

11-7 工場のエネルギーの流れとエネルギーの主要消費設備

11-7-1 蒸気ボイラー回りのエネルギーフロー

測定分析結果に基づき蒸気ボイラー回りのエネルギーバランスを次の通り算出した。

Table 11-7 Energy Flow around Steam Boiler

	Quantity	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Heat(Kcal/h)	Ratio(%)
Inlet					
1) Fuel Oil	2,785.8 kg/hr	30	Ambient	29,620,000	86.28
2) Air	33,294 Nm ³ /hr	38	Ambient	310,000	0.90
3) Feed Water	27.3 ton/hr	29	Ambient	800,000	2.33
4) Recycled Condensate	15.5 ton/hr	113	0.5	1,700,000	4.95
5) Steam (Deaerator)	2.9 ton/hr	113	0.5	1,900,000	5.54
Total				34,330,000	100.00
Outlet					
1) Steam	44,060kg/h	282	20.6	31,340,000	91.29
2) Blow Down	1.6 ton/hr	282	20.6	340,000	0.99
2) Exhaust gas	35,078Nm ³ /hr	231.9	-	2,600,000	7.57
3) Heat Loss	-	-	-	50,000	0.15
Total				34,330,000	100.00

この結果から、ボイラー運転管理は良好で熱効率（蒸気／燃料油）は 91.29%である。

11-7-2 蒸気輸送ラインのエネルギーフロー

蒸気輸送ラインの熱バランスを表 11-8 に示す。

Table 11-8 Energy Balance around Steam Transfer Line

	Quantity	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Heat Energy (kcal/h)	Ratio (percent)
INPUT					
1) Generated Steam	44,060 kg/hr	282	20.6	31,340,000	100.00
Total	44,060 kg/hr			31,340,000	100.00
OUTPUT					
1) Steam to Film Evaporator	1,000 kg/hr	278	17.2	710,000	2.27
2) Steam to Accumulator	11,060 kg/hr	278	17.2	7,850,000	25.05
2) Steam to Turbine Generator	32,000 kg/hr	278	17.2	22,720,000	72.50
3) Heat Loss from Pipe Surface	-	-	-	60,000	0.18
Total	44,060 kg/hr			31,340,000	100.00

11-7-3 蒸気タービン発電機回りのエネルギーフロー

蒸気タービン発電機回りのエネルギーバランスを表 11-9 に示す。

Table 11-9 Energy Balance around Steam Turbine Generator

	Quantity	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Heat Energy (kcal/h)	Ratio (percent)
INPUT					
1) Steam Inlet	32,000 kg/hr	278	17.2	22,720,000	100.00
Total				22,720,000	100.00
OUTPUT					
1) Extracted Steam	31,098 kg/hr	113	0.55	19,902,720	87.60
2) Steam Released to Atmosphere	0 kg/hr	-	-	0	0.00
3) Condensed Steam	102 kg/hr	74	Atm.	7,550	0.03
4) Generated Power	2,900 kWh	-	-	2,494,000	10.98
5) Loss	Balance			315,730	1.39
Total				22,720,000	100.00

11-7-4 蒸気アキュムレーター行き圧力制御弁のエネルギーフロー

蒸気アキュムレーター行き圧力制御弁回りのエネルギーバランスを表 11-10 に示す。

Table 11-10 Energy Balance around Steam Control Valve to Accumulator

	Quantity	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Heat Energy (kcal/h)	Ratio (percent)
INPUT					
1) Steam for Steam Accumulator	11,060 kg/hr	278	17.2	7,850,000	100.00
Total	11,060 kg/hr			7,850,000	100.00
OUTPUT					
1) Steam to Steam Accumulator	11,060 kg/hr	113	0.55	7,131,500	90.85
2) Kinetic Energy Loss by Control Valve	-	-	-	718,500	9.15
Total	11,060 kg/hr			7,850,000	100.00

11-7-5 電力消費システム

電力消費バランスを表 11-11 に示す。

Table 11-11 Electrical Power Balance

Service	Quantity (kWh)	Ratio (%)	Remarks
Inlet			
1) Generated Power	2,900	94.16	Turbine Generator No.4
2) Receiving from TNB	180	5.84	
TOTAL	(3,080)	(100.00)	
Outlet			
1) Office Use (TNB)	120	3.90	
2) No. 1 Line (P1ACB2)	85	2.76	LINT IT4(35), Others(50)
3) No. 2 Line (P2ACB2)	510	16.56	NIRO Evaporator(60), Film Eva.(50), Others(400)
4) No. 3 Line (TNB)	60	1.95	Vacuum Pump(60)
5) No. 5 Line (P5A1,2)	160	5.19	Boiler(80), Lighting(80)
6) No. 6 Line (P6)	320	10.39	Boiler(320)
7) No. 7 Line (P7A1)	500	16.23	Pan Agitator & Others (500)
8) No. 7 Line (P7A2)	65	2.11	TSK, ASEA, Others (65)

Service	Quantity (kWh)	Ratio (%)	Remarks
9) No. 8 Line (P8A1)	200	6.49	TSK, MCCB, Others (200)
10) No.12,13 Line	100	3.25	Vacuum Pump #1, 2
11) No.14 Line (P14M)	450	14.61	Air Compressor(100), TANAKA(250), Others(100)
12) No.15 Line (P15C)	300	9.74	Cooling Water Pump(280), Others(20)
13) No.16 Line (MCCSP)	40	1.30	Mixer, Others (40)
14) Balance	170	5.51	
Total	(3,080)	(100.00)	

11-7-6 全体エネルギーフロー

砂糖工場全体のエネルギーフローを図 11-7 に示す。

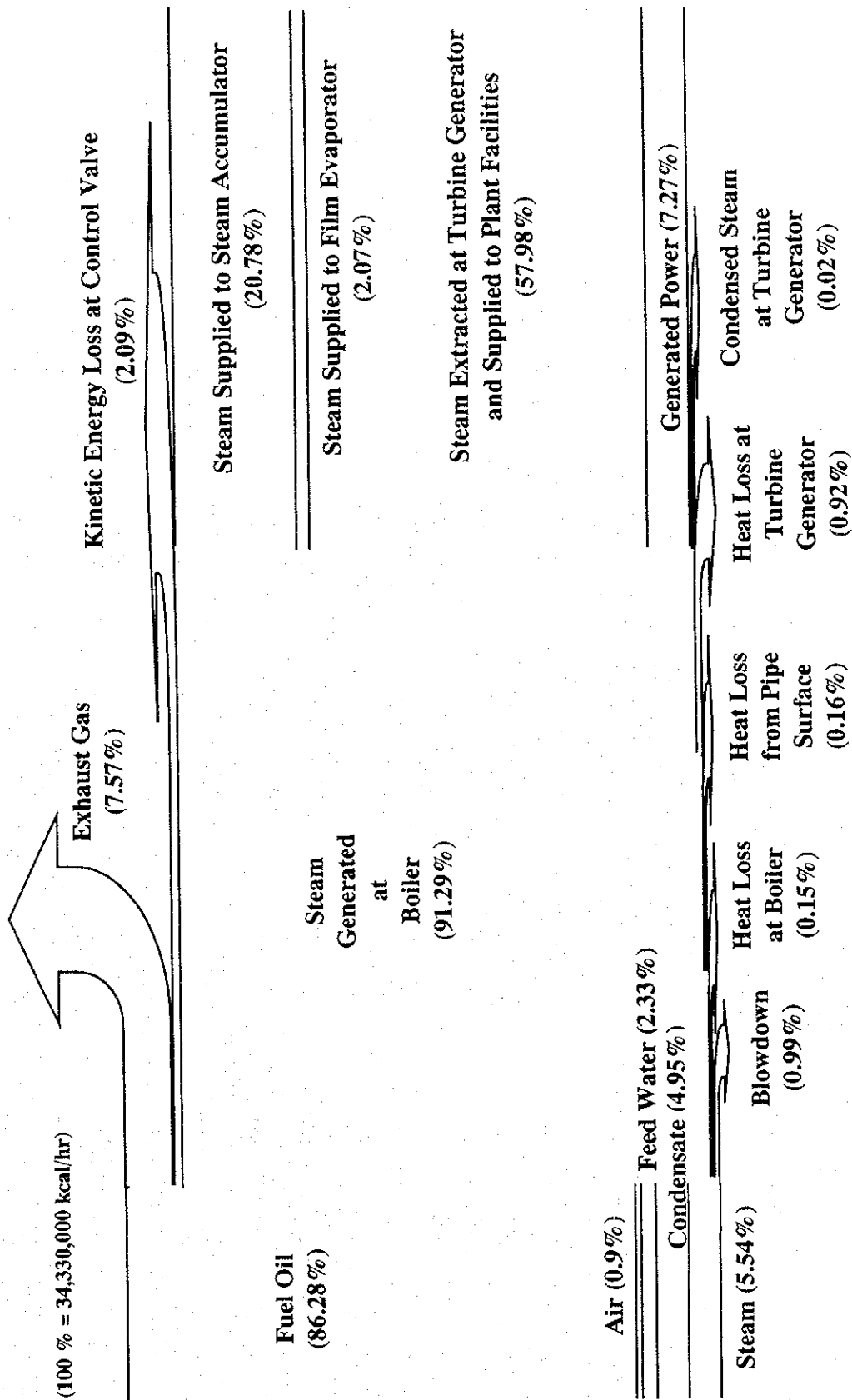


Figure 11-7 Overall Energy Flowchart (Central Sugars Refinery)

11-8 主要製品製造のための原料およびエネルギー消費原単位

主要製品製造のための原料およびエネルギー消費原単位を表 11-2 に示す。

11-9 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 %/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永い
- 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%）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）

11-10 設備の現状と問題点

11-10-1 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

11-11 省エネルギー対策

砂糖工場のエネルギー診断結果を踏まえた省エネルギー対策について述べる。主要点は次の通りである。

1. 蒸気およびスチームコンデンセート回収システムにおける省エネルギー改善
2. スチームトラップシステムの改善
3. 断熱システムにおける熱ロスの削減
4. 蒸気制御弁における損失エネルギーの電力への回収

11-11-1 蒸気およびスチームコンデンセート回収システムにおける省エネルギー改善

(1) 蒸気システム

蒸気およびスチームコンデンセートシステムの物質収支、熱収支から抽出されるエネルギー使用効率改善策を以下に述べる。

1. 排気ガスの熱エネルギー回収利用

測定された排気ガス温度は 232°C であったが、この数値は日本における似の設備のデータと比較して若干高い。

Table 11-12 Standard and Target Temperature of Boiler Flue Gas Standard (Target)

Boiler Capacity	Flue Gas Temperature (°C)			
	Solid Fuel		Liquid Fuel	Gas Fuel
	Fixed Bed	Fluid Bed		
Over 30 ton/hr	200 (180)	200 (170)	200 (160)	170 (150)
10 to 30 ton/hr	250 (180)	200 (170)	200 (160)	170 (150)
5 to 10 ton/hr		- (300)	220 (200)	200 (180)
Under 5 ton/hr		- (320)	250 (220)	220 (200)

この表から分るように、砂糖工場における排気ガス温度は 200°C から 160°C を目標として管理するのが望ましい。換言すればこの温度まで経済性を保ちながら下げることが可能である。

熱回収の方法として次の対策が考えられる。

- 供給空気と排気ガスとの直接熱交換（現状のプレヒーターの能力増）
- エコノマイザー設置し蒸気加熱
- 低温流体利用による熱回収

スチームコンデンセート回収策を加味して、ボイラー供給水の予熱方式を推奨案とする。

(2) スチームコンデンセートシステム

この工場におけるスチームコンデンセートの回収率はボイラー供給水の約 30-40%である。一般にコンデンセート回収率が低い原因として下記理由が挙げられている。

- プロセスシステムへの蒸気直接供給
- プロセス流体とのコンタミ
- コンデンセート元圧が低いため回収に難

砂糖製造プロセスにおいてはプロセスシステムへの蒸気直接供給あるいはプロセス流体とのコンタミはそれ程多量ではない。主な原因としてはコンデンセート元圧が低いためと思われる。

コンデンセート回収対策のための設備費用は、配管、タンクおよびポンプ用材料の材質が廉価な炭素鋼でよいので、それ程多額ではない。回収設備設置も推奨できる。

調査団の推奨案適用後の状態を図 11-8 に図式的に示す。

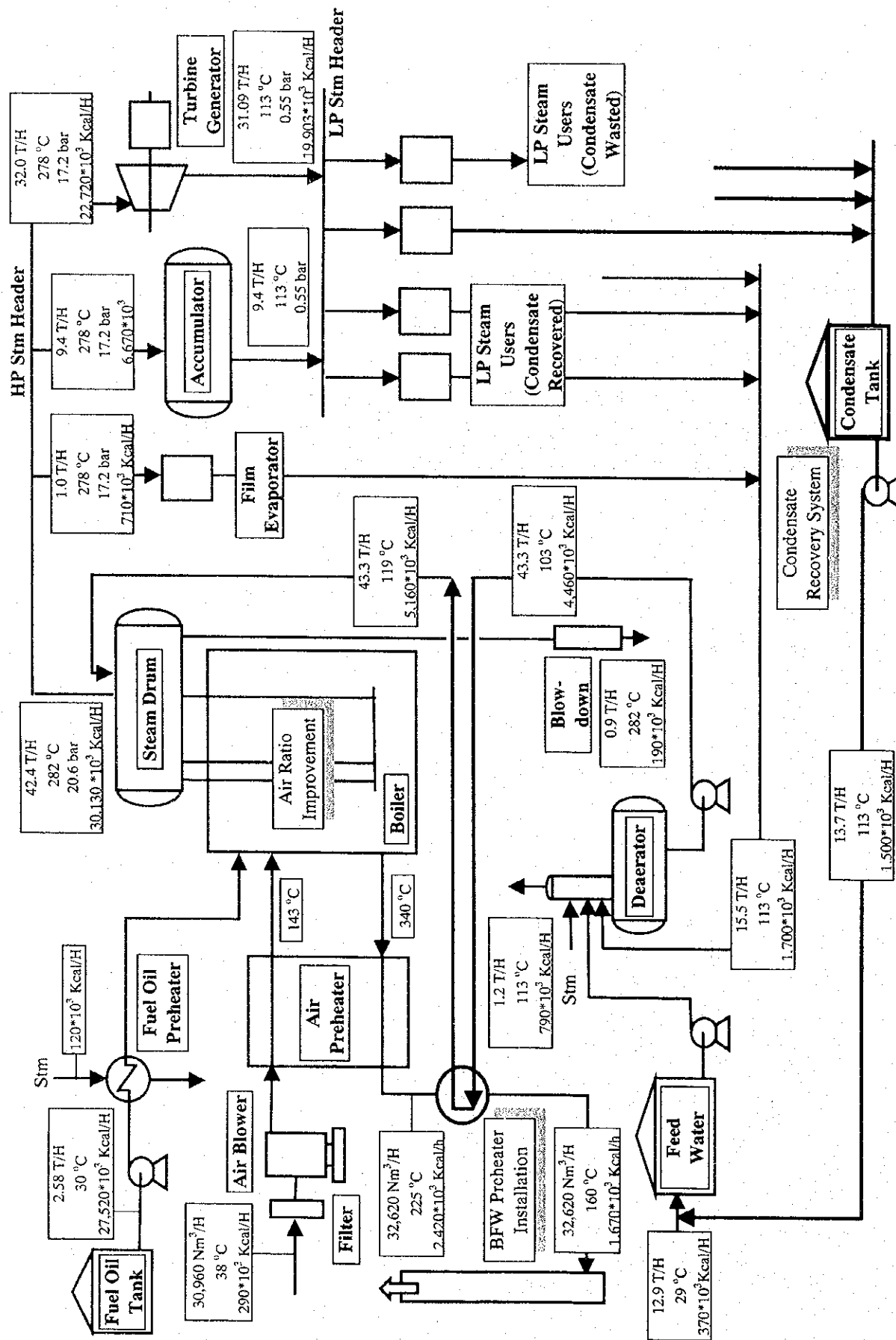


Figure 11-8 Material and Heat Balance of Boiler System (recommendation)

11-11-2 スチームトラップシステム改善

蒸気利用設備に約 64 基のスチームトラップが設置されている。運転状況および保守状態は概ね良好である。しかしながら、吹き放しあるいは漏れ、詰り状態のトラップがいくつか見られた。スチームトラップの設備寿命は3-5年といわれる。

