/y - 533,250 RM/y + 72,180 RM/y Σ 7,946,500 RM/y	950,000 (30,595,000)	
4) Change of feeding point and feeding system of coal shale	8,210 x 10 ⁶ kcal/y (Convert into coal 1258 t/y)	169,830 RM/y		
5) Reduction of cyclone pressure loss	2.0 kWh/t-cli' 3,300,000 kWh/y	477,180 RM/y		
6) Improvement of C5 cyclone collecting efficiency	Reduction of heat (Convert into coal 8510 t/y) Increase of power 1,770,000 kWh/y	- 1,148,850 RM/y + 255,950 RM/y Σ 892,900 RM/y		
7) Waste heat boiler/generator system	Power generation Capacity 15,000 kW 101,007,000 kWh/y	15,132,000 RM/y	3,000,000 (96,618,000)	
8) Modification of F.F furnace	—	—	—	
9) Lifter brick at kiln backend part	11.7 kcal/kg-cli' 19,470 x 10 ⁶ kcal/y (Convert into coal 2982 t/y)	404,685 RM/y	10,000 (322,000)	
10) Replacement of cooler GBF	Reduction of heat (Convert into coal 4596 t/y) Reduction of power 960,000 kWh/y Recover of clinker 250 t/y	620,460 RM/y 138,800 RM/y 49,500 RM/y Σ 808,760 RM/y		
11) Rationalization of cement grinding process	Reduction of power 12,210,000 kWh/y	2,048,260 RM/y	2,200,000 (70,853,000)	
12) Grinding aids	Reduction of power 4.07kWh/t 7,500,000 kWh/y Cost up by grinding aids (Addition 0,02 %)	1,084,500 RM/y - 634,300 RM/y Σ 450,200 RM/y		

(1) Reduction of heat 21,300 t-coal/y (converted into coal) (In respect to total heat Abt. 17.3 %)

(2) Reduction of electricity 37,559,800 kWh/y (126,033,800 kWh/y)*-1, (In respect to total electricity Abt. 16.1 % (53.9 %)) *-1

(3) Energy saving effect 30,623,315 RM/y (In respect to total investment cost 209,282,000 RM Abt. 14.6 %)

*-1 : () shows the case including waste heat generation power in electric power saving effect

10-10-3 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、石炭ミルを増設し重油の使用を無くし、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 ($\equiv 3.73 \text{ kWh/t-cl}^{\ast}$) 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-cl^{*} 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 ($\equiv 3.76 \text{ kWh/t-cl}^{\ast}$) 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-cl^{*} 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。

10-10-4 頁岩原料の送入位置、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 \rightarrow 機械輸送方式) に依る熱量低減
搬送空気量 44 m³/min x 2 系列 \rightarrow 72 Nm³/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

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

石炭換算: $8,210 \times 10^6 \text{ kcal}/\text{y} / 6,528 \text{ kcal}/\text{kg} = 1,258 \text{ t-coal}/\text{y}$

10-10-5 サイクロンの圧損低減対策

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-cl¹) 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。

10-10-6 C5 サイクロン集塵効率の向上

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。

- (1) 圧力損失 現状 150 mmAq → 改造後 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：

$$230 \text{ kWh/h (} \approx 1.05 \text{ kWh/t-cl}^1 \text{)} \rightarrow 1,770,000 \text{ kWh/y}$$

排ガス温度低下による熱量低減：

$$2.11 \text{ Nm}^3/\text{kg-cl}^1 \times 50^\circ\text{C} \times 0.315 \text{ kcal/Nm}^3\text{C} = 33.2 \text{ kcal/kg-cl}^1 \rightarrow 55,584 \times 10^6 \text{ kcal/y}$$

$$\text{石炭換算 (石炭節約量)} \rightarrow \text{約 } 8,510 \text{ t-coal/y}$$

10-10-7 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-cl¹) とクーラ排ガス顕熱 (145.2 kcal/kg-cl¹) の内、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。

(10-7 章 「工場のエネルギー・フロー」参照)

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。

10-10-8 FF 炉の改造

FF 炉での燃焼が悪く約 35 - 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 (1) 抽気風量が約 35-40%不足 (2) FF 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) FF 炉内容積の拡大を考えた改造、

(b) 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、FF 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。

10-10-9 窯尻リフター・レンガ

前章 10-10-8 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 基の内、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℃ 低下し、熱量が約 11.7 kcal/kg-clⁱ 低減する事が予想される。

10-10-10 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 を設置する個とが望ましい。

この効果として

- (a) 系全体が安定し、キルン並びに、FF 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-clⁱ (年間 30 x 10⁹ 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 Nm³/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 トンのクリンカーが回収される。

10-10-11 セメント粉砕システムの合理化

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 12,210,000 kWh/y の電力量の低下が期待できる。

10-10-12 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有るが、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： $40.7 \text{ kWh/t-cem} \times 0.1 = 4.07 \text{ kWh/t-cem} \rightarrow 7,500,000 \text{ kWh/y}$
(粉砕助剤使用量： 0.02% 添加を仮定)

10-11 省エネルギー対策の便益

10-11-1 マレーシアの現行エネルギー価格

(1) 燃料

表 10-11 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 10-11 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