今回の調査結果に対する対策としては、次の通り。詳細は表 11-13 に示した。

- 1) 現在漏れているトラップおよび吹き放しのトラップについては交換
- 2) 詰りあるいは低温状態のトラップについては定期的な保守管理を行う

11-11-3 断熱システムにおける熱損失低減

主蒸気配管からの熱損失については前項の表 11-6 に示したようにあまり大きくない。直管部あるいはバルブ、フランジ部などで保守管理あるいは検査のため保温材が外れたままの箇所が散見された。このような場所についても、保温施工を行う必要がある。

11-11-4 蒸気制御弁における損失エネルギーの電力への回収

ボイラー能力 50 ton/h のうち 30 ton/h 分がタービンで使用されている。残りの 20 ton/h については加熱用として必要な 0.5 bar まで減圧されている。これは高エネルギー蒸気を浪費していることになり好ましくない。

試算によると、圧力減圧制御弁の絞りによる機械的損失エネルギーは約 750 kW の電力に相当する。 $(718,500 \text{ kcal/hr} / 860 \text{ kcal/kW} \times 0.90 = 750 \text{ kW})$

補助的なタービンの設置が必要である。

蒸気と電力はほぼバランスしているので、新たに発電された電力は TNB を経由して外部の需要家に送電する必要がある。従って、現在の電力料金体系の再構築が必須である。

このタービンとしては供給される蒸気の圧力および流量の変動、ガバナー制御および電力制御に追随できる運転のフレキシビリティを兼ね備えている必要がある。

Table 11-13 Failed Trap List

Trap No.	Type	Model	Size (mm)	Failure Mode	Steam Loss (t/y)	Monetary Loss (\$/y)	Recommended Measures	Recommended Steam Trap	
								Type (Model)	Spec. (kg/h) Price (10 ³ yen)
A10-00001	DISC	TD42	20	Leak(S)	23	185	Replace	FLOAT (SSIN-21)	140 31.5
A10-00003	FLOAT	FT20	20	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (JH3X-22)	560 118.5
A10-00004	DISC	TD42	20	Leak(S)	33	263	Replace	FLOAT (SSIN-21)	140 31.5
A10-00005	DISC	TD42	20	Leak(M)	60	470	Replace	FLOAT (SSIN-21)	140 31.5
A10-00006	FLOAT	FT20	20	Leak(L)	83	655	Replace	FLOAT (JF3X-5)	640 32.5
A10-00009	FLOAT	FT20	20	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (JF3X-5)	640 32.5
A40-00001	DISC	TD32F	25	Blocked	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-21)	140 42.5
A40-00002	DISC	TD42	25	Leak(L)	84	661	Replace	FLOAT (SSIN-16)	140 32.0
A40-00003	DISC	TD32F	25	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-21)	140 42.5
A40-00004	DISC	TD42	25	Blowing	172	1,356	Replace	FLOAT (SSIN-16)	140 32.0
A50-00001	DISC	TD3-7	20	Blocked	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-21)	140 31.5
A50-00004	DISC	TD42	25	Blocked	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-16)	140 32.0
A71-00001	DISC	TD42	25	Blocked	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-16)	140 32.0
A71-00002	DISC	TD42	25	Blocked	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-16)	140 32.0
A71-00003	DISC	TD42	25	Leak(S)	11	87	Replace	FLOAT (SSIN-10)	65 32.0
A72-00001	DISC	TD42	25	Leak(S)	15	115	Replace	FLOAT (SSIN-10)	65 32.0
A72-00002	DISC	TD42	25	Leak(S)	29	226	Replace	FLOAT (SSIN-16)	140 32.0
A80-00001	DISC	TD32F	20	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-21)	65 39.0
B10-00001	DISC	TD42	20	Blocked	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-21)	140 31.5
B10-00002	DISC	TD32F	20	Leak(S)	12	95	Replace	FLOAT (SSIN-10)	65 39.0
B10-00004	DISC	TD42	20	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-21)	140 31.5
B30-00001	FLOAT	FT20	25	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (JF5X-16)	700 60.0
B30-00002	FLOAT	FT20	25	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (JF5X-16)	700 60.0
C10-00001	FLOAT	FT10-4.5	50	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (J75X-1)	16,000 347.0
E50-00004	FLOAT	GM8	100	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (J8X-1)	22,000 550.0
Ex0-00001	DISC	TD32F	25	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (SSIN-10)	65 42.5
F10-00001	FLOAT	FT10-1	25	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (J7X-16)	2,100 102.0
F30-00001	FLOAT	FT14-020	20	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (JF3X-10)	600 32.5
F40-00001	FLOAT	GM2	50	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (J7LX-1)	4,800 150.0
F40-00002	FLOAT	GM2	50	Blocked	0	0	Overhaul	FLOAT (J7LX-1)	4,800 150.0
F40-00003	DISC	TD3-2	20	Low temp	0	0	Overhaul	FLOAT (JF5X-10)	870 58.5

11-12 省エネルギー対策のコスト

提案されたエネルギー対策のうち「蒸気およびスチームコンデンセート回収システムにおける省エネルギー改善」および「スチームトラップシステムの改善」の2件に絞り、対策費用の概算見積りを行った。

尚、「断熱システムにおける熱ロスの削減」については日常保守管理費の範囲内で指摘された保温不良個所の改善対策が可能である。

又、「蒸気制御弁における損失エネルギーの電力への回収」については、TNBへ逆送電するという新しい考えに基づいた。TARIFF制度の見直し、および逆送電システムの構築が先決であり、これらを十分検討した上で適切なコスト推算前提を作り、その前提の下で本省エネルギー対策費用を算出すべきである。

(1) 蒸気およびスチームコンデンセート回収システムの省エネルギー対策

- ボイラー排気ガスの熱エネルギー回収
- スチームコンデンセート回収量の改善 (13.7 t/h)

	10 ³ Yen
1. Economizer (heat transfer area: 271 m ²)	7,000
2. Economizer Installation work (air-duct, BFW piping, insulation, painting)	4,500
3. Condensate line piping (840 inch-m, carbon steel)	4,500
4. Condensate tank (carbon steel, 10 m ³)	1,200
5. Tank insulation	2,000
6. Condensate recovery pump / motor (capacity: 30 t/h)	500
7. Civil, electrical, election, insulation, others	3,800
TOTAL	23,500

Item 1 : ボイラー排気ガスの熱エネルギー回収

既設の Air Heater の後に BFW Heater を設置しボイラー排気ガスの熱エネルギー損失の回収

BFW Heater 基本設計条件 :

	Temp.(°C)		Press.(bar)		Flow rate
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
BFW	103	119	21	21	43.3 t/h
Exhaust Gas	225	160	Atm	Atm	32,620 Nm ³ /h

Item 2 ; コンデンセート回収量の改善

コンデンセート回収がされていない 43 基のトラップのうち 22 基について回収設備を設置する。

Note: 全トラップ ((64)) 既回収トラップ (21)、今回回収対象トラップ (22)

(2) 不良スチームトラップの交換

- 10 基の不良トラップ(blowing, leaking)を交換

	10 ³ Yen
1. Installation of steam trap	326
TOTAL	326

11-13 省エネルギーポテンシャル

前節で対策費用の概算見積を行った二つ対策について、その省エネルギー効果を以下に述べる。

(1) 蒸気およびスチームコンデンセート回収システムの省エネルギー対策

- ボイラー排気ガス熱エネルギーの回収 - スチームコンデンセート回収量の改善	燃料油使用量削減 2.78 - 2.58 = 0.2 ton/hr (1,600 ton/year)
--	---

(2) 不良スチームトラップの交換

- 漏れ、吹放しトラップの交換	蒸気漏洩量の削減 : 4,113 US\$/year
-----------------	----------------------------

11-14 省エネルギー対策の便益

11-14-1 CSR のエネルギー価格

CSR のエネルギー価格は社外秘であるため、CSR からは入手できなかった。そこで調査団は表 11-14 に示すような価格を仮定し本調査に使用する。

Table 11-14 Assumed Energy Price

	Unit Price
Medium Fuel Oil	323.5 RM/ton
Generated Steam	30 RM/ton

11-14-2 対策の便益

各対策の便益を推算し、その結果を表 11-15 に示す。

Table 11-15 Estimation of Benefit from Measures

Measures	Benefit, Rm/year
Improvement of Heat Energy Efficiency in Steam and Steam Condensate Recovery System	517,600
Replacement of Failed Steam Traps	15,629

11-15 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。

- 蒸気およびスチームコンデンセート回収システムにおける省エネルギー改善
- 作動不良なスチームトラップの交換

11-15-1 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（但し、不良スチームトラップ交換については運転開始から 5 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： 対策に要する投資額は、前述の日本円表示から変換し表 11-16 に示す。

Table 11-16 Fixed Investment Cost for Measures

Measures	Fixed Investment Cost (RM)
Improvement of Heat Energy Efficiency in Steam and Steam Condensate Recovery System	757,000
Replacement of Failed Steam Traps	10,498

11-15-2 財務分析の結果

表 11-17 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 11-17 Results of Financial Evaluation

Measures	FIRROI before tax	FIRROI after tax	Payback Period
Improvement of Heat Energy Efficiency in Steam and Steam Condensate Recovery System	68.4%	49.8%	2.0 years
Replacement of Failed Steam Traps	147.3%	103.1%	0.9 years

11-15-3 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。

検討した対策は両方とも、FIRROI がこの資本の機会費用よりずっと大きく好ましいものであり、回収期間も十分短いため、本調査で設定された条件下では財務的にフィージ

ブルと考えられる。この好結果は 1 番目の対策の場合はかなり大きな便益が生み出されることにより、また 2 番目の対策の場合は投資が少ないことにより齎されたと考えられる。

11-16 省エネルギーのための提言

CSR のエネルギー診断および引き続き行われた財務分析を含む検討に基づき、以下の様な省エネルギー対策を提言する。

(1) 蒸気およびスチームコンデンセート回収システムにおける省エネルギー改善

CSR の蒸気およびスチームコンデンセート回収システムにおいては、エネルギー診断によってボイラー排気ガス温度が高くスチームコンデンセートの回収率が低いことが明らかになった。ボイラー排気ガスの熱量は回収してボイラー給水（BFW）の温度を上げるのに用いることを提言する。この為には、BFW プレヒーターを取り付けることが必要であり、これにより既設のディアレーテッド BFW ポンプから送られてくる BFW を既設エア・プレヒーターからの排気ガスで加熱する。

スチームコンデンセートの回収率を上げる対策としては、コンデンセート・タンク、コンデンセート回収ポンプ、および関連配管によって構成されるスチームコンデンセート回収システムを設置することが推奨される。本調査で設定した条件の下では、この対策は財務的にフィージブルと考えられる。

(2) スチームトラップシステムの改善

スチーム利用設備には 64 基のスチームトラップが設置されているが、この内 31 基が吹き放し、漏れあるいは詰まりにより正常に作動していないことが判明した。吹き放しあるいは漏れのあるスチームトラップについては交換を、詰まりあるいは低温状態のトラップについては定期的な保守管理を推奨する。この対策は、財務分析の結果に基づき財務的にフィージブルであると考えられる。

(3) 断熱システムによる熱損失低減

エネルギー診断中に、直管部、バルブおよびフランジ部などで保温材が外れたままの箇所が散見された。このような箇所についても熱損失防止のために保温施工を行うことを推奨する。

(4) 蒸気制御弁における損失エネルギーの電力への回収

ボイラーの発生蒸気 50 ton/hour のうち、20 ton/hour は蒸気制御弁によって加熱用低圧

スチームの 0.5 bar まで減圧されている。試算によると、減圧による損失エネルギーを回収することによって 750 kW の電力が回収できる。もし、現在の電力料金体系が変更され TNB を経由して CSR が余剰電力を外部の需要家に供給できるようになると仮定すれば、補助的なタービンを設置し、この損失エネルギーを回収することを推奨する。

第 12 章 鉄鋼

12-1 ミニミル鉄鋼の特徴

ミニミルは製鉄プロセスの一つで、主製品は鉄筋コンクリート用鋼、線材及び形鋼、いわゆる条鋼である。

ミニミルは、製鋼工場（電気炉、取鍋精練炉、連続铸造機）、圧延工場（棒鋼工場、線材工場）の生産工場と酸素工場、圧空設備、水処理設備、受変電所、分析・検査設備、保全工場などの補助設備で構成されている。

ミニミルの全エネルギー消費量のうち 70% および電力の 80% が製鋼工場で消費されている。

電気炉における省エネルギーは、生産性向上のための努力と共に達成されてきた。その方策としては (1) ランスパイプによる酸素吹き込み及び酸素・燃料バーナーによる酸素の活用、(2) 大容量の変圧器および大型電気炉の採用、(3) 新技術の導入、例えば EBT（偏心炉底出鋼）、取鍋精練炉操業、スクラップ予熱、DC（直流）電気炉、排ガスの余熱を最も効率よく利用するツイン（双子）電気炉、(4) ロングアーク操業や泡立ちスラグ操業などの操業技術の進歩などである。現在では、DC ツイン電気炉が最も進んだ炉と考えられている。圧延工場では加熱炉において、耐火物、熱交換器、燃焼バーナー、燃焼コントロール等の改善と共にピレットのホットチャージの採用により省エネルギーがなされ、スリット（多条）圧延も生産性の向上、省エネルギーに貢献している。

12-2 鉄鋼の概要

12-2-1 一般事項

ASM はクアラルンプール西方 30km の、Bukit Raja 工業団地内にある。ASM の最初の圧延機は、1978 年に建設が完了し稼動を開始した。現在では、1 基の製鋼設備を持ち、棒鋼と線材を製造する、国内でも最大で近代的な製鉄所の一つである。

製鋼設備と棒鋼・線材設備の生産能力は、各々年間 75 万トン・90 万トンであり、棒

鋼と線材の国内需要の三分の一を供給している。1997年度における資本金は、6億7,000百万RM（約230億円）である。

12-2-2 製鉄所の概要

(1) 鋼の品質

鋼の品質は、次の通りである。

- 1) 生産量の5%は、低炭素鋼
- 2) 生産量の35%は、中炭素鋼
- 3) 生産量の60%は、鉄筋鋼

(2) 主要製品と生産量

製品は、次の通りである。

- 1) 120 - 130 mm²、長さ 5.5 - 11.5 m の角ビレット。
- 2) 10 - 40 mm 径の棒鋼と異形棒鋼
- 3) 5.5 - 30 mm 径の線材

最近5ヶ年の生産量を表12-1に示す。生産量は、年々増加している。

圧延設備の生産量が、ビレットの生産量を上回っているが、不足のビレットは、主にポーランドから輸入している。

Table 12-1 Production and Productivity for Recent Five Years

(Unit: tons per year)

No.	Product	1993		1994		1995		1996		1997	
		t/y	t/h	t/y	t/h	t/y	t/h	t/y	t/h	t/y	t/h
1	Billet	389,374	61	588,897	77	642,681	85	660,077	87	660,286	-
2	Rolling Mills										
	Rod Mill	282,890	38	303,105	53	261,771	44	321,698	53	369,464	-
	One	164,994	26	181,716	28	174,542	26	183,944	27	212,633	-
	Bar Mill One	209,640	38	257,640	41	272,168	41	284,698	45	312,972	54
	Bar Mill Two										

(3) 主原料

電気炉へ装入される主原料は、全てスクラップである。

(4) 工場レイアウト

工場のレイアウトを図 12-1 に示す。

(5) 製鋼工場

製鋼工場は次の設備を持っている。

- 1) 電気炉
1 基×85 t/h:ト (以後ヒートという言葉は、溶鋼を意味する)
炉底出鋼 (EBT)、トランス容量 80 MVA、1×マニプレーター式酸素ランス、3×ジェットバーナー
- 2) LF
1 基×85 t/h、トランス容量：33 MVA
- 3) 連铸機
1 基×6 スtrand、100 - 140 mm²、長さ 4 - 11.5 m
- 4) 1997 年のピレット生産量：660,300 トン

(6) 圧延工場

圧延工場は、次の三つの圧延機を持っている。

- 1) ロッドミル 1
再熱炉：容量 65t/h、ウォーキングビーム式、オイルバーナー
1 基×連続圧延機、粗ミル 7 スタンド・中間ミル 8 スタンド・仕上げミル 12 スタンド、シャー、レイイグヘッド、固縛設備
1997 年の線材生産量：369,500 トン
- 2) バーミル 1
再熱炉：容量 35 t/h
1 基×連続圧延機、15 スタンド、シャー、スリット圧延、冷却床
1997 年の生産量：212,600 トン
- 3) バーミル 2
再熱炉：容量 60 t/h
1 基×連続圧延機、17 スタンド、シャー、冷却床
1997 年の生産量：313,000 トン

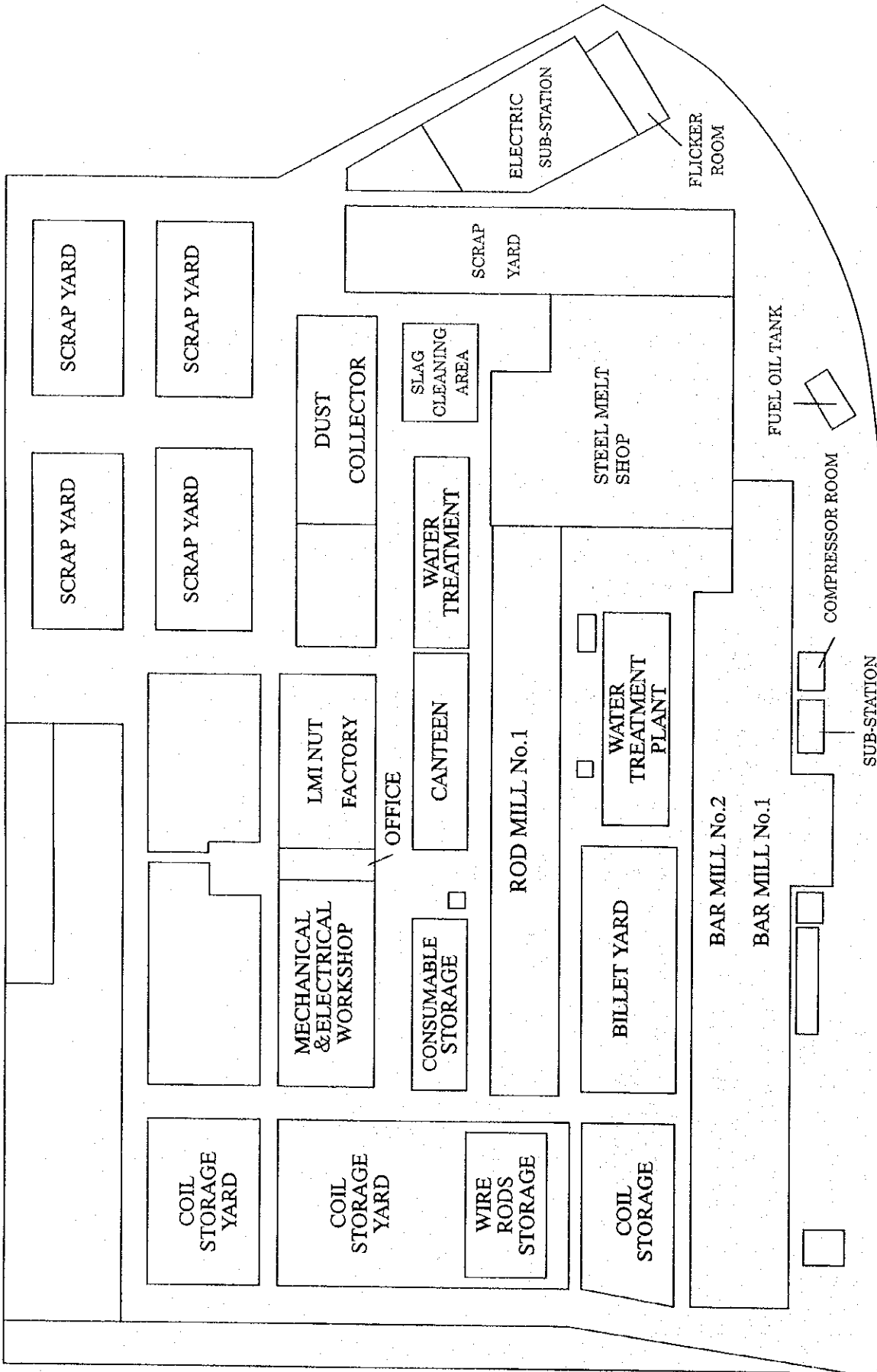


Figure 12-1 Layout of Steel Works

(7) 補助設備

上記の主要設備の他に、製鉄所には次の補助設備がある。

- 1) オープンスクラップヤード
- 2) 集塵機
- 3) 浄水場
- 4) コンプレッサー室
- 5) 変電所
- 6) 潤滑油貯蔵庫
- 7) 機械・電気修理工場
- 8) コイル置き場

(8) 生産工程

生産工程図を Figure12-2 に示す。

(9) 受電電力

- 1) 受電電圧 : 132 kV
- 2) 契約電力 : 65 MW
- 3) 力率 : 98 %

(10) エネルギー単価

- 1) 燃料油 (中重油) : 0.35 (11.93 円) RM/l
- 2) ディーゼル油 : 0.65 (22.15 円) RM/l
- 3) 電力料金 : 基本料金 16.20 (552 円) RM/kW・月
電力料料金 昼間 0.178 (6.07 円) RM/kWh
夜間 0.098 (3.34 円) RM/kWh

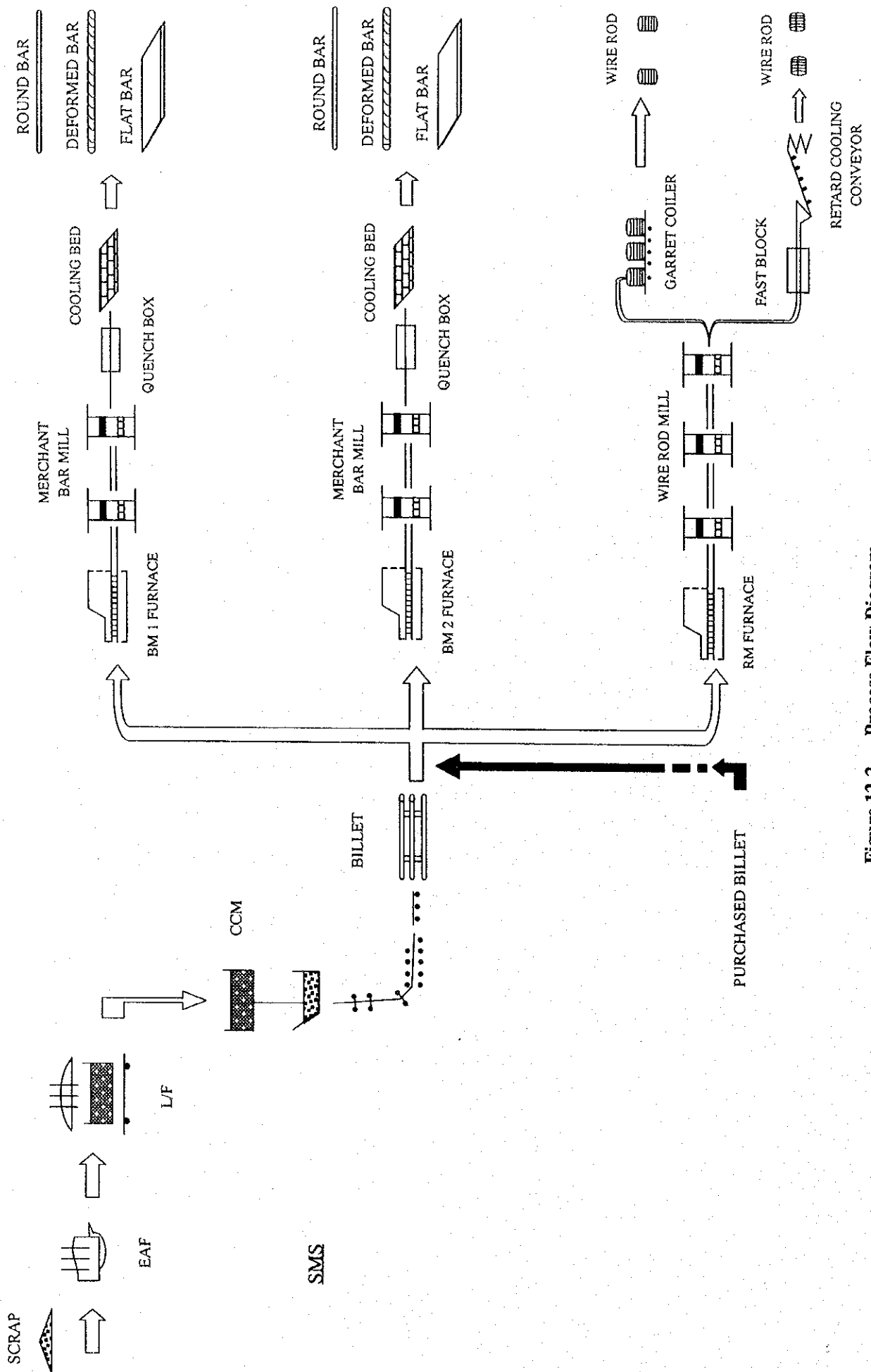


Figure 12-2 Process Flow Diagram

12-3 エネルギー消費量の推移

(1) 製鋼工場の原単位

原単位を含んだ月間の操業諸元を表 12-2 に示す。これらの表は、良好なる操業の結果を表している。TAP - TAP 53 から 64 分、電力原単位 400 から 440 kWh/t-BT、電気炉における酸素原単位 34 から 40 Nm³/t、電極原単位 2.0 から 2.6 kg/t 等である。

(2) 物質収支

1996 年の物質収支を図 12-3 に示す。

(3) 圧延工場の原単位

原単位を含んだロッドミル 1 の生産諸元を表 12-3 に示す。表は、燃料原単位 28 から 33 l/t とすばらしい内容を示している。

原単位を含んだバーミル 2 の生産諸元を表 12-4 に示す。

Table 12-2 Monthly Operating Parameters for EAF - Steel-Making Plant -

この表は ASM 社の秘密保持のため公開できません。

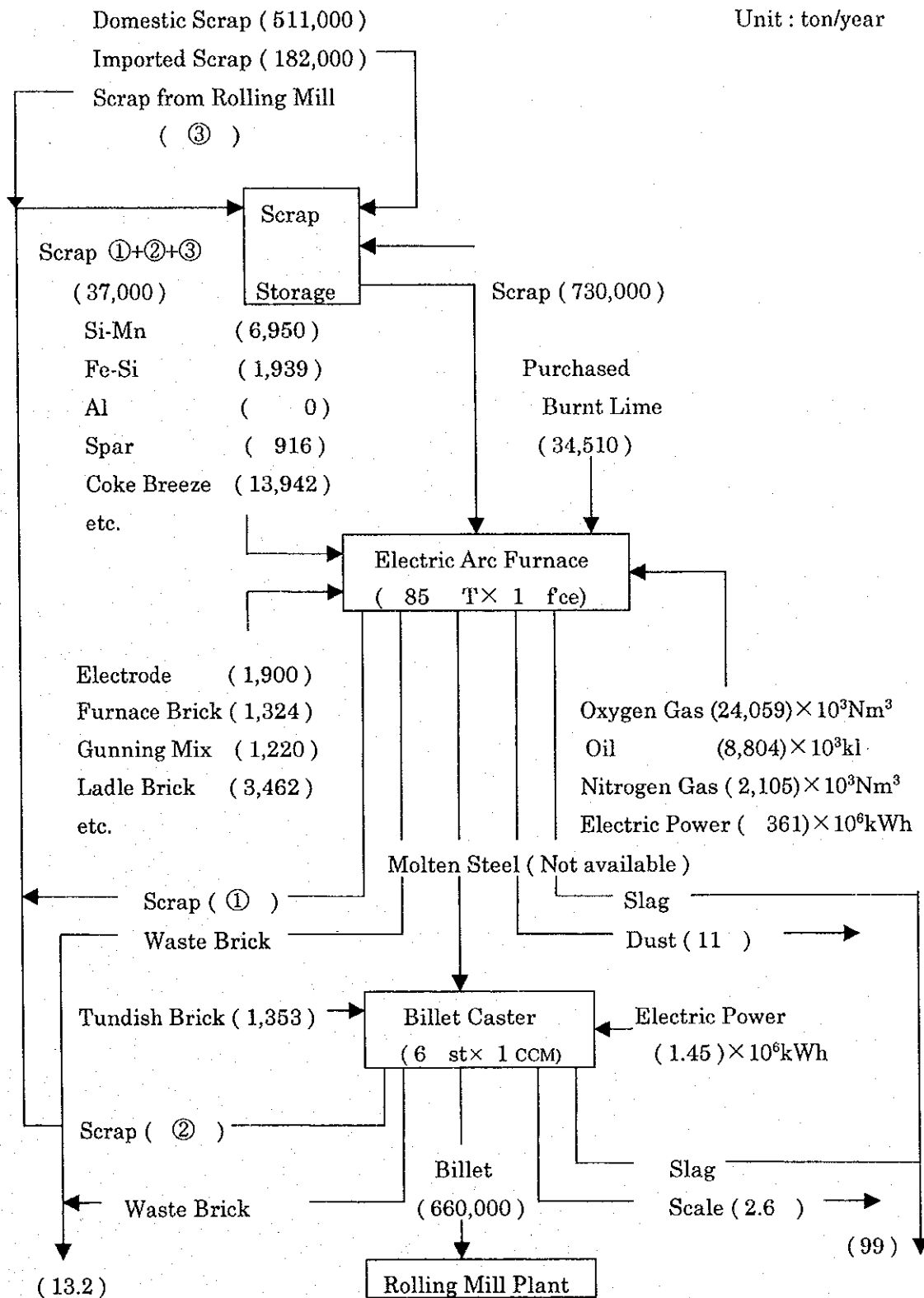


Figure 12-3 Material Balance in 1996

Table 12-3 Unit Consumption of Utilities for Recent 12-Month Period - Rod Mill 1-

Table 12-4 Unit Consumption of Utilities for Recent 12-Month Period - Bar Mill 2-

これらの表は ASM 社の秘密保持のため公開できません。

12-4 エネルギーの現状と問題点

12-4-1 エネルギー管理状況

エネルギーである電力、酸素ガス、オイルは、制御室で測定され、管理の為に操業データと共にコンピューターで日報、週報、月報、年報が作成されている。日々の操業結果については、朝会で検討されている。

12-4-2 エネルギー利用合理化の実績と計画

省エネルギー策として次の方策がとられている。

1. 電気炉への大容量トランスフォーマーの採用
2. 電気炉への高電力、ロングアーク操業の採用。溶解時間即ち製鋼時間の短縮
3. 電気炉での酸素・燃焼バーナーの使用。溶解時間の短縮、均一溶解即ちコールドスポットの除去
4. 電気炉での泡立ちスラグ溶解の実施。アーク熱の有効利用、アークのスラグによる包み込みによる炉壁損傷防止
5. 電気炉での EBT 採用。製鋼時間の短縮及び熱損失防止
6. 取鍋精練炉の採用。電気炉の機能である溶解および精練を、取鍋精練炉に精練機能を、電気炉に溶解機能を、役割を分ける事による生産能率向上
7. 低インピーダンス電極保持アームの採用による、電力効率の向上
8. 安定操業維持の為に、高級鋼に対する Ca-Si 吹き込み
9. スリット圧延の採用。生産性向上及び省エネルギー
10. 加熱炉の排ガスによる燃焼用空気の予熱、燃料オイルの加熱

ASM は、一連の設備容量アップおよび最新技術の採用により生産性を向上させてきている。製鋼時間は 54 から 66 分に短縮されており、その結果電力原単位は溶鋼トン当たり 420kWh に向上した。

12-5 設備の現状と問題点

12-5-1 現状の問題点の認識

(1) 主要エネルギー消費設備の問題点

12-4-2 に述べたように、ASM は創業開始以来生産量の拡大とともに最新の技術の導入を普段に進めてきた。その結果、ASM は優れた操業を達成しているが、下記の項目においては改善が期待できる。

1. 電気炉の電力使用量
操業改善を行うことにより、若干の電力使用量低減が可能である。
2. 蓄熱バーナの鋼材加熱炉への導入
熱回収率向上による燃料油消費量の削減が可能である。
3. 熱片装入
熱鑄片装入による、燃料油使用量の削減が可能である。
4. 毛布状セラミックスの加熱炉内壁への上張り
加熱炉炉壁からの放散熱削減による燃料油使用量の削減が可能である。
5. 鋼材加熱炉抽出温度のバラツキ削減
操業改善により、燃料油の削減が可能である。
6. 空燃比の改善
酸素濃度計の復旧により、空燃比の低減が可能である。

(2) 工場側が認識している問題点と、調査希望項目

1. ASM は、電気炉の電力消費量を 420kWh/t から 350kWh/t に削減することを考えている。
2. ASM は、取鍋精錬炉とシュレッダー工場の電力消費量削減を考えている。
3. ASM は、下記の項目の調査を希望した。
 - a. 電気炉と取鍋精錬炉の電圧変動調査
 - b. 電気炉と取鍋精錬炉の高力率の原因調査
 - c. 構内変電所から電気炉及び取鍋精錬炉までの高電力損失調査