10-11-2 対策の便益

エネルギー価格に基づいて求めた各対策の便益を表 10-12 に纏めて示す。

Table 10-12 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

10-12 省エネルギー対策の財務分析

本節では投資によ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

10-12-1 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 10-13 に各対策の投資額をまとめて示す。

Table 10-13 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

10-12-2 財務分析の結果

表 10-14 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。

Table 10-14 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

10-12-3 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、財務的フイ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イ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、財務的に健全なフイ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イ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、優れた財務フイ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。

10-13 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

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・粉砕のための堅型ミル、(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、石灰石粉碎系、頁岩ドライヤー・ミル系、石炭乾燥・粉碎系、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 (DIA) 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 F.F 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 11 章 食品工業 (砂糖工場)

11-1 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% の能力で国内第 2 位を占めている。

11-1-1 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
- 3) 工場組織 : General Manager: Mr. Lem Cheng Hoe
Technical Adviser: Chan Choong Lim
Engineering Manager: Ir. Lim Chin Chuan
- 4) 資本金 : 33 million RM
- 5) 従業員数 : 290
- 6) エネルギー関連技術者 : - 熱 1、 - 電気 5
- 7) 工場敷地面積 : - 工場用地 16 acres (総面積)
- 建屋 6.4 acres
- 8) 主要製品 : 精製糖
- White sugar - Brown sugar - Liquid sugar
- 9) 年間販売高推移 :

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)

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

11-2 設備概要および製造工程

(1) 設備概要

既述した通りこの工場の主要製品は精製糖である。図 11-1 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。

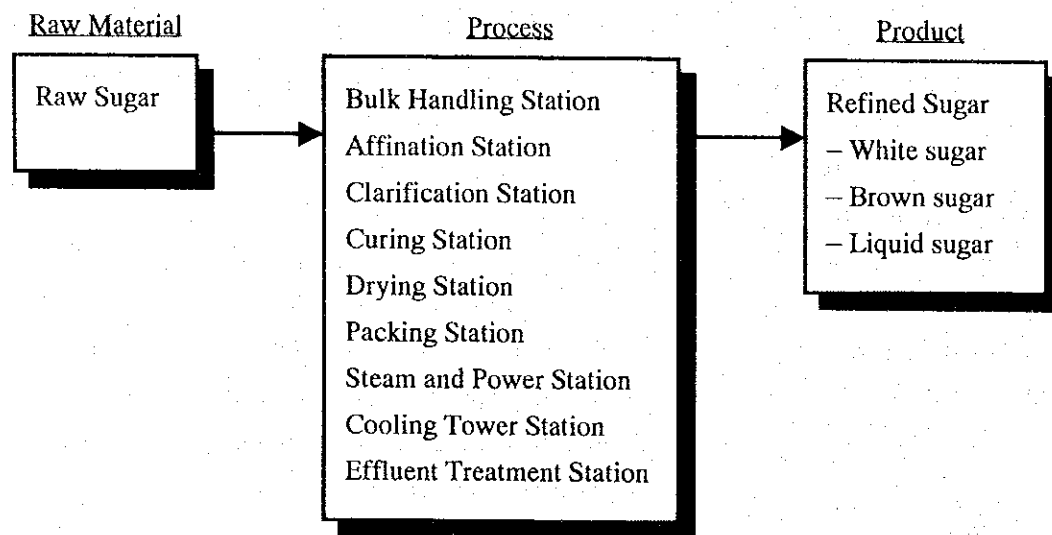


Figure 11-1 Outline of Production Facilities

図 11-2 に工場の生産工程を示す。

(2) 主要エネルギー消費設備

1) ボイラー;	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)
2) 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)

- 3) 空気圧縮機 No.1, 3, 4
- 4) 遠心分離機 x 15
- 5) 自家発電力対買電比率 :
10 - 15 % (全消費電力に対する買電比率)
自家発電力能力; 4,375 kVA
- 6) 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、% : 0.8
 - 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

11-3 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 11-1 参照

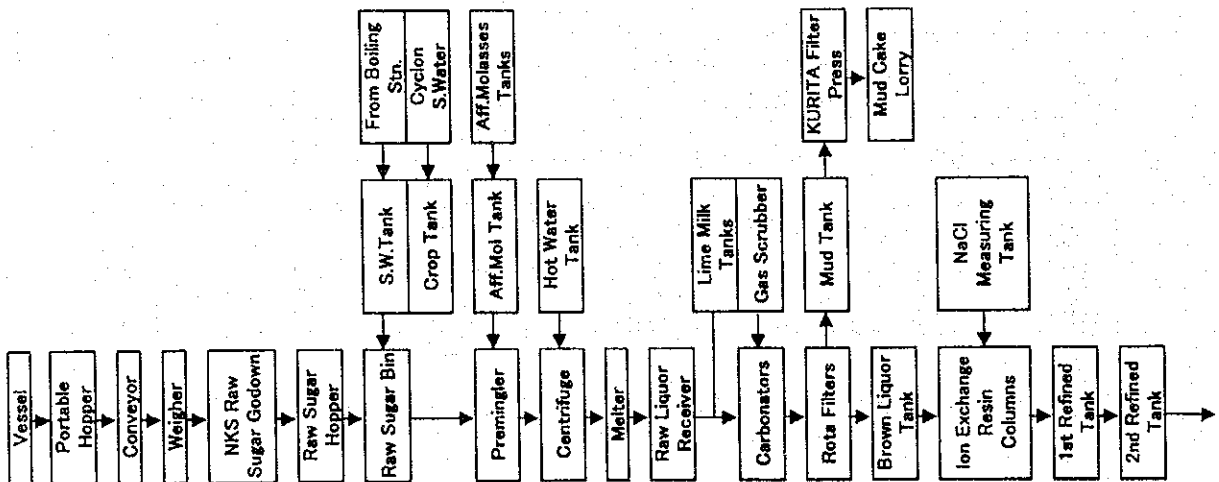
Table 11-1 Production Capacity, Production Amount and Annual Operating Hours