(3) 省エネルギー診断の重点項目及び重点箇所

JICA チームは、下記の理由を考慮して、省エネルギー診断の重点項目として鋼材加熱炉の熱精算測定と電力測定とする事を決定した。

1. 第 12-4-2 節で述べたように、電気炉には既に多くの省エネルギー対策設備が導入されている。
2. 未実施の省エネルギー設備であるスクラップ予熱装置は、有効ではあるが、

近年判明した有害なダイオキシン発生問題の故に推奨できる設備ではない。
それゆえ、新設備導入による省エネルギー推進策は見当たらない。

3. ASM の製造品種構成は、単純でないので、目標としている 350kWh/t は適切でない。
4. 鋼材加熱炉の省エネルギー問題については、改善の余地がある。
5. ASM から具体的に提案された項目は、電力項目である。

12-6 エネルギー診断の方法

省エネルギー診断の作業は、操業月報値の解析を行い、更に、月報値を確認し必要なデータを収集する現地における計測及び観察の実施する事により成り立っている。操業月報値の収集は、面接により行われ、現地における工場操業測定はこの項 12-6 の記述により実施された。

12-6-1 エネルギー診断の方法の概要

省エネルギー対象設備の選定のために、操業月報値の面接調査を、'98 年 3 月及び'98 年 6 月に行った。

この予備調査により、省エネルギー診断対象設備の選定が合意され、線材圧延工場の鋼材加熱炉が実地調査対象設備に選定された。

電気炉の省エネルギー実地調査を回避した理由は、下記の通りである。

- (1) ASM 社製鋼工場は、既に下記に例示する最新の装置及び対策を導入済みである。
- (2) 電気炉の熱精算データの計測個所は、1,000℃以上の高温で腐食性のガスであり、頻繁に熱電対を交換する必要がある。また、電気炉計測の実施時間は連続する 3 ヒート以上であり、計測の所要人員も 6 人以上の冶金計測の熟練者が必要である。そして、炉内発生 of 燃焼熱量の評価については、溶融浴内で発生したのか、炉内の上方空間で発生したのか、燃焼チャンバー内で発生したのか議論が必要である。

一方、線材圧延工場の鋼材加熱炉は、製鋼工場の連続鑄造機と接した位置にあって、熱ピレット装入を容易に採用できる。熱ピレット装入は、理想的には 30% 以上の省エネルギーが可能である。

結論として、線材圧延工場の鋼材加熱炉を測定、解析し診断すること、及び電気炉の操業観察を操業月報データ解析より取りまとめて討論することとが、省エネルギー診断項目とされた。

12-6-2 測定項目・測定個所・測定機器

JICA チームが省エネルギー診断の対象として測定する線材圧延工場の鋼材加熱炉、及びASM社の要望で測定する電力測定について、下記の項目について測定した。

原則として、工場運営用のデータがある場合は、データはその工場設置計器計測値を採用し、それ以外はJICAメンバーが測定した。

(1) 鋼材加熱炉の測定項目・測定個所・測定機器

鋼材加熱炉の測定項目と測定個所は、図12-4に図示した。

測定実施時期は、計画週間停止後の、1直時、4直時及び5直時とした。

(2) 電気計測の測定項目・測定個所・測定機器

1) 測定項目

1. 電力
2. 電圧
3. 電流
4. 力率

2) 測定個所

測定個所は、図12-5に図示した。

測定項目・測定個所・測定機器の詳細は、表12-5に記載した。

REHEATING FURNACE: TEMPERATURE MEASUREING POINTS

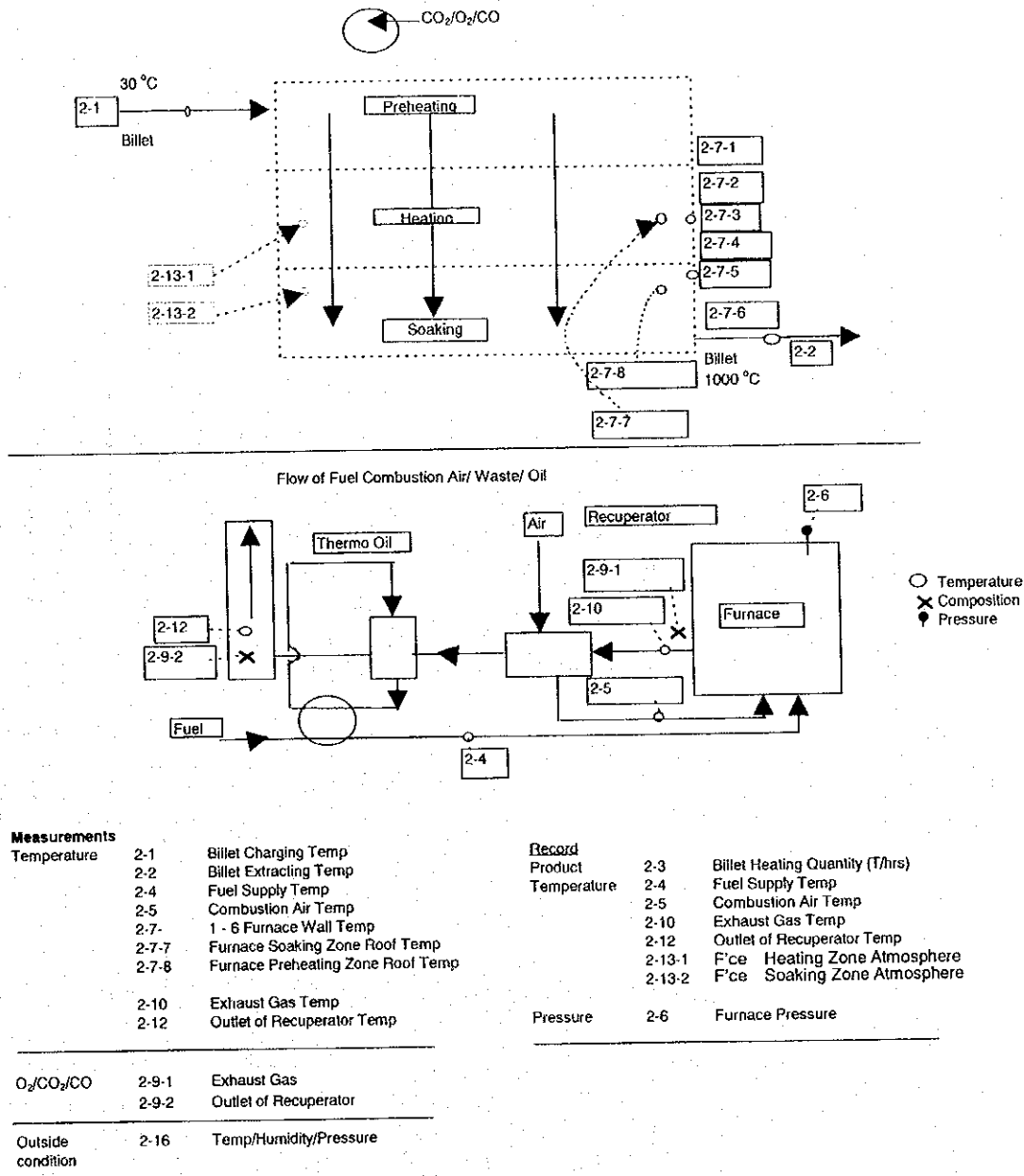
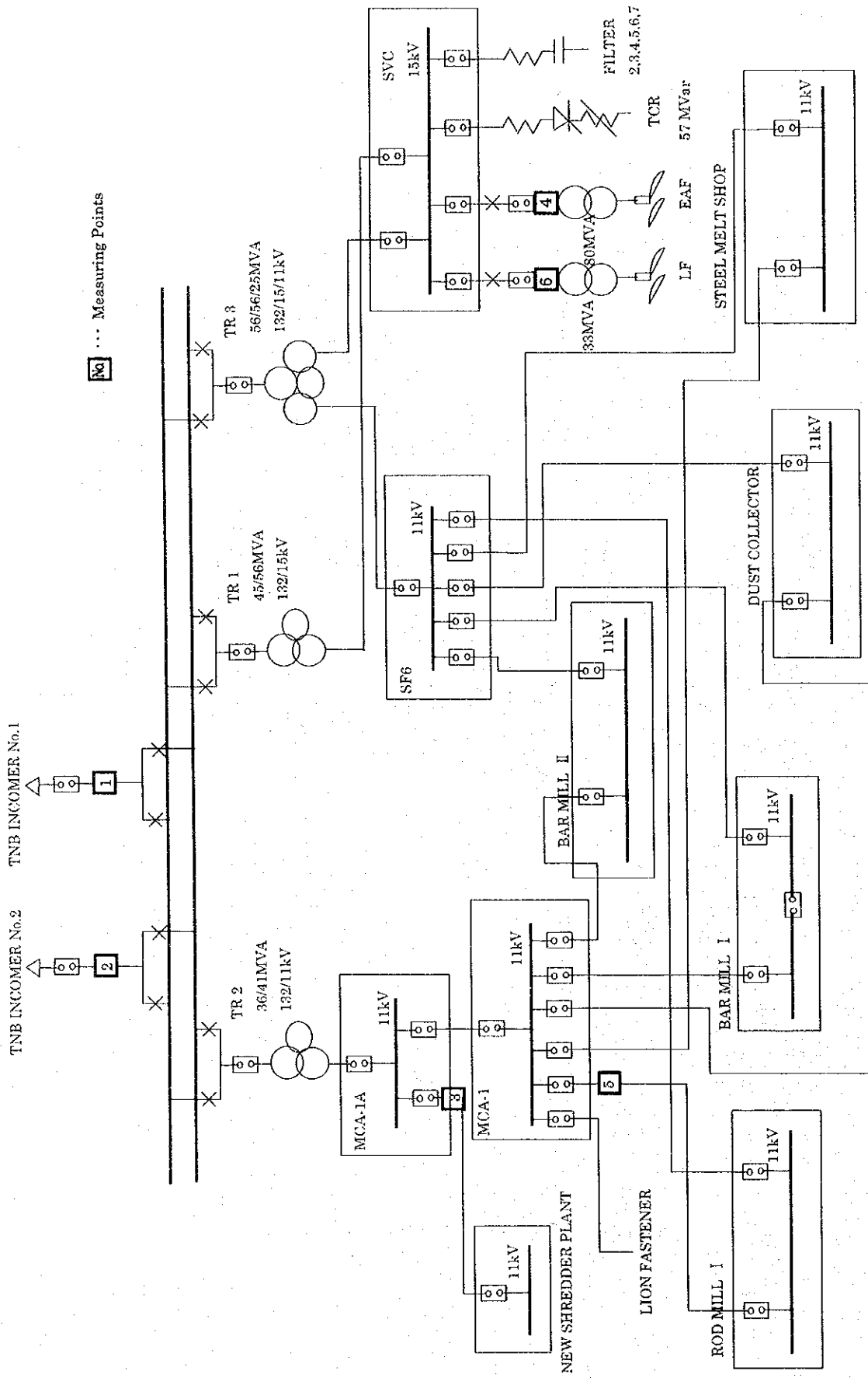


Figure 12-4 Measuring Items and Points



□ ... Measuring Points

Figure 12-5 Single Line Diagram

Table 12-5 (1) Outline of Measurements for Energy Audit (ASM)

Major Items of Energy Audit & Subject Items and Points	Measurement or Estimate	Available Equipment for Measurement			
		Required Equipment	ASM	JICA	Local Labo.
1. Electrical Power Receiving & Distribution					
1) Voltage	M	Clamp on Power Hitester		x	
2) Electrical Current	M	ditto		x	
3) Electricity	M	ditto		x	
4) Power Factor	M	ditto		x	
2. Measurement around the Reheating Furnace					
(1) Billet					
1) Charging Amount	M	Weigher or Ope. Record	x		
2) Charging Temperature	M	Radiant Pyrometer(Low)		x	
3) Extracting Temperature	M	Radiant Pyrometer(High)		x	
4) Extracting Amount	M	Weigher or Ope. Record	x		
5) Heating Time	M	Clock	x		
6) Scale Loss	M	Weigher or Ope. Record	x		
(2) Fuel Oil					
1) Flow Rate	M	Operation record & Data	x		
2) Composition (C, H, N, O, S, Moisture)	M	C, H, N Analyzer etc.			x
3) Heating Value	Review	Supplier's data sheet	x		
4) Supply Temperature	M	Operation record & Data	x		
5) Flow Rate of Each Zone	M	ditto	x		
(3) Combustion Air					
1) Temperature	M	Operation record & Data	x		
2) Flow Rate of Each Zone	M	ditto	x		
3) Air-fuel Ratio of Each Zone	M	ditto	x		
(4) Reheating Furnace					
1) Temperature of Each Zone	M	Operation record & Data	x		
2) Furnace Pressure	M	ditto	x		
3) Wall Temperature	M	Thermoelectric pyrometer:K		x	

Table 12-5 (2) Outline of Measurements for Energy Audit (ASM)

Major Items of Energy Audit & Subject Items and Points	Measurement or Estimate	Available Equipment for Measurement			
		Required Equipment	ASM	JICA	Local Labo.
(5) Combustion Exhaust Gas					
1) Temperature	M	Operation record & Data	x		
2) Composition of Exhaust Gas (CO, CO ₂ , O ₂)	M	CO, CO ₂ Content meter Oxygen Content meter		x x	
3) Inlet Temp. of Recuperator	M	Operation record & Data	x		
4) Outlet Temp. of Recuperator	M	ditto	x		
(6) Outside Air Temperature	M	Temperature Humidity Pressure Recorder		x	
(7) Humidity	M			x	

12-7 測定の結果

12-7-1 加熱炉測定結果と熱精算

(1) 測定結果

表 12-7 に測定結果とその関連の操業データを示した。

公称能力と比較すると、実績の操業能率は公称の 1/3 から 1/4 の低さであった。

週間定期修理の効果を考慮すると、測定したデータは 3 つの異なった類型に層別され、定期修理後の最初の直は冷却されていた炉の熱付加を必要とする時期、4 直目は異常に炉壁温度が高かった時期、そして 5 直目は炉壁温度が低下した時期である。

(2) 鋼材加熱炉の熱精算

測定したデータに基づいて、3 つの熱精算表を作成した。表 12-7 に熱精算表の概要を示す。

Table 12-6 Results of Reheating Furnace Measurement

Measurement	Item	No.	DATE	08/10/98				09/10/98				
			TIME	10:00	12:00	14:30	16:00		10:00	12:00	15:00	16:00
FURNACE	TEMPERATURE	°C	2-1					30	30	31	33	33
			2-2					1,030	1,039	1,050	1,078	1,097
			2-4				93	97	102	96	96	95
			2-5				293	237	300	256	296	310
			2-7-1	76	78	83	85		101	90	88	87
			2-7-2	96	104	111	116		132	102	100	100
			2-7-3	106	112	122	127		160	115	115	116
			2-7-4	85	89	93	96		121	95	95	95
			2-7-5	124	132	142	149		182	130	130	130
			2-7-6	119	131	144	149		179	130	135	135
			2-7-7	127	134	145	158		173	100	101	107
			2-7-8	152	170	187	195		206	138	138	140
			2-10				542		548	555	617	618
			2-12				220		240	215	242	229
			2-13-1					760		834	961	942
2-13-2					1,060		1,080	1,135	1,157			
	PRESSUR	mm water	2-6				0.36	0.3	0.38	0.78	0.73	
	O ₂ /CO ₂ /CO	%/%/ppm	2-9-1			11.6/ 6.8/ 1	4.4/ 12.3/ 2		4.4/ 12.3/ 2			
				2-9-2			17.6/ 2.5/ 0	15/ 4.4/ 0		15/ 4.4/ 0		
	Billet Quantity	T/hr	2-3				30		30.3			
	Fuel	kg/hr				20.16			870			
	Used	kg/T				891			28.7			
OUTSIDE CONDI- TION	Temp	°C	2-16			44.2		29	31	33	32	
	Humidity	%						70	59	54	56	
	Pressure	mm Hg						760				

(3) 熱精算に見られる特徴

3つの時期の測定データの内、炉壁温度の安定した5直目のデータがASM社の代表的な操業状態だと考える。

この安定した時期の状況を、日本の状況と比較して、下記のことがいえる。

1. 燃料原単位は 28.7kg/t (271.6x10³kcal/t) であって、良好である。1996年のNEDO調査時の改善見通し (304 - 29 = 275 x10³kcal/t) を達成しており、ASM社は優秀な操業を維持している。
2. 空燃比は、1.25 であって、優秀なレベルを実現している。
3. 炉内圧は 0.3~0.8mmH₂O で、炉内圧の制御は、優良なレベルである。炉サイドの