	Production Capacity (ton-melt/day)	Production Amount (ton/year)	Annual Operating Hours (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 11-2 参照

(3) 年間用役消費量推移 : 表 11-3 参照

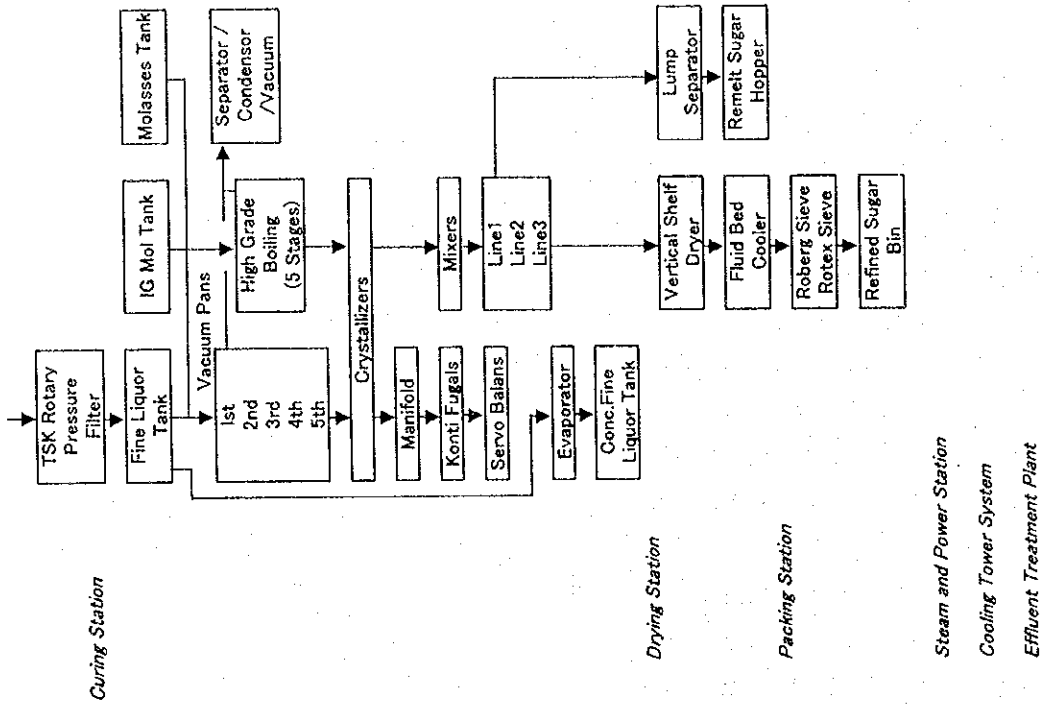
Bulk Handling of Raw Sugar



Affination Station

11-4

Clarification Station



Curing Station

Drying Station

Packing Station

Steam and Power Station

Cooling Tower System

Effluent Treatment Plant

Figure 11-2 Simplified Flow Sheet of Sugar Refining

Table 11-2 Unit Consumption Figure of Raw Materials and Energy for Each Major Product

Name of major project	Unit consumption figure	Unit	1994	1995	1996	1997 (estimate)	1998 (plant)
1. Raw materials							
Refined sugar	(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 ³ 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 11-3 Annual Utility Consumption and Unit Price

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

11-4 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。

(1) 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

(2) 測定項目・測定個所・測定機器

エネルギー診断の主要機器回りの分析測定個所について次の図に示す。

図 11-3 蒸気システム

図 11-4 電力システム

(3) 分析測定作業のための設備改造

現状ではボイラー出口に全発生蒸気の流れを測定するため1基の流量計が設置されている。調査団は2基のオリフィス流量計設置を計画した。1基はプレート蒸発器行き蒸気ラインに、1基は蒸気アキュムレーター行きのラインに設置した。図 11-3 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。