装入口及び抽出口において、微弱な正圧である。

4. レキュペレーターの熱回収率は、41%であって、有効に機能している。
5. レキュペレーターの入口温度は 618℃であり、高温用の高効率レキュペレーターを導入する意義は無い。
6. レキュペレーター内部の燃焼空気漏れは、21%程度であり、それほど大きいレベルではない (Annex-3)。
7. 抽出温度のバラツキが 60℃あり、現状の下限の温度での抽出に変更することによる省エネルギーが考えられる。
8. 装入温度は、ヒアリングデータでは 300℃であったが、測定時には常温であった。
9. 炉壁の温度は、定期修理後の立ち上がり時に高温 (天井温度で 206℃) になるが、5th シフトでは 139℃まで低下する。しかし依然高温である。

この燃料原単位の良好な実績は、日本における経験において、炉床加熱負荷が 300kg/hr・m² 付近で最小値が実現するという事と良く一致する。(ASM 設計値で、60,000/(17.2x12.5)=270kg/hr・m²、測定値実績で 150 kg/hr・m²)

Table 12-7 Summary of Heat balance Calculation

Shift			1st Shift	4th Shift	5th Shift
Productivity		t/hr	20.2	30.3	30.3
Total Energy Consumption		10 ³ kcal/t	504.7	319.2	319.0
Combustion Heat Unit consumption		10 ³ kcal/t	422.0	271.6	271.6
Input	Combustion Heat of Fuel	%	83.6	85.1	85.1
	Sensible Heat of Fuel	%	0.3	0.3	0.3
	Sensible Heat of Combustion Air	%	13.5	10.4	10.4
	Heat Content of Charged Steel	%	0	0	0
	Heat of Formation of Slag	%	2.7	4.2	4.2
Output	Heat Content of extracted Steel	%	32.3	51.6	53.8
	Sensible Heat of Scale	%	0.6	0.9	0.9
	Sensible Heat of Waste Gas	%	36.7	22.6	25.5
	Heat Loss from Furnace Body	%	4.9	6.2	6.0
	Other Heat Loss	%	25.5	18.7	13.8
Remarks	Waste Gas Temperature (Rec. Inlet)	℃	542	548	618
	Roof Temperature (Soaking Zone)	℃	175	206	139
	O ₂ /CO ₂ Content (Rec. Inlet)	%/%	11.6/6.8	4.4/12.3	4.4/12.3
	Air/Fuel Ratio	-	2.15	1.25	1.25

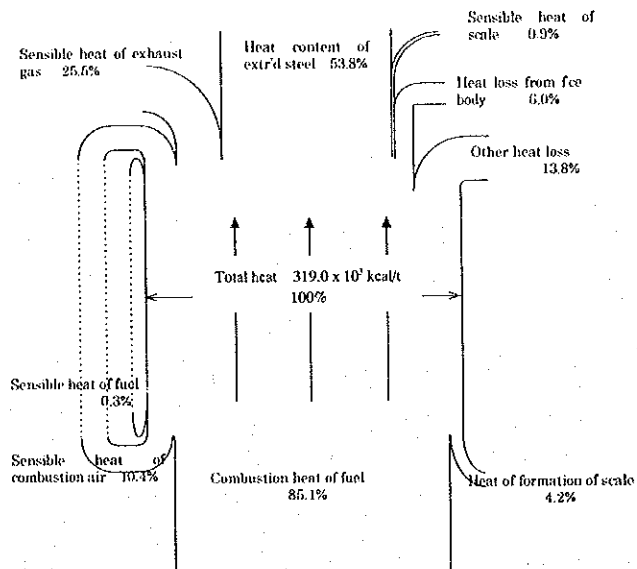


Figure 12-6 Heat Balance of 5th Shift

12-7-2 電力測定結果

(1) 単線結線図

図 12-5 に ASM 社の単線結線図を示した。TNB からの 2 系統の 132kv 電力引き込み線がある。主変圧器は 3 基ある。それらの容量は 46/56MVA、36/41MVA 及び 56/56/25MVA であり、2 次側電圧は電気炉及び取鍋精錬炉用が 15kv、その他用が 11kv である。測定点の位置は、図 12-5 中に口囲み数字 1 から 6 で示した。電気炉向けの 15kv ブスバーに、自動無効電力補償装置と高調波フィルターとが設置されている。

(2) 受電点での電力消費量測定

表 12-8 に、受電点 1 での電力消費量の経時データを示した。10 月 10 日の全電力消費量は 1,440kWh/d であった。TNB 料金体系において、ピーク時間帯の電力消費量は 815MWh/d、オフピーク時間帯の電力消費量は 625MWh/d であった。夜間率は 43.4% であった。この値は 24 時間操業の工場としては妥当な値である（夜間率=オフピーク消費量/全消費量×100）。

最大デマンドと最小デマンド（30 分値）は 78.24MW と 41.5MMW であり、平均デマンドは 59.99MW であった。

負荷率は 76.7% であった。この数値は良好であるが、最大デマンドを低下させる事に

負荷率は 76.7%であった。この数値は良好であるが、最大デマンドを低下させる事により、この値を増加させることが望ましい。

(負荷率=平均デマンド/最大デマンド×100=59.99/78.24×100=76.7%)

(3) 受電点での電力測定

1) 電圧

最大電圧は 138.9kV であり、最小電圧は 132.2kV であった。

電圧変動率は 5.1%であった。この数値は、電圧の変動は比較的小さいことを示している。

$$\begin{aligned} \text{[電圧変動率} &= (\text{最大電圧} - \text{最小電圧}) / \text{最小電圧} \times 100 \\ &= (138.9 - 132.2) / 132.2 \times 100 = 5.1\% \text{]} \end{aligned}$$

2) 電力及び力率

力率は 0.950 から 0.995 の範囲であり、平均値は 0.972 であった。これら 2つの数値は、電力デマンドが高い時には力率は低く、電力デマンドが低いときには力率は高いことを示している。

(4) 電気炉計測データ

1. 電圧は 27.20kV から 32.25kV の範囲にある。電圧変動率は 18.6%であった。この数値は小さくはないが、問題になるものではない。なぜならば、前述の如く、受電点での電圧変動率が±2.55%だからである。

$$\text{[電圧変動率} = (32.25 - 27.20) / 27.20 \times 100 = 18.6\% \text{]}$$

2. 最高電力デマンドは 56.8MW であり、10月10日における電力消費量は 872,404kWh/d であった。操業時の力率は 0.763 から 0.902 の範囲であり、平均値は 0.818 であった。このことは、実績において力率が 0.85 以上の時間は少ないことを示している。それゆえ、力率が高すぎるとは言い難い。
3. 10月10日の全溶解量は 2,197 トンであった。それゆえ、電力原単位は 397kWh/t であった。

(5) 取鋼精錬炉計測データ

1. 最大電力は 12.3MW であり、測定期間中の電力使用量は 99,635kWh であった。操業時の力率は 0.512 から 0.841 の範囲であり、平均値は 0.785 であった。
2. 全溶解量は 2,056 トンであった。それゆえ、電力原単位は 48.5kWh/t であった。

Table 12-8 Electricity Consumption for Incomer No.1 (Oct. 10)

DATE	TIME	Voltage [kV]				Current [A]				Effective Power [MWh/h]	Frequency [Hz]	Power Factor
		V1	V2	V3	Ave.	I1	I2	I3	Ave.			
10/10	0:30	138.8	138.7	138.9	138.8	171.7	181.3	179.6	177.6	36.78	50.11	0.971
10/10	1:00	134.0	134.9	135.0	134.6	199.2	197.6	204.2	200.4	24.80	49.99	0.971
10/10	1:30	137.5	137.6	137.8	137.6	186.5	190.0	191.1	189.2	39.32	50.00	0.951
10/10	2:00	138.1	138.1	138.6	138.2	179.9	171.5	182.9	178.1	23.20	49.98	0.967
10/10	2:30	137.2	137.5	137.6	137.5	66.5	67.1	68.1	67.2	38.16	49.99	0.967
10/10	3:00	134.4	133.8	135.2	134.5	250.5	241.3	211.7	234.5	28.72	50.02	0.950
10/10	3:30	138.3	137.1	136.7	137.4	72.1	117.4	94.9	94.8	29.18	50.08	0.971
10/10	4:00	133.1	133.6	134.9	133.9	202.8	187.9	200.3	197.0	36.18	50.08	0.964
10/10	4:30	136.5	137.2	136.6	136.8	162.0	177.7	202.2	180.7	31.26	49.95	0.961
10/10	5:00	134.6	134.5	134.2	134.4	182.8	198.4	200.7	194.0	36.44	49.83	0.961
10/10	5:30	133.4	132.7	133.8	133.3	200.8	213.5	183.3	199.2	27.82	49.98	0.967
10/10	6:00	133.9	133.6	133.3	133.6	141.5	189.8	172.1	167.8	31.84	49.94	0.963
10/10	6:30	135.5	135.8	135.6	135.7	178.5	188.5	199.8	188.9	37.62	49.96	0.967
10/10	7:00	138.5	138.3	138.5	138.5	0.0	0.0	0.0	0.0	26.74	50.04	0.970
10/10	7:30	138.8	138.5	138.7	138.6	0.0	0.0	0.0	0.0	32.12	50.06	0.976
10/10	8:00	133.7	134.4	133.5	133.9	206.0	202.8	236.2	215.0	26.12	50.03	0.965
10/10	8:30	135.7	135.1	135.5	135.4	158.5	172.7	158.5	163.3	31.84	50.04	0.962
10/10	9:00	132.6	132.6	132.4	132.5	224.9	229.8	239.8	231.5	24.04	49.93	0.971
10/10	9:30	135.7	135.4	135.7	135.6	0.0	0.0	0.0	0.0	29.94	49.92	0.977
10/10	10:00	133.7	133.3	133.9	133.7	179.2	182.4	172.4	178.0	36.26	49.94	0.957
10/10	10:30	132.9	133.0	133.4	133.1	191.3	179.1	191.5	187.3	31.08	49.94	0.963
10/10	11:00	136.0	136.3	136.2	136.2	148.7	154.1	172.5	158.4	33.62	49.96	0.953
10/10	11:30	136.0	136.8	135.5	136.1	127.5	173.5	197.1	166.0	28.08	49.80	0.979
10/10	12:00	136.3	136.1	136.4	136.3	0.0	0.0	0.0	0.0	29.46	49.96	0.995
10/10	12:30	137.2	137.2	137.2	137.2	118.4	140.0	130.0	129.5	25.18	49.93	0.984
10/10	13:00	137.1	136.9	137.2	137.1	37.5	38.1	39.8	38.5	29.22	50.06	0.995
10/10	13:30	137.1	136.9	137.3	137.1	136.3	131.4	139.7	135.8	30.50	49.96	0.986
10/10	14:00	135.4	134.9	136.4	135.5	203.3	175.8	162.9	180.6	27.72	50.05	0.991
10/10	14:30	135.7	135.5	135.5	135.5	144.6	166.8	156.1	155.8	34.22	49.98	0.984
10/10	15:00	136.8	136.3	136.8	136.6	157.2	159.0	149.3	155.2	24.80	50.02	0.976
10/10	15:30	135.9	135.8	135.9	135.8	140.7	152.2	154.4	149.1	29.92	49.94	0.976
10/10	16:00	136.9	136.6	136.9	136.8	52.8	54.6	54.1	53.8	25.10	49.98	0.985
10/10	16:30	137.0	136.8	137.0	136.9	39.8	40.4	41.9	40.7	33.10	50.04	0.975
10/10	17:00	136.4	136.4	137.1	136.6	195.7	172.6	188.0	185.4	29.68	50.03	0.973
10/10	17:30	135.7	136.3	135.1	135.7	166.8	182.4	219.0	189.4	30.60	50.02	0.980
10/10	18:00	136.6	136.3	136.6	136.5	60.9	62.2	63.2	62.1	20.58	50.03	0.985
10/10	18:30	135.4	134.5	134.7	134.9	158.4	183.3	153.0	164.9	22.96	50.08	0.980
10/10	19:00	134.1	134.2	135.1	134.5	124.9	99.2	102.8	109.0	22.82	50.01	0.979
10/10	19:30	134.9	134.8	134.8	134.8	157.1	172.1	169.0	166.1	34.04	49.96	0.974
10/10	20:00	134.2	134.5	135.0	134.6	172.2	155.3	167.7	165.1	29.62	49.98	0.976
10/10	20:30	134.3	134.7	135.3	134.8	179.5	151.4	175.5	168.8	34.08	50.02	0.968
10/10	21:00	135.1	135.4	134.4	135.0	152.2	209.0	201.9	187.7	25.50	49.97	0.968
10/10	21:30	134.0	134.3	135.0	134.4	184.0	158.4	178.5	173.6	29.26	50.01	0.983
10/10	22:00	136.8	136.7	137.3	137.0	160.6	149.3	156.9	155.6	34.90	49.94	0.962
10/10	22:30	133.6	133.8	134.4	133.9	165.9	155.3	165.7	162.3	27.50	49.90	0.975
10/10	23:00	134.5	134.5	134.9	134.6	180.0	190.4	173.6	181.4	33.90	50.09	0.974
10/10	23:30	133.1	133.1	133.5	133.2	177.6	190.0	183.7	183.8	23.92	50.00	0.980
10/10	0:00	137.2	137.2	137.4	137.3	59.3	60.2	62.0	60.5	35.62	50.04	0.980

(6) 新シュレッダー工場計測データ

1. 最高電力デマンドは 4,234kW であった。操業中の電力消費量は 16,693kWh であった。操業中の力率は 0.492 から 0.949 の範囲であり、平均値は 0.656 であった。
2. シュレッダーの処理量は 390 トンであったので、電力原単位は 42.8kWh/t であった。
3. 電力原単位が高い理由は、生産能率が低い (56t/h = 390 t/7h) からである。高い生産能率で操業する必要がある、そうすれば電力原単位は 35kWh/t に減少するであろう。
4. 工場が停止中の電力消費が 35kWh/h ある。このことは、年間 204,400kWh の損失を意味するので、この損失の原因調査をし削減することが望まれる。
(204,400[kWh/年] = 35[kWh/h] × 16[h/日] × 365[日/年])

(7) 線材工場 I 計測データ

1. 電圧は比較的安定していた。電圧は 10.70kV から 11.32kV の範囲にあった。電圧変動率は 5.8% であった。これは受電点の数値とほとんど一致していた。
[電圧変動率 = (11.32 - 10.70) / 10.70 × 100 = 5.8%]
2. 電力値は 2.70MW から 4.93MW の範囲であり、力率は 0.593 から 1.000 の範囲であり、平均値は 0.762 であった。図によれば、電力値が高い時に力率は低く、電力値が低いとき力率は高い。

(8) 電気炉と取鍋精錬炉の力率

上述のように、電気炉と取鍋精錬炉の力率は、10月10日においてそれぞれ0.818と0.785であった。以下に、力率改善について考察する。

1) 前提条件

(a) 電源ケーブル仕様

- a) 受電ステーション-電気炉: $3 \times 5 \times 630\text{mmsq}$ (0.0308 Ω/km)、200m
- b) 受電ステーション-取鍋精錬炉: $3 \times 2 \times 240\text{mmsq}$ (0.0739 Ω/km)、250m

(b) 10月10日電力状況

- a) 電気炉平均電力: 36.4MW
- b) 取鍋精錬炉平均電力: 4.2MW
- c) 電気炉平均電流: 1,713A (= $36.4\text{MW} / \sqrt{3} \times 15\text{kV} \times 0.818$)
- d) 取鍋精錬炉平均電流: 206A (= $4.2\text{MW} / \sqrt{3} \times 15\text{kV} \times 0.785$)

2) 1%改善時の省エネルギー効果

(a) 改善後の電流値

- a) 電気炉： $1,692\text{A} (= 36.4\text{MW}/\sqrt{3} \times 15\text{kV} \times 0.828)$
 b) 取鍋精錬炉： $203\text{A} (= 4.2\text{MW}/\sqrt{3} \times 15\text{kV} \times 0.795)$
 (b) 電力削減量
 a) 電気炉： $0.0308\ \Omega/\text{km} \times \{(1,713/5)^2 - (1,692/5)^2\} \times 3 \times 5 \times 200\text{m}/1,000\text{m}$
 $= 264\text{w} = 0.26\ \text{kW}$
 b) 取鍋精錬炉： $0.0739\ \Omega/\text{km} \times \{(206/2)^2 - (203/2)^2\} \times 3 \times 5 \times 250\text{m}/1,000\text{m}$
 $= 34\text{w} = 0.03\ \text{kW}$

3) 結論

上記のように、力率を改善した場合の省電力効果は非常に小さい。したがって、力率改善による電力損失の低減は、経済的理由で困難である。

また、受電ステーションから電気炉及び取鍋精錬炉までの電力損失は、下記の通りである。

電気炉： $0.0308\ \Omega/\text{km} \times (1,713/5)^2 \times 3 \times 5 \times 200\text{m}/1,000\text{m} = 10,845\text{w} \doteq 11\ \text{kW}$
 取鍋精錬炉： $0.0739\ \Omega/\text{km} \times (206/2)^2 \times 3 \times 5 \times 250\text{m}/1,000\text{m} = 1,176\text{w} \doteq 1.2\ \text{kW}$

この数値の意味は、受電ステーションと電気炉及び取鍋精錬炉の間の電力損失は、非常に少ないことを示している。

12-7-3 日本の操業データとの比較による電気炉の省エネルギーの期待値

日本における同様なプロダクトミックスの工場の電力原単位と ASM 社実績を比較すると、今後 15-20kwh/t-ピレットの改善が期待できる。

省エネルギーの診断において、電気炉のヒートバランスの測定が奨められることがあるが、工場の経理データによる操業の諸元でも大要は把握できるので、今回の診断は実施しない。

(1) 電気炉の省エネルギーの可能性の推定値

1) 改善の推定値

電力原単位とピレット歩留の改善期待値と、そのための加炭材使用増量とを、日本の一般的な操業データと ASM 社のデータとの対比により推定した結果、前提になるスクラップの状況等が不明瞭であるが、下表のように推定した。酸素使用法を変更し、加炭材を使用増することにより、現状と同一の酸素使用原単位で、歩留まりを維持して、電力原単位の改善が期待できると推定した。

Table 12-9 Expected Unit Consumption of EAF

		Unit	Present data	Improvement	Expected value	Effect
1	Electric power	kWh/t	415	-	400 or less	15 or more
2	Yield	%(Billet/charge)	91.0	-	0	
3	Oxygen	Nm ³ /t	35	Standard		
4	Coke breeze	kg/t	Standard	Slight increase		
5	Oxygen lance	kg/t	N.A	Slight increase		
6	Hearth material	kg/t	N.A	Slight increase		

(2) 推定の経緯

1) 判断の基礎資料

- (a) 日本の複数の工場の実績値が示す関係を基準に、ASM 社の諸元を照らし合わせて、省エネルギーの可能性を判断した。

操業比較を同一条件下とする方法は、下記によった。

1. 酸素使用原単位に対する諸元の依存性を実績で判断し、ASM 社の標準的な酸素原単位 35Nm³/t-ビレットにおいて推定した。
2. 品種構成 (ASM 社において低炭素鋼 5%、中炭素鋼 35%、鉄筋用棒鋼 60%) を配慮して、日本の量産鋼製造工場と高級鋼製造工場の双方を合成したレベルと考えた。
3. スクラップ (ASM 社は諸国からの輸入が 20%と高く、そのロットは船単位で大きい、仕訳けは細やかでない) の購入時の仕訳けが細やかでない想定されること、及び ASM 社の屋内ヤードが混雑すること (屋内ヤードにプレスと剪断機が設置されていて輸送量が多いこと、53 分/ヒート * 2 バケット/ヒートの高率操業であること) から、スクラップ原因の混乱が日本の優良量産工場の実体より悪いレベルにあると考えた。

- (b) 日本の状況としては、非公開の入手資料 (日本鉄鋼連盟発行資料) を基礎資料として層別した。

対象期間は 1996 年 7 月から 1997 年 6 月までとし、月報値データを各 1 点、合計 240 点のデータを使用した。

- (c) ASM 社の諸元は、1996 年 7 月から 1997 年 6 月までの月報値 12 点とした。

2) 日本の事業所の層別した特徴

- (a) 入手資料の諸元を整理して、表 12-10 に示した 7 工場を高級鋼製造工場と層別し、4 工場を特殊スクラップ工場と層別し、残りの工場を量産工場とした。

- (b) 酸素原単位と電力原単位の関係を図 12-7 に示す。酸素原単位の増加により電力原単位が減少する。ASM 社の傾向は不自然である。スクラップの大きな改善、例えば 1996 年から 1997 年にかけて、スクラップ中の酸化物含有量の減少のようなことがあったのではなからうか。

3) 電力原単位の省エネルギー期待値

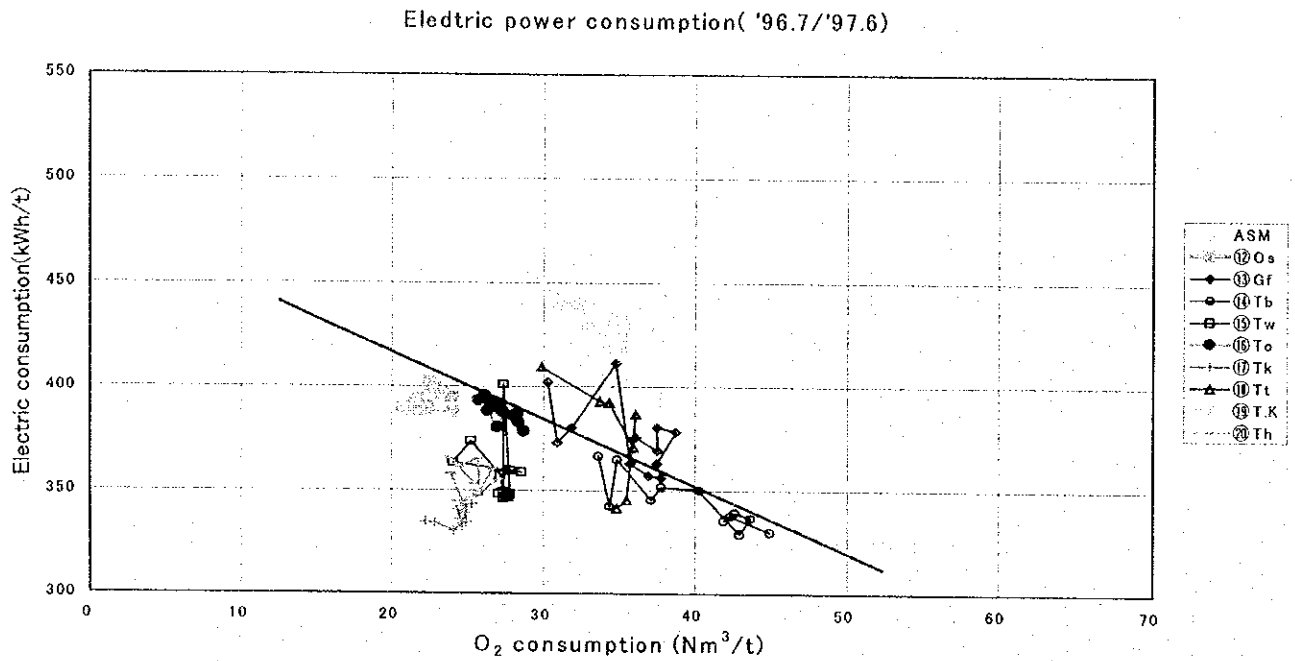
図 12-7 より、日本データを高級鋼製造工場、特殊スクラップ工場、量産工場に層別した各層と ASM 社の差として省エネルギーの期待値は、5~50kWh/t-レベル程度であるが、原料事情が変動するので、15kWh/t-レベル程度が期待値と考える（表 12-10）。

Table 12-10 Expected Value of Electric Power Consumption

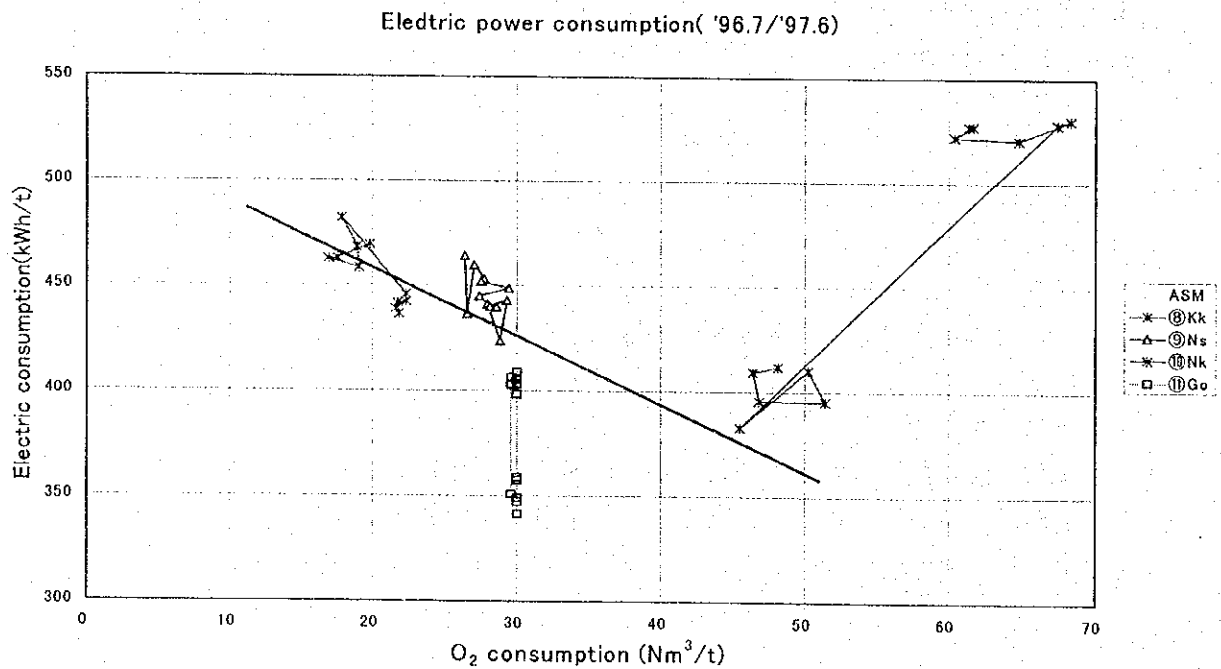
Classification	Monthly data		Expected value	
	Oxygen consumption (Nm ³ /t)	Electric power consumption (kWh/t)	Expected value at O ₂ =35Nm ³ /t (kWh/t)	Improvement (kWh/t)
ASM	34-40	405-443	415	Standard
High grade shop	22-38	335-428	375	40
Special scrap shop	17-68	340-528	410	5
Commercial grade shop	21-45	330-455	365	50

(3) 改善の実現性についての補足説明

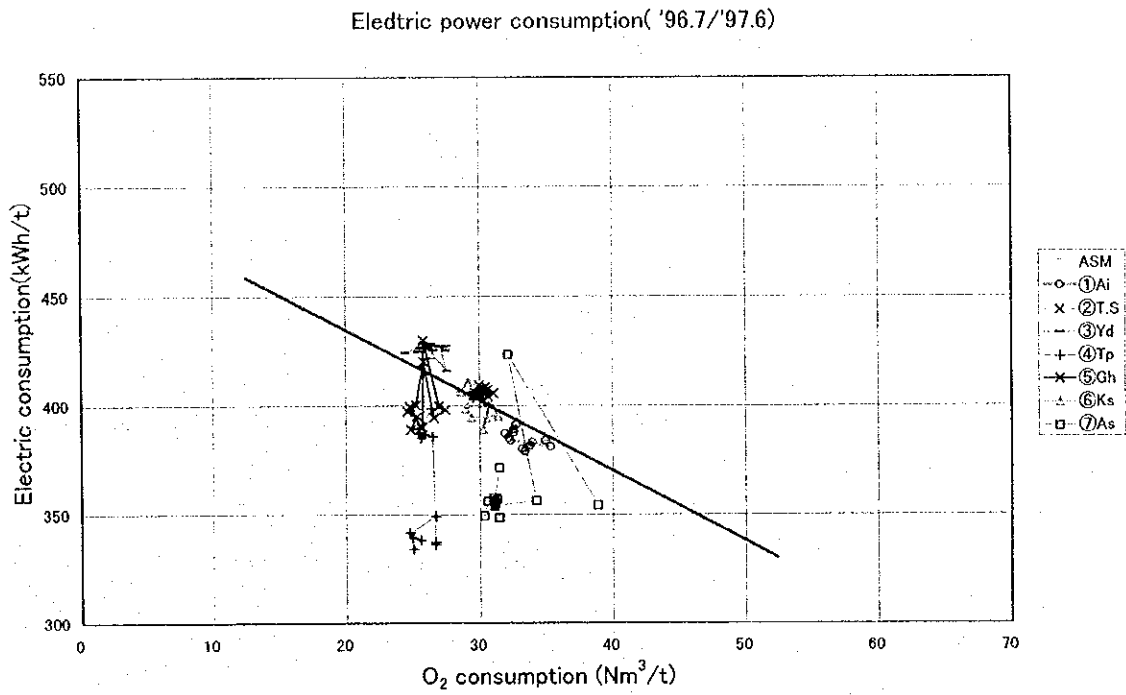
- 1) 日本の複数の工場の実績値から、ASM 社の状況に類似した事例を抽出して、改善の期待値を推定した。歩留りも良く、多量の酸素（35Nm³/t-レベル）を使用しているにもかかわらず電力原単位が劣っている状況を、炉内での熱の伝達が劣っていることによると判断し、スラグの沸騰状況を大きくする事により効率を高めることに着目した。このために若干の加炭材の使用増を提案する。また、増加した加炭材は、炉内での熱発生も増加させる。
- 2) 加炭材の燃焼熱を有効に炉内装入物に伝達するために、酸素ランスの使用法を溶融浴深部に位置させるように操作し、溶融鋼相に影響を与える。このランス操作により、突然の激しい沸騰のようなスラグ相に偏在した沸騰を避ける。



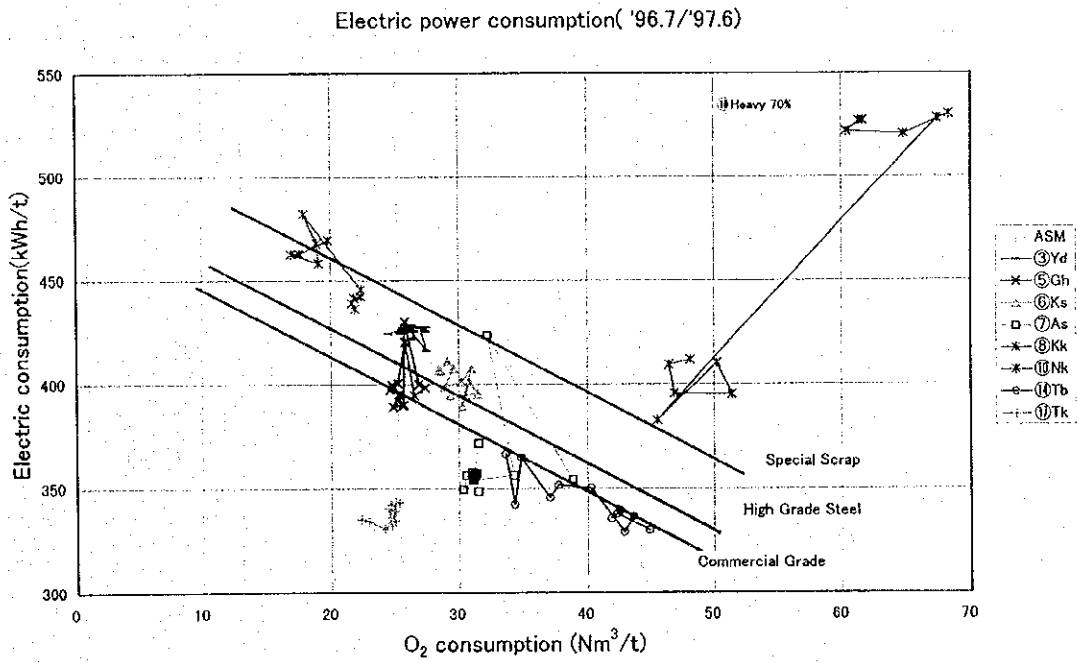
**Figure 12-7-1 Oxygen Consumption and Electric Power Consumption
(Commercial grade)**



**Figure 12-7-2 Oxygen Consumption and Electric Power Consumption
(Special scrap)**



**Figure 12-7-3 Oxygen Consumption and Electric Power Consumption
(High grade steel)**



**Figure 12-7-4 Oxygen Consumption and Electric Power Consumption
(Summary)**

12-8 工場のエネルギーの流れとエネルギーの主要消費設備

(1) 主要エネルギー消費設備

それぞれの設備におけるエネルギー消費状況を表 12-11 に示した。これは下記の事項を示している。

1. エネルギー消費量の 70% は電力であり、22% はミーディウムフエロイルであった。
2. 電気炉におけるエネルギー消費量が 57% を占め、取鍋精錬炉が 5.5%、連続鋳造設備（補助設備を含む）が 7.7%、圧延設備が 30% を占めていた。
3. 全エネルギー消費量の 70%、電力消費量の 80% が製鋼工場で消費された。
4. ミーディウムフエロイルの 76% は、鋼材加熱炉で消費された。