* Measuring Points

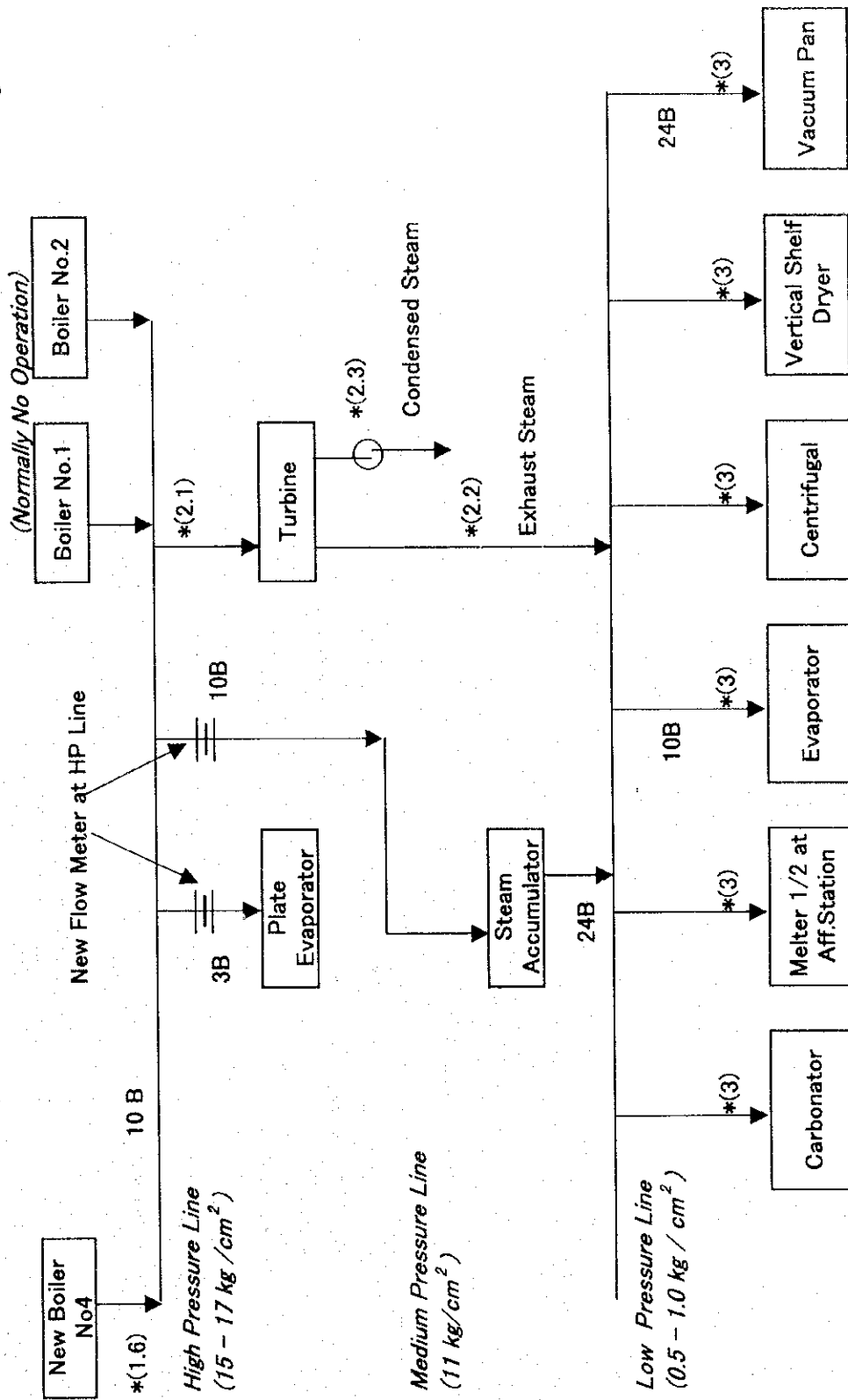


Figure 11-3 Steam System Flow

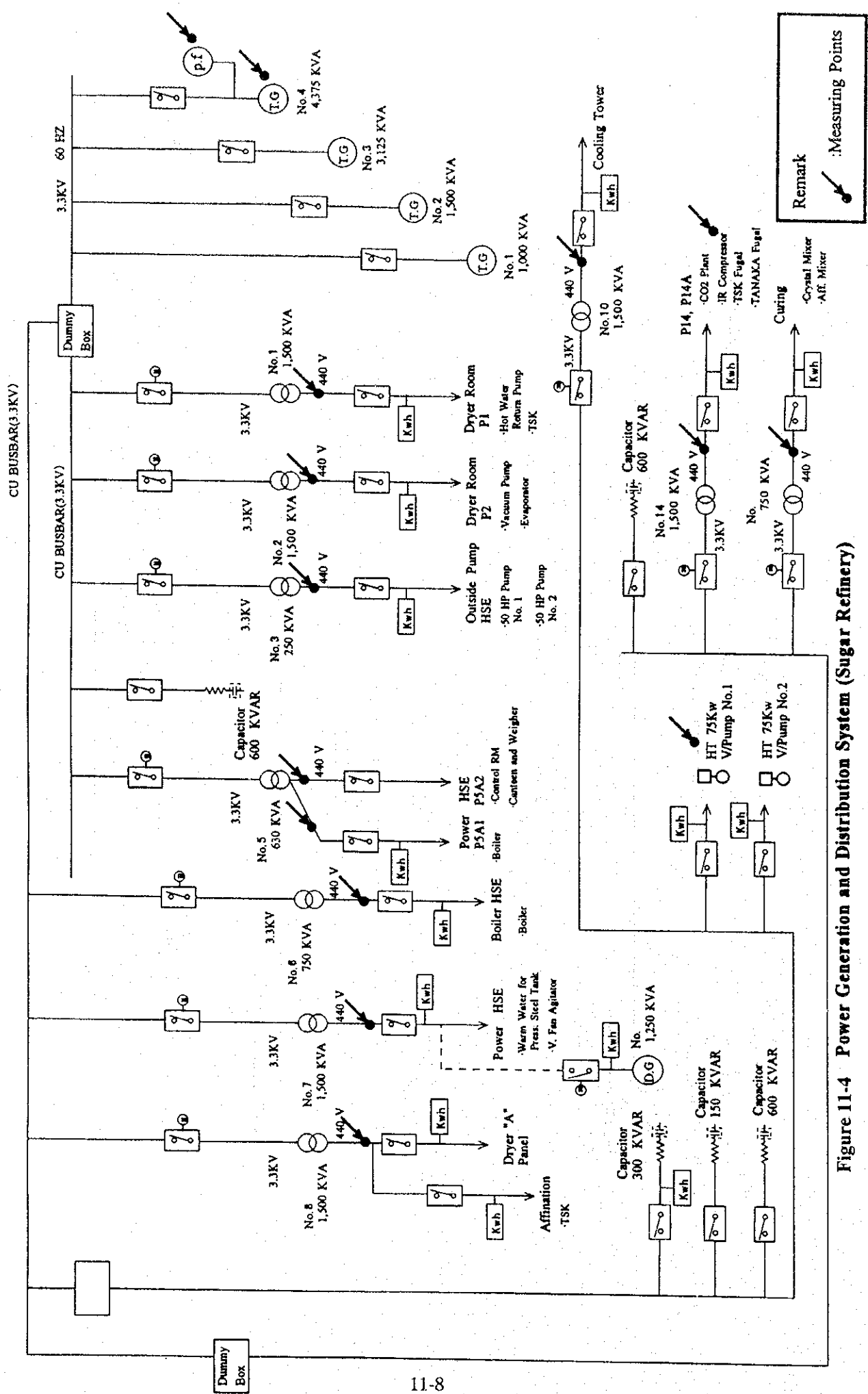


Figure 11-4 Power Generation and Distribution System (Sugar Refinery)

11-5 測定

11-5-1 測定および分析の概要

(1) エネルギー診断の主要項目

工場におけるエネルギー診断の分析測定作業は、次の主要項目に従って実施された。

1. 蒸気ボイラーの熱効率
2. 蒸気タービン発電機回りのエネルギーバランス
3. 蒸気および蒸気コンデンセート系統の調査
4. スチームトラップシステムの調査
5. 断熱システムの調査
6. 電力消費の調査

11-5-2 測定項目・測定箇所・測定機器

エネルギー消費の現況を評価し、エネルギーバランスを把握するためエネルギー診断の主要項目実施計画に従って、以下に述べる分析測定作業が行われた。

燃料油の元素分析については SIRIM に測定依頼した。

(1) 蒸気ボイラーの熱効率

- 1) 燃料油： 発熱量、元素分析（炭素、水素、窒素、酸素、硫黄）および流量
- 2) ボイラー供給水： 流量および温度
- 3) 燃焼用空気： 流量および温度
- 4) 発生蒸気： 流量、温度および圧力
- 5) 排気ガス： 酸素、一酸化炭素、二酸化炭素
温度

(2) 蒸気タービン発電機回りのエネルギーバランス

- 1) 供給蒸気： 温度および圧力