(2) エネルギーフロー

1 次エネルギー換算エネルギーフロー図を図 12-8 に示した。

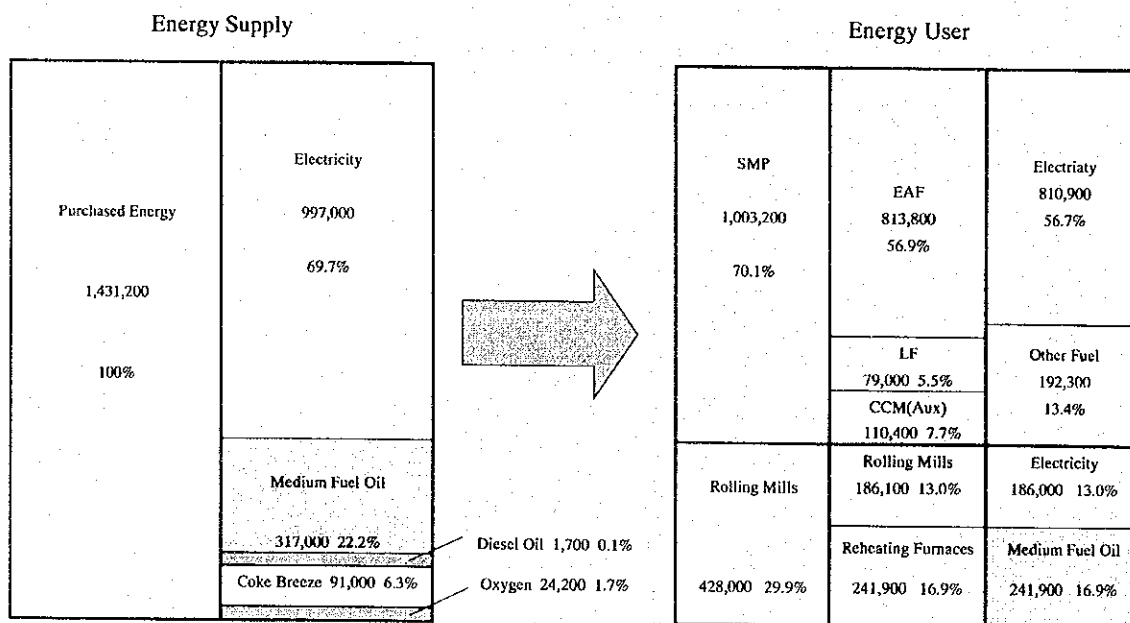


Figure 12-8 Primary Energy Flow Chart

Table 12-11 Energy Consumption of Each Facility

(1997)

Facility	Production Amount [10 ³ t/y]	Electricity		Medium Fuel Oil		Diesel Oil		Oxygen		Coke breeze	Primary Energy Total	
		Unit [kWh/t]	Consumption [MWh/y]	Unit [kg/y]	Consumption [10 ³ kg/y]	Unit [kg/t]	Consumption [kg/y]	Unit [Nm ³ /t]	Consumption [10 ³ Nm ³ /y]	Consumption [t/y]	[10 ⁶ kcal]	[%]
EAF	660	420	277,000	12	7,923	—	—	36	23,887	14,000	813,800	56.9
LF	660	53	35,100	—	—	—	—	—	—	—	79,000	5.5
CCM (Aux.)	660	73	48,300	—	—	—	0.25	—	—	—	110,400	7.7
Rolling Mills	790	105	82,700	32	25,440	—	—	—	—	—	428,000	29.9
Total			443,100	100	33,363		165,000		23,887	14,000	1,431,200	100
Primary Energy	[10 ⁶ kcal/y]		997,000 (69.7%)		317,300 (22.2%)		1,700 (0.1%)		24,200 (1.7%)	91,000 (6.3%)	1,431,200 (100%)	

Comment:

1. Conversion factor of electricity to primary energy: 2,250 kcal/kWh
2. Low heating value of medium fuel oil: 9,509 kcal/kg
3. Low heating value of diesel oil: 10,300 kcal/kg
4. Conversion factor of oxygen to primary energy: 1,012.5 kcal/Nm³
5. Low heating value of coke breeze: 6,500 kcal/kg

12-9 省エネルギー対策

省エネルギー診断調査の結果に対応して、この節ではエネルギー効率向上の諸対策について記述し、討論する。取上げた項目は、下記の通りである。

1. 抽出鋼材温度のバラツキの低減
2. 空気／燃料比の低減
3. 炉体の熱放散の低減
4. バーナの蓄熱バーナシステムへの変更
5. 熱ピレット装入の導入
6. 新シュレッダー工場の電力消費量削減
7. 電気炉の電力消費量削減

12-9-1 鋼材加熱炉

表 12-12 に上述した改善諸対策の要約を記載した。

鋼材加熱炉の諸対策は燃料消費量削減がピレット重量当り 3.57kg であり、年間で 1,350t である。

12-9-2 新シュレッダー工場の電力消費量の削減

12-6-2(6)で述べたように、工場が停止中の電力削減が 35kWh/h 可能であり、工場停止時間は 16h/day である。従って、年間 204,400kWh/年の浪費電力の削減が期待できる。

(削減量 = 35kWh/h × 16h/day × 365day/年)

ピーク時間帯の電力量削減量： 178,850 kWh/年

オフピーク時間帯の電力量削減量： 25,550 kWh/年

この対策には設備コストは不要である。

12-9-3 電気炉の電力消費量削減

12-6-3(3)で述べたように、電力原単位削減可能量が 15kWh/t-ピレットであり、年間ピレット生産量が 660,000t/年である。それゆえ、操業改善により 9,900,000kWh/年の電力削減が期待される。(削減量 = 15kWh/t-ピレット × 660,000 t-ピレット/年)

ピーク時間帯の電力量削減量： 5,775,000 kWh/年

オフピーク時間帯の電力量削減量： 4,125,000 kWh/年

この対策には設備コストは不要である。

Table 12-12 Summary of Selected Measures for Reheating Furnace

S. N o.	Item/Description	Measures and Cost	Fuel saving						
1	Reduction of Temp. Variation of Extr'd Material <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Present</td> <td style="text-align: center;">Improved</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">R=60°C</td> <td style="text-align: center;">30°C</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Average = 1060°C</td> <td style="text-align: center;">1045°C</td> </tr> </table>	Present	Improved	R=60°C	30°C	Average = 1060°C	1045°C	Standardization of Operation Cost = 0	$2,340\text{kcal/t} / (53.8/100)$ $/ 9,463 \text{ kcal/kgFuel}$ $= 0.46 \text{ kgFuel/t}$
Present	Improved								
R=60°C	30°C								
Average = 1060°C	1045°C								
2	Reduction of air/fuel ratio <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Present</td> <td style="text-align: center;">Improved</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">m = 1.25</td> <td style="text-align: center;">1.15</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">O₂ = 4.4%</td> <td style="text-align: center;">3.0%</td> </tr> </table>	Present	Improved	m = 1.25	1.15	O ₂ = 4.4%	3.0%	Oxygen Content Meter Cost = ¥5,400,000	$28.7 - 28.2 = 0.5 \text{ kgFuel/t}$
Present	Improved								
m = 1.25	1.15								
O ₂ = 4.4%	3.0%								
3	Reduction of heat loss from furnace wall <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">Present</td> <td style="text-align: center;">Improved</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Heat loss 19060 kcal/t</td> <td style="text-align: center;">13500kcal/t</td> </tr> </table>	Present	Improved	Heat loss 19060 kcal/t	13500kcal/t	50mm Ceramics Fiber Blanket Veneering Cost = ¥9,000,000	$(19,060 - 13,500)$ $/(9,463 - 2,835 + 1,158 + 29)$ $= 0.71 \text{ kgFuel/t}$		
Present	Improved								
Heat loss 19060 kcal/t	13500kcal/t								
4	Replacement of burner to regenerative burner system Assuming combustion air leakage (21%) & waste gas temp. (250°C), fuel saving is 3.3%.	HRS Burner System Cost = ¥237,500,000	$28.7 - 27.7 = 1.0 \text{ kgFuel/t}$						
5	Introduction of hot billet charging Assuming: Tonnage application ratio = 10% Mean charged temp. = 500°C Energy contribution rate in incring input heat content of billet = 80%.	Operation by Crane (installed) Cost = 0	$60,000\text{kcal/t} \times 0.8 / (53.8/100)$ $/ 9,463 \text{ kcal/kgFuel} \times 0.1$ $= 0.9 \text{ kgFuel/t}$						

12-10 省エネルギー対策の便益

12-10-1 ASM のエネルギー価格

(1) 燃料

中質重油の価格は 317 RM/kl であり、仮定した密度によって換算すると 323.5 RM/ton となる。

(2) 電力

ASM 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

12-10-2 対策の便益

各対策の便益を推算し、その結果を表 12-13 に示す。

Table 12-13 Estimation of Benefits from Measures

Measures	Benefit, RM/year
Reduction in Temperature Variation of Extracted Material	56,542
Reduction in Air/Fuel Ratio of Reheating Furnace	61,459
Reduction in Heat Loss from Reheating Furnace Wall	87,272
Replacement of Reheating Furnace Burner with Regenerative Burner System	122,918
Introduction of Hot Billet Charging	110,627
Reduction in Electricity Consumption for New Shredder Plant	34,339
Reduction in Electricity Consumption for EAF	1,432,200

12-11 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。

- 鋼材加熱炉の空気/燃料比の低減
- 鋼材加熱炉炉体からの熱放散低減
- 鋼材加熱炉バーナの蓄熱バーナへの変更

12-11-1 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： 28 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率は年 5%
- 5) 投資額： 対策に要する投資額は、前述の日本円表示から変換し表 12-14 に示す。

Table 12-14 Fixed Investment Cost for Measures

Measures	Fixed Investment Cost (RM)
Reduction in Air/Fuel Ratio of Reheating Furnace	173,898
Reduction in Heat Loss from Reheating Furnace Wall	289,831
Replacement of Reheating Furnace Burner with Regenerative Burner System	7,648,305

12-11-2 財務分析の結果

表 12-15 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 12-15 Results of Financial Evaluation

Measures	FIRROI before tax	FIRROI after tax	Payback Period
Reduction in Air/Fuel Ratio of Reheating Furnace	34.9%	26.0%	3.7 years
Reduction in Heat Loss from Reheating Furnace Wall	29.5%	21.9%	4.3 years
Replacement of Reheating Furnace Burner with Regenerative Burner System	-14.1%	-10.1%	n.a.

12-11-3 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。

はじめの二つの対策、すなわち「鋼材加熱炉の空気/燃料比低減」および「鋼材加熱炉炉体からの熱放散低減」、に対しては FIRROI が資本の機会費用を上回り、回収期間は妥当な範囲にある。したがって、これらの対策は本調査で設定した条件の下においては財務的にフィージブルと考えられる。

3 番目の対策である「鋼材加熱炉バーナの蓄熱バーナへの変更」に対しては、比較的大きな投資に対して少ない便益のため、FIRROI は負の値になり、回収期間は 15 年を超える。よってこの対策は財務的にフィージブルでないと考えられる。

12-12 省エネルギーのための提言

ASM 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) 投資が必要な対策

投資が必要な3つの対策のうち、財務分析によって以下の2つが推奨される。

- 鋼材加熱炉炉体からの熱放散低減
- 鋼材加熱炉バーナの蓄熱バーナへの変更

(a) 線材工場鋼材加熱炉の空気/燃料比の低減

エネルギー診断中、鋼材加熱炉の空気/燃料比は 1.25 であった。この比を実現可能な範囲内の最適値である 1.15 にまで低減するよう提言する。空気/燃料比を低減すると燃焼排ガス量が減り、延いては鋼材加熱炉における省エネルギー効果を齎す。この対策には鋼材加熱炉炉尻に酸素濃度計を設置するための投資が必要である。この投資は、本調査の条件の下では財務的にフィージブルである。

(b) 線材工場の鋼材加熱炉炉体からの熱放散低減

通常の加熱炉では一般的に炉体表面温度は 100℃と言われているが、エネルギー診断においては均熱帯の炉壁温度は 130℃を超えるものであった。断熱の改善によって炉壁からの熱損失を低減することを推奨する。断熱の改善の最も簡便な方法は化粧張りによる技法である。この技法は現存する耐火物内壁の上にセラミック樹脂のブランケットを上張りするものである。この便益の投資額および便益は、耐火物の適切な熱伝導度および 50 mm のブランケット厚みを仮定し推定した。こうして求めた投資額および便益に基づき財務分析を行った結果、この対策は財務的にフィージブルであると考えられる。

(2) 投資を必要としない対策

その他の対策は主に運轉變更に基づくもので投資を必要としない。

(a) 線材工場における抽出鋼材温度のバラツキの低減

エネルギー診断においては抽出鋼材温度は 1,030℃ から 1,097℃まで変化していたが、その変化範囲の最低の温度でも圧延は問題なく行われていた。ヒーティングパターンの変更タイミングの予測を改善することによって、抽出鋼材温度のバラツキを現行の半分にし、平均温度を 1,045℃に下げることが推奨される。この対策

によって年間 RM 57,000 の重油節減が期待できる。

(b) 線材工場における熱ピレット装入の導入

熱ピレット装入は多くの製鉄工場で採用されている省エネルギー対策である。ASM では、この熱ピレット装入のための好条件がそろっている。線材工場の加熱炉の装入テーブルは連続鋳造機のデリバリーテーブルに接している。その上、熱ピレットを連続鋳造機のデリバリーテーブルから直接に加熱炉の装入テーブルに運搬できる天井クレーンが既に備わっている。そこで、熱ピレット装入を ASM に導入することを提言する。この対策による便益は、操業とくに製鋼工場と線材圧延工場の協力に依存するが、年間 342 トンの中質重油、金額にして RM 111,000 が削減されるものと期待される。

(c) 新シュレッダー工場の電力消費削減

新シュレッダー工場では工場が停止している時でさえ約 35 kWh/hour の電力が消費されている事が、エネルギー診断においてわかった。この損失の原因を究明し、このエネルギー損失を解消すべきである。

(d) 電気炉の電力消費量削減

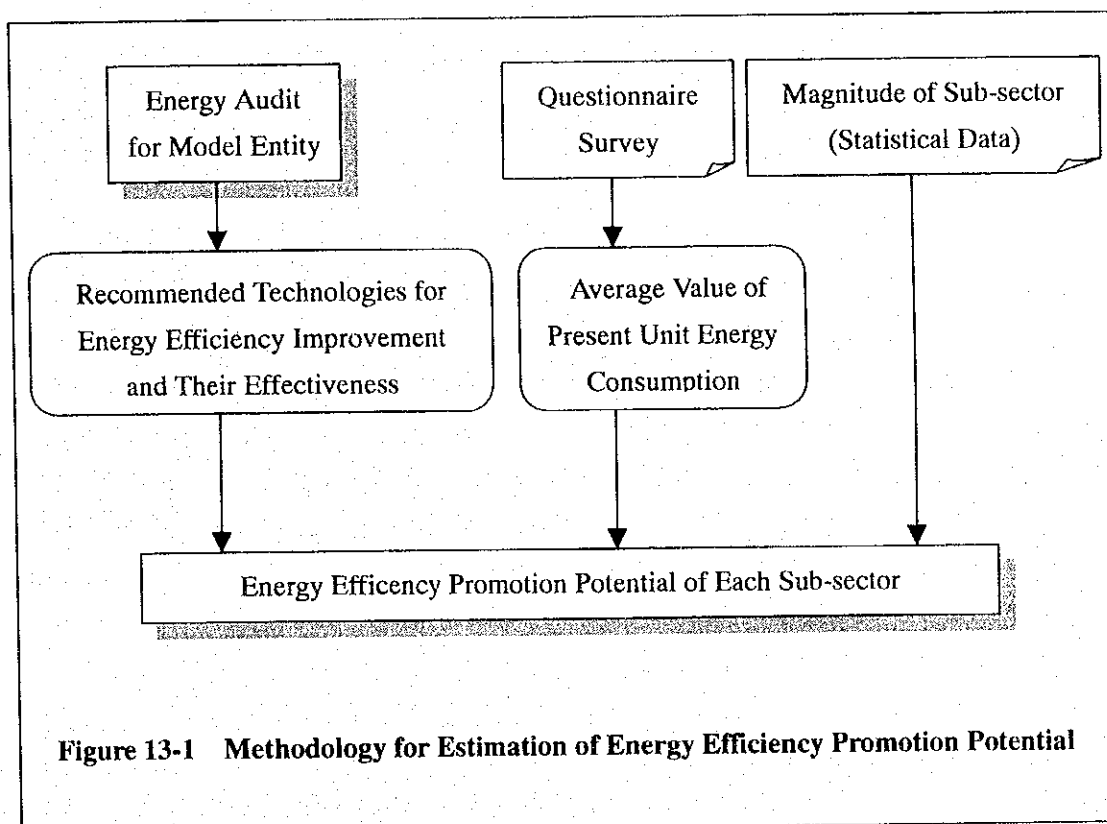
ASM の電気炉での電力消費量を日本の工場のそれと比較するとやや大きな数字を示している。ASM の操業データを日本の工場と対比し分析ところ炉内での熱の伝達が劣っていると判断できる。この問題は電気炉内でのスラグの沸騰を活発にすることによって解消されることが考えられ、そのためには、加炭材の使用を増やし炉内での熱発生も増加させることが必要である。また、酸素ランスを溶融浴深部に位置させ、溶融鋼相に影響を与えることを推奨する。これにより、突然の激しい沸騰のようなスラグ相に偏在した沸騰は防ぐことができる。この対策によって電気炉において 15 kWh/ton の電力削減が期待できる。