- 2) 抽気蒸気： 温度および圧力
- 3) 凝縮蒸気： 流量、温度および圧力
- 4) 発電電力： 電力および力率

(3) 蒸気および蒸気コンデンセート系統の調査

- 1) 全体蒸気フロー確認
- 2) 蒸気コンデンセート回収システムの確認

- 3) 蒸気流量の測定（タービンバイパスおよび蒸発器入口）
- (4) スチームトラップシステムの調査
 - 1) スチームトラップリストの確認
 - 2) 作動不良トラップの解析
- (5) 断熱システムの調査
 - 1) 断熱材保温された蒸気配管表面温度の測定
 - 2) 使用保温材の材質確認
 - 3) 配管形状の確認（内径、長さおよび厚み）
- (6) 電力消費の調査
 - 1) 発電電力： 電圧、電流、電力および力率
 - 2) 主変圧器： 電圧、電流、電力および力率
 - 3) 主要設備： 電圧、電流、電力および力率

11-6 測定結果

本章では、分析測定の結果を次の5項目について述べる。

- 1. 蒸気ボイラーおよび関連設備
- 2. 蒸気タービン発電機
- 3. スチームトラップシステム
- 4. 断熱システム
- 5. 電力消費

11-6-1 蒸気ボイラーおよび関連設備

(1) 燃焼用空気

診断のために燃焼用空気のデータを3回収集した。結果は次の通りである。

Velocity (m/s)	19.20	14.93	17.00
Flow rate (m ³ /min)	812.97	632.17	719.81
Temperature 1 (°C)	39.38	38.23	40.23
Temperature 2 (°C)	92.0	-	-

ここで Temperature 1、2 はプレヒーター前後における温度を示す。

(2) 排気ガス

排気ガスのデータを下記のとおり3回測定した。

O ₂ (%)	2.1	2.3	2.1
CO ₂ (%)	14.3	14.0	14.2
CO (ppm)	45	5	9
Temperature 1 (°C)	374.7	362.4	368.6
Temperature 2 (°C)	231.9	-	-

ここで Temperature 1、2 はプレヒーター前後における温度を示す。

(3) 燃料消費量

燃料消費量を下記のとおり3回測定した。

Flow rate (kg/hr)	2588.5	2785.8	2807.0
-------------------	--------	--------	--------

燃料油の試料を SIRIM の環境エネルギーセンターに持ち込み分析した。結果は次の通りである。

Parameters	Amount (wt %)
Carbon	83.79
Hydrogen	11.44
Oxygen	2.23
Sulfur	2.05
Nitrogen	0.403
Moisture	0.091

(4) 蒸気消費量

平均の蒸気消費量は次の通りである。

プレート蒸発器向け	= 1.15 tons/hr (2.6%)
スチームアキュムレーター向け	= 11.06 tons/hr (25.1%)
発電プラント向け	= 31.87 tons/hr (72.3%)

実際の蒸気消費量は蒸気消費設備での需要量変動により時間的に変化している。これはボイラー運転への変動要因ともなっている。

(5) 空気比計算

$$\lambda = \text{Actual Air Quantity} / \text{Theoretical Air Quantity}$$

$$= A / A_o = 1.136$$

$$\begin{aligned} \text{but, } A &= v_{\text{air}} \cdot A \cdot (273/273 + \theta) / Q_{\text{fuel}} \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}_{\text{fuel}}) \\ &= 14.93 \cdot 0.706 \cdot 3,600 \cdot (273/(273+39.38)) / 2,785.8 = 11.89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{and, } A_o &= 8.89C + 26.7(H-O/8) + 3.33S \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}_{\text{fuel}}) \\ &= 8.89 \cdot 0.8379 + 26.7(0.1144 - 0.0223/8) + 3.33 \cdot 0.0205 = 10.497 \end{aligned}$$

$$\text{where, } v_{\text{air}} = \text{air intake velocity (m/s)}$$

$$A = \text{air intake area (m}^2\text{)}$$

$$\theta = \text{air intake temperature (}^\circ\text{C)}$$

$$Q_{\text{fuel}} = \text{fuel intake flowrate (kg/hr)}$$

$$C, H, O \text{ and } S = \text{elementary analysis of fuel in fraction}$$

(6) 排気ガスからの熱損失

排気ガスからの熱損失は次の計算式で求める。

$$l_g = (L_g/H_1) \times 100[\%] = (800/10,632) \times 100 = 7.5\%$$

$$\begin{aligned} L_g &= [G_o + (m-1) \times A_o] \times C_g \times (T_g - T_o) \\ &= (11.168 + (1.136-1) \times 10.497) \times 0.33 \times (231.9 - 39.38) = 800 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_o &= 0.79A_o + 1.867 \times C + 11.2 \times H + 0.7 \times S + 1.24 \times W + 0.8 \times N \\ &= 0.79 \times 10.497 + 1.867 \times 0.8379 + 11.2 \times 0.1144 + 0.7 \times 0.0205 + 1.24 \times 0.00091 + 0.8 \times 0.00403 \\ &= 11.168 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{where, } H_1 &= \text{lower heating value of fuel} \\ &= 8100 \times 0.8379 + 34,000(0.1144 - 0.0223/8) + 2,500 \times 0.0205 \\ &= 10632 \end{aligned}$$

$$m = \text{air ratio}$$

$$C_g = 0.33 \text{ [kcal/Nm}^3 \times ^\circ\text{C]}$$

$$T_g = \text{flue gas temperature, } ^\circ\text{C}$$

$$T_o = \text{ambient temperature, } ^\circ\text{C}$$

$$C, H, N, S, O \text{ and } W = \text{elementary analysis of fuel in fraction}$$

11-6-2 蒸気タービン発電機

蒸気タービン発電機4号機の運転データを表11-4に示す。

11-6-3 スチームトラップシステム

蒸気配管および蒸気消費設備に設置されている 90 個のスチームトラップのうち使用状態にある 64 個について調査を行った。設置されているスチームトラップの型式としてはディスクタイプおよびフロートタイプの 2 種類に分類できる。

(1) 不良スチームトラップの解析

表 11-5 に作動不良トラップ解析結果を示す。作動不良トラップからの蒸気漏洩による損失額も同時に示す。

測定対象の全トラップのうち 30 基については良好であったが、31 基については作動不良であった。なお、3 基については測定データなしである。

Table 11-5 Summarized Failure Analysis of Steam Trap

Malfunction Category	Good	Failed	No service	Total	Monetary Loss (US\$/year)
Good	30	0	0	30	0
Leaking	0	9	0	9	2,757
Blowing	0	1	0	1	1,356
Low Temperature	0	14	0	14	0
Blocked	0	7	0	7	0
No Data	0	0	3	3	0
TOTAL	30	31	3	64	4,113