第13章 6サブセクターにおける省エネルギー・ポテンシャル

本章では、民生部門の3サブセクター（ホテル、複合商業施設、病院）および工業部門の3サブセクター（セメント、食品、鉄鋼）のモデル施設に対して提案した省エネルギー対策技術をマレーシア全国に普及した場合の省エネルギー・ポテンシャルを推算する。

13-1 推算方法

省エネルギー・ポテンシャルの推算方法を図13-1に図示する。



本調査では、マレーシア全国の省エネルギーのポテンシャルを推算するため、第1に6サブセクターにおいてモデル施設を選定し、それら施設に対しエネルギー診断を実施した。その結果に基づき、各診断施設に対して第7章から第12章に記載したような省エネルギー対策技術を提案し、それぞれの技術の効果を推定した。

第2にJBE&Gと調査団は、1998年7月から8月にかけて民生および工業部門の個別施設

を対象とし、現在のエネルギー消費および施設規模を調査するためのアンケート調査を行った。アンケート調査結果からは、各サブセクター毎に現在のエネルギー原単位の平均値が求められる。

第3に各サブセクターの規模を各種統計データから求めた。

第1ステップの結果に基づき、各対策技術の適応範囲および現在の普及率を想定しマレーシア全国の省エネルギー・ポテンシャルを単位数あたり（民生部門では m^2 で表示した延べ床面積、工業部門では ton で表示した生産量）で推定する。さらにこれに、第3の調査で求めた規模を掛け合わせることで絶対量としての省エネルギー・ポテンシャルを推定する。

一方、第2ステップの調査で求めた現在のエネルギー原単位の平均値に第3ステップの調査で求めた規模を掛け合わせることで各サブセクターの現在のエネルギー消費量を求め、それぞれの省エネルギー・ポテンシャルと比較する。

この方法による推算について注意すべき事は、ここで全国に対して推算する省エネルギー・ポテンシャルは、期待されるほど大きなものにはならないことである。これは、省エネルギー対策技術の選定は各サブセクターについて1ヶ所のモデル施設に対して提案したものに限定しているためである。この限定された対策技術についてマレーシア全国の省エネルギー・ポテンシャルを推算しているため、対策技術の数が少なく、省エネルギー・ポテンシャルは小さなものになっている。選定された対策技術がモデル企業の特徴を反映していることも有り得る。例えば、複合商業施設のモデル施設として診断したバンドルウタマ・ショッピングセンターは1995年に設立された新しい施設であり既に一部省エネルギー対策技術が適用されている。このため複合商業施設のサブセクターにはそのようなバンドルウタマ・ショッピングセンターで実施済みの技術は考慮されない。

また、ここではこの推算方法を実践し示すことによって今後のマレーシアで同種の推算を行う際の参考にされることを目的とした。マレーシアではこのような推算のため必要なデータベースは、まだ整備されていないため、アンケート調査結果等によってできる限り補完している。しかし6モデル施設以外の数多くの施設に対する詳細な調査は、本調査の範囲外と考えられ、専門家の人数および調査期間の制約からも困難であるため、不足するデータ（特に省エネルギー対策技術の普及度）については調査団によって仮定した。

以上のような背景から、推算結果は精度が粗いものにならざるを得ず、かつ数値的に小

さなものとなっている点について留意が必要である。今後、省エネルギー促進に向けてのマレーシア国内の組織において、本調査に基づきさらに検討することが望まれる。

13-2 ホテルの省エネルギー・ポテンシャル

ミンコートビスタホテルに対して推奨した以下の対策がマレーシア全国に普及した場合の省エネルギー・ポテンシャルを、各々の対策ごとに設定した仮定の下で推算する。

(1) エレベータへのVVVFシステムの導入（エレベータのインバータ化）

これはホテルのエレベータのうち、インバータ制御以外のエレベータをインバータ制御によるVVVFシステムに変更することにより、省エネルギーを図るものである。

(2) 外気取り入れ用ブロワーのモーターへのVariable Air Volume (VAV)システム取り付け

ホテルにおける外気を取り入れは室内の空気環境維持の目的で行われているが、室内の人数によっては過剰な換気となっている場合がある。そこで、この対策では外気取り入れ用ブロワーのモーターへ空気量を調整するVAVを取り付けて換気量を抑制することによって外気取り入れ用ブロワーの電力消費を削減する。

(3) 冷房設定温度の上昇

マレーシアのホテルにおいては、戸外の暑さを避け快適な環境を提供するためほぼすべての施設において1年中冷房しているが、過剰な冷房による冷やし過ぎの例が多く見られる。そこで本調査では冷房設定温度を緩和することによって冷凍機でのエネルギー消費量を抑制することを推奨している。

表 13-1にホテルに対して提案した対策がマレーシア全国に普及した場合の省エネルギー・ポテンシャルと、その値のエネルギー消費量に対する割合を示す。省エネルギー・ポテンシャルの合計は1次エネルギー換算で 389.8×10^9 kcal/yearであり、ホテル部門の全エネルギー消費の4.9%に当たる。また、これは電力換算では173 GWh/year、石油換算では38,980 TOEに当たる。

Table 13-1 Energy Efficiency Promotion Potential in Hotel Sub-sector

Measures	Potential	
	10 ⁹ kcal/year	% of Total Energy Consumption
(1) To apply inverter control for lifts (To introduce VVVF system into lifts)	79.8	1.0
(2) To introduce VAV system into motors of fresh air intake blower	58.1	0.7
(3) To raise room temperature by 2 degree centigrade	251.9	3.1
Total	389.8	4.9

13-3 複合商業施設の省エネルギー・ポテンシャル

バンドルウタマ・ショッピングセンターに対して推奨した以下の対策がマレーシア全国に普及した場合の省エネルギー・ポテンシャルを、各々の対策ごとに設定した仮定の下で推算する。

(1) 照度低減

共有部分の照度を押さえることにより売り場内部の照度がある程度低くても売り場内は十分際立って見える。この対策は複合商業施設内部の照度を下げることにより照明に要する電力消費を低減するものである。

(2) 冷房設定温度の2℃上昇

マレーシアの複合商業施設においては、快適な環境を提供するため、過剰な冷房による冷やし過ぎの例が見られる。そこで本調査では冷房設定温度を緩和することによって冷凍機でのエネルギー消費量を抑制することを推奨している。

(3) 出入口からの熱損失防止

この対策は複合商業施設の出入口を回転ドア等の気密性の良いものに換えることによって熱損失を最小限にするものである。

表 13-2に複合商業施設に対して提案した対策がマレーシア全国に普及した場合の省エネルギー・ポテンシャルと、その値のエネルギー消費量に対する割合を示す。省エネルギー・ポテンシャルの合計は1次エネルギー換算で 135.7×10^9 kcal/yearであり、複合商

業施設全体のエネルギー消費の7.1%に当たる。また、これは電力換算で60.3 GWh/year、石油換算で13,570 TOEとなる。

Table 13-2 Energy Efficiency Promotion Potential of Shopping Complexes

Measures	Potential	
	10 ⁹ kcal/year	% of Total Energy Consumption
(1) Decrease the illumination intensity	2.6	0.13
(2) Raise room temperature by 2 degrees centigrade	126.8	6.64
(3) Prevent heat loss from entrances	6.3	0.33
Total	135.7	7.10

13-4 病院の省エネルギー・ポテンシャル

本調査ではセレンバン病院を病院部門のモデル施設としてエネルギー診断を行い省エネルギー対策を第9章において提案している。第9章で検討した省エネルギー対策の内2つの対策に対しては定量的な便益が得られた。しかし、その1番目の対策である「エレベータの電力供給系へのインバータ制御導入」は、財務的にフィージブルと言えない。また、その2番目の対策である「顕熱蓄熱システムの導入」は、エネルギー消費は低減せずにピーク需要をオフピーク需要にシフトすることを狙ったものである。したがって、病院部門においては、マレーシア全国の省エネルギー・ポテンシャルをエネルギー診断結果から得ることはできない。

13-5 セメント工業の省エネルギー・ポテンシャル

APMC社ラワン工場に対して推奨した対策がマレーシア全国に普及した場合の省エネルギー・ポテンシャルを、各々の対策ごとに設定した仮定の下で推算する。

(1) リーク防止

この対策はプラントの様々な箇所からのリークを防止することによって電力消費削減を図るものである。

(2) 粉体輸送システムの合理化

この対策は頁岩およびセメントの輸送システムを空気輸送から機械式のバケット・エレベータとエア・スライド・システムに変更することによって電力消費を削減しようとするものである。

(3) 石炭ミルの増設

この対策は燃料を重油から石炭に転換することによって燃料代を削減するとともに、微粉砕され石炭の燃焼によって燃焼効率を改善すること事を狙ったものである。

(4) 頁岩の投入位置および方法の変更

この対策は頁岩の投入位置をF.F炉への直接投入からC4サイクロン入口への投入に変え、投入方法を空気式から機械式に変えることによって熱量節減を図るものである。この対策はAPMC社ラワン工場に特化したものであり、マレーシア全国へ広まることはないと考えられる。したがって、省エネルギー・ポテンシャルとしてはAPMC社ラワン工場での省エネルギー・ポテンシャルに限られる。

(5) サイクロンの圧力損失低減

この対策はサイクロンの圧力損失の低減によって電力消費を削減するものである。

(6) ボトム・サイクロンの集塵効率の向上

この対策はボトム・サイクロンの集塵効率を向上させ、排ガス温度を下げることによって熱消費を節減するものである。

(7) 廃熱ボイラー/発電システムの設置

この対策は廃熱ボイラーおよびスチーム・タービン発電システムを設置し、現在高温の排ガスとして大気に排出されている熱を用い廃熱ボイラーによってスチームを発生し、さらにこの発生スチームを用いスチーム・タービン発電システムによって発電することによって廃熱を回収するものである。

(8) 窯尻リフター・レンガの採用

この対策は、窯尻にリフター・レンガを施工しプレヒーター・セクションからキルンに持ち込まれる未燃燃料を効率よく燃焼させることによって燃料の低減を図るものである。

(9) クーラーGBFの据替

既設のグラベル・ベッド・フィルター (GBF) を電気集塵機 (EP) に変えることによって、

熱および電力の節減並びにクリンカーの回収が期待できる。この対策はAPMC社ラワン工場に限定された対策であり、マレーシア全国への普及は図れない。したがって、省エネルギー・ポテンシャルとしてはAPMC社ラワン工場の熱量削減と電力削減に限られる。

(10) 粉砕助剤

この対策は粉砕助剤を使用することによって粉砕ミルでの電力消費を削減しようとするものである。

Table 13-3 Energy Efficiency Promotion Potential in Cement Industry

Measures	Electricity	Fuel	Total Energy	
	10 ⁶ kWh/y	10 ⁹ kcal/y	10 ⁹ kcal/y	% of Current Energy Consumption
Energy-Saving Potential				
Prevention of air-leakage	48.3	0	109	0.76
Rationalization of transportation system	20.2	0	45.5	0.32
Construction of coal dryer/grinding mill	-2.3	119	114	0.80
Change of feeding point and feeding system of coal shale	0	8.2	8.2	0.06
Reduction of cyclone pressure loss	12.7	0	28.6	0.20
Improvement of C5 cyclone collecting efficiency	-4.2	128	119	0.83
Waste heat boiler/generator system	381	0	858	6.0
Lifter brick at kiln backend part	0	149	149	1.0
Replacement of cooler GBF	0.96	30	32.2	0.22
Grinding aids	3.8	0	8.6	0.06
Total (1)	460.46	434.2	1,472.1	10.3
Current Energy Consumption (2)	1,610	10,700	14,300	
Energy Saving Potential (1) / (2) x 100	28.6%	4.06%	10.3%	

本調査で提案した対策がマレーシア全国に普及された場合の省エネルギー・ポテンシャルおよびそのポテンシャルの全エネルギー消費に対する比率を表 13-3に纏めて示す。省エネルギー・ポテンシャルは、電力で 460 GWh/year、熱で434 x 10⁹ kcal/year、1次エネルギー換算合計 1,472 x 10⁹ kcal/yearは、石油換算で147,200 TOE/yearとなり、セメント工業全体のエネルギー消費の10.3%となる。

13-6 食品工業の省エネルギー・ポテンシャル

食品工業のエネルギー原単位は製粉工場では約16万kcal/ton、合成調味料工場では約515万kcal/ton、ビスケット工場では約96万kcal/tonと製品により大きく変わる。食品工業では製品の種類およびエネルギーの使用形態において大きな隔りがあり、エネルギー消費に関して食品工業を特徴づけることは難しい。また、ここで用いた方法で省エネルギー・ポテンシャルを推算することは、さらに難しい。

もし範囲を狭め精糖分野に絞ったとしても、本調査で推奨した対策がモデル工場の性格に極めて強く依存している点を考慮すれば、この対策の効果からマレーシア全国の省エネルギー・ポテンシャルを求めることは難しい。モデル工場では工場内の自家発電へ蒸気を供給するためかなり大きな能力のボイラーを持っており、この事はこの工場独自の特徴と考えられる。その上、提案した対策はこのボイラーおよび蒸気系統に集中している。したがって、現在用いている方法でモデル工場の省エネルギー・ポテンシャルからマレーシア全国の省エネルギー・ポテンシャルを推算するのは妥当でないと考えられる。

13-7 鉄鋼工業の省エネルギー・ポテンシャル

ASMに対して推奨した対策がマレーシア全国に普及した場合の省エネルギー・ポテンシャルを、各々の対策ごとに設定した仮定の下で推算する。

(1) 抽出鋼材温度のバラツキの低減

この対策は、抽出鋼材温度のバラツキを低減し低温側に移行することによって、鋼材加熱炉における燃料消費の低減を図るものである。

(2) 鋼材加熱炉の空気/燃料比の低減

この対策は、現在の鋼材加熱炉の空気/燃料比を実現可能な範囲での最適値にまで低減することによって、そこでの燃料消費を削減することを狙ったものである。

(3) 鋼材加熱炉炉体からの熱放散低減

この対策は、鋼材加熱炉からの熱放散を低減することによって、そこでの燃料消費を削減することを狙ったものである。

(4) 熱ビレット装入

この対策は、鋼材加熱炉において熱ビレットを装入することによって、そこでの燃料消

費を削減することを狙ったものである。

(5) 電気炉での電力消費量削減

ASMの電気炉に対しては、酸素ランスを溶融浴深部に位置させ、溶融相に影響を与えることによって、突然の激しい沸騰のようなスラグ相に偏在した沸騰を防ぐことを推奨している。マレーシアの他の電気炉についても、個々の対策はプラント毎に異なるものの、電力消費は節減できると考えられる。

推奨した対策が普及すると仮定した場合の省エネルギー・ポテンシャルを表13-4に示す。36.8 GWh/yearの電力削減および 69.4×10^9 kcal/yearの熱量削減が推算された。これらを合計した省エネルギー・ポテンシャルは1次エネルギー換算で 152.2×10^9 kcal/year となる。

Table 13-4 Energy Efficiency Promotion Potential Iron and Steel Industry

Measures	Electricity	Fuel	Total Energy
	10^6 kWh/y	10^9 kcal/y	10^9 kcal/y
Reduction in Temperature Variation of Extracted Material	0	13.4	13.4
Reduction in Air/Fuel Ratio of Reheating Furnace	0	14.5	14.5
Reduction in Heat Loss from Reheating Furnace Wall	0	20.6	20.6
Introduction of Hot Billet Charging	0	20.9	20.9
Reduction in Electric Consumption of EAF	36.8	0	82.8
Total	36.8	69.4	152.2

JICA