図 11-5 に型式別、不良要因別解析結果を図示する。

11-6-4 断熱システム

蒸気主配管の保温材施工状態を調査した。各蒸気配管ラインからの熱損失量を計算式を用いて求め結果を表 11-6 に示す。



Figure 11-5 Steam Trap Failure Analysis

Table 11-4 Operation Data for Steam Turbine Generator

Date		Equipment No. Turbine Generator No.4																	
		Inlet Steam		Extracted Steam		Steam Released to Atm.		Condensed Steam		Turbine		Generator							
/Hours	Flow Rate (kg/h)	Temp. °C	Pressure (bar)	Flow Rate (kg/h)	Temp. °C	Pressure (bar)	Flow Rate (kg/h)	Temp. °C	Pressure (bar)	Flow Rate (kg/h)	Temp. °C	Pressure (bar)	Speed (rpm)	Output (kW)	Volt	Ampere (A)	Power Factor	Cumulative Output (KWh)	
Design Spec.	38,200	310.0	17		120	1							6,545	3,500	3,300	765			
23/9/98																			
10.00 am	NA	277.7	17.2	NA	112	0.55	0	NA	NA	102	69	Atm	6,600	2,810	3,340	615	NA	6,480,800	
12.00 pm	NA	277.8	17.2	NA	112	0.50	0	NA	NA	NA	78	Atm	6,614	2,790	3,340	560	NA	NA	
2.30 pm	NA	277.4	17.4	NA	113	0.58	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,621	2,680	3,240	550	-0.93	NA	
4.30 pm	NA	277.7	17.6	NA	112	0.58	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,636	2,960	3,270	597	-0.93	6,499,100	
Average		277.65	17.3		112	0.55	0			102	74	Atm	6,618	2,810	3,298	581	-0.93	2,815	
24/9/98																			
10.00 am	NA	277.9	17.2	NA	113	0.6	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,600	2,700	3,340	558	-0.95	6,548,700	
12.00 pm	NA	277.8	17.2	NA	113	0.5	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,600	3,080	3,320	498	-0.94	NA	
2.30 pm	NA	278	17.2	NA	113	0.55	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,618	2,720	3,370	530	-0.89	NA	
4.30 pm	NA	277.9	17.2	NA	113	0.59	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,632	2,800	3,340	570	-0.92	6,566,900	
Average		277.9	17.2		113	0.56	0			NA	NA	Atm	6,612	2,825	3,343	539	-0.93	2,800	
25/9/98																			
10.00 am	NA	277.4	16.7	NA	113	0.5	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,610	2,670	3,370	500	-0.97	6,615,900	
12.00 pm	NA	278.1	17.2	NA	113	0.55	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,629	3,300	2,900	521	-0.95	NA	
2.30 pm	NA	277.1	17.7	NA	113	0.55	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,614	2,860	3,410	525	-1.00	NA	
4.30 pm	NA	277.5	17.2	NA	113	0.58	0	NA	NA	NA	NA	Atm	6,629	2,890	3,310	535	-0.94	6,633,900	
Average		277.53	17.2		113	0.55	0			NA	NA	Atm	6,620	2,930	3,248	520	-0.96	2,769	

Table 11-6 Heat Loss from Steam Main Line

Line	Rated Flow rate (t/hr)	Steam Pipe		Insulation		Heat Loss, Q (kcal/hr)	Steam Loss (kg/hr)	Steam Loss (%)
		O.D (mm)	Length (m)	Material	Thickness (cm)			
Pressure: 17 bar Steam Temperature: 280 °C Atmospheric Temperature: 33 °C								
Boiler #4 to HP Header	50.0	250	50	rock wool	5.0	10,770	15.1	0.030
HP Header to T.G #4 a)	38.5	250	27	rock wool	5.0	5,816	8.1	0.021
Pressure: 11 bar Steam Temperature: 260 °C Atmospheric Temperature: 33 °C								
HP Header to Plate Evaporator	5.0	100	90	rock wool	3.8	10,133	14.3	0.286
HP Header to Accumulator b), c)	5.0	250	85	calcium silicate	5.0	18,041	25.5	0.510
Pressure: 0.5 bar Steam Temperature: 110 °C Atmospheric Temperature: 33 °C								
T.G #4 to LP Header d)	38.5	400	26	calcium silicate	5.0	2,516	3.9	0.010
LP Header to Vacuum Pan e)	30.0	600	70	calcium silicate	5.0	9,780	15.0	0.050
LP Header to Vertical Shelf Dryer e)	5.3	50	20	rock wool	2.5	474	0.7	0.014
LP Header to Melter #1 e)	Not known	250	35	rock wool	5.0	1,779	2.7	N.A
LP Header to Melter #2,3 e)	Not known	200	40	rock wool	5.0	1,691	2.6	N.A
LP Header to Steam Header for Evaporators e)	5.7	250	50	rock wool	5.0	2,542	3.9	0.069
LP Header to Molasses Plate Heater e)	1.5	100	25	rock wool	3.8	748	1.2	0.077
TOTAL						64,290		

Applied Heat Conductivity Value for Insulation Material

	110 °C	260 °C	280 °C
Calcium Silicate;	0.0485	0.0547	0.0557
Rock Wool ;	0.0376	0.0490	0.0507

- Note:
- a) = abnormal surface temperature (120 °C) was observed at this line
 - b) = No insulation at expansion joint
 - c) = No insulation at flow meter
 - d) = No insulation at a small section of straight pipe
 - e) = No insulation for valves around LP header

11-6-5 電力消費量

(1) 電力供給および構内配電システム

この工場は砂糖製造プラントに必要な電力を1台のタービン発電機で供給している。電力消費量は図11-4に示した各点で測定した。

(2) 主要電動機

この工場には426基の電動機が設置されている。設計能力別に分類すると次の通りである。

1) less than 10 kW	270
2) 10 – 30 kW	91
3) 30 – 50 kW	27
4) 50 – 100 kW	14
5) more than 100 kW	24

工場で最大規模の冷却水ポンプ用電動機の力率は測定期間中、0.9以上に保たれていた。

(3) 発電電力推移

1998年9月29日に測定した時間毎の電力消費量推移を図11-6に示す。

発電電力量はプラントの需要量に合わせて2,800と3,200 kWの間で変動している。

供給端における力率は手動で0.8以上に保持されている。

(4) 空気圧縮機および遠心分離機の電力量推移

空気圧縮機およびTSK社遠心分離機は、頻繁に運転状態が変わるため短時間毎に測定した電力消費量の変動が顕著に見られた。

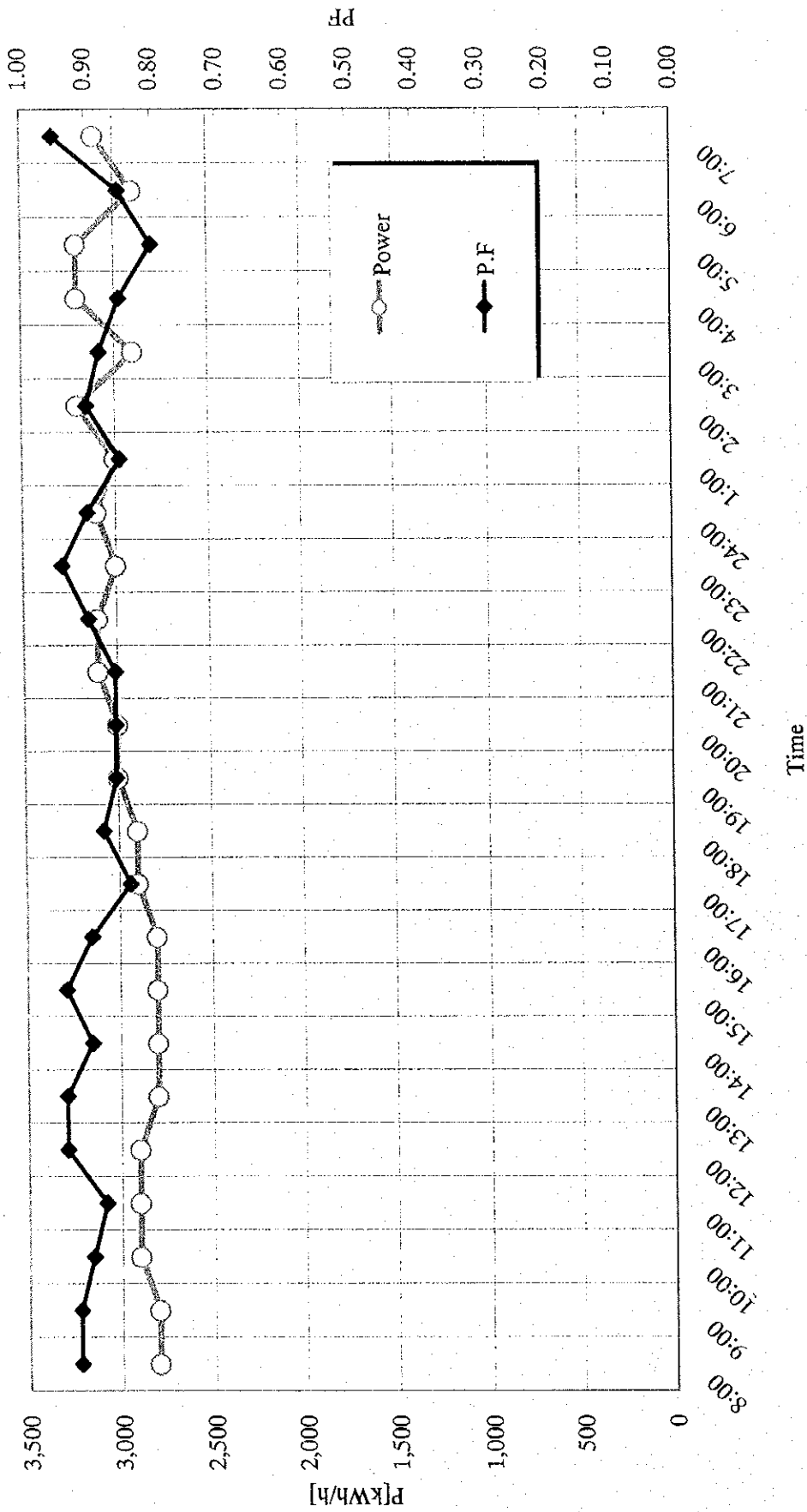


Figure 11-6 Electricity Consumption - Power and Power Factor at TG #4 Output (29 Sep. 1998)