

14-8 測定

鉄鋼施設の省エネルギー診断現地調査は、1998年10月1日から13日に実施した。この期間内に測定の準備から診断調査結果の予備的討論を行った。

(1) 準備段階

10月1日(木)：省エネルギー調査案の説明・討論と確認

10月2日(金)：省エネルギー診断用計器の運搬

(2) 省エネルギー診断のための測定

10月6日(火)：測定項目の説明と現地での測定点の確認
測定手順と作業分担のリスト化

電力使用量測定－電気炉及び取鍋精錬炉

10月7日(水)：鋼材加熱炉測定－機器設置及び調整

電力使用量測定－電気炉、取鍋精錬炉及び新シュレッダー工場

10月8日(木)：鋼材加熱炉測定－温度、炉圧及び排ガス組成

電力使用量測定－受電点 No.1, No2, 及び線材工場 No.1

10月9日(金)：鋼材加熱炉測定－温度、炉圧及び排ガス組成

電力使用量測定－受電点 No.1, No2, 線材工場 No.1 及び新シュレッダー工場

10月10日(土)：電気炉操業についての討論

測定結果の解析

電力使用量測定－受電点 No.1, No2, 線材工場 No.1 及び新シュレッダー工場

10月11日(日)：測定結果の解析

電力使用量測定－受電点 No.1, No2, 線材工場 No.1 及び新シュレッダー工場

(3) 電気炉操業改善についての討論と省エネルギー診断用計器の輸送

10月12日(月)：電気炉エネルギー効率改善についてのプレゼンテーション
省エネルギー診断用計器の梱包

電力使用量測定－受電点 No.1, No2, 及び電気炉

10月13日(火)：省エネルギー診断用計器のJBE&Gへの輸送

表 14-11 に測定日程の詳細を記載した。

測定作業は、JICA メンバーとマレーシアメンバーの共同作業で実施された。測定員は下記の人員である。

JICA: S. Kinoshita, Y. Ishibashi, H. Omori, S. Iizuka.

ASM: Hui Ah Chong, V. Ramamutthie, Chiam Jit Sing.

SIRIM: Chew Thean Yean, Syed Anuar Shah, Hassan Ismail, Zulkarnain Abdullah, Rahim B. Tambi.

Table 14-11 (1) Detailed Schedule of Measurement (ASM)

Measuring Items	Working Day							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0. Preparation & Discussion of the plan	x	x	x					
1. Electricity Consumption								
1) Incomer No.1 and No.2				x	x	x	x	x
2) Electric Arc Furnace		x	x		x	x	x	x
3) Ladle Furnace		x	x					
4) Rod Mill 1				x	x			
5) New Shredder Plant			x		x	x	x	
2. Measurement around the Reheating Furnace								
(1) Billet				x	x			
1) Charging Amount				x	x			
2) Charging Temperature				x	x			
3) Extracting Temperature				x	x			
4) Extracting Amount				x	x			
5) Heating Time				x	x			
6) Scale Loss				x	x			
(2) Fuel Oil								
1) Flow Rate				x	x			
2) Component				x				
3) Heating Value				x				
4) Supply Temperature				x	x			
5) Flow Rate of Each Zone				x	x			
(3) Combustion Air								
1) Temperature				x	x			
2) Flow Rate of Each Zone				x	x			
3) Air-fuel Ratio of Each Zone				x	x			
(4) Reheating Furnace								
1) Temperature of Each Zone				x	x			
2) Pressure of Each Zone				x	x			
3) Wall Temperature				x	x			

Table 14-11 (2) Detailed Schedule of Measurement (ASM)

Measuring Items	Working Day							
	1	2	3	4	5	6	7	8
(5) Combustion Exhaust Gas								
1) Temperature				x	x			
2) Component of Exhaust Gas				x	x			
3) Inlet Temp. of Recuperator				x	x			
4) Outlet Temp. of Recuperator				x	x			
(6) Outside Air Temperature				x	x			
(7) Humidity				x	x			
(8) Data Reduction and Check						x	x	x
3. Field Investigation		x	x	x	x	x	x	x
4. Review and Discussion								x

14-9 測定結果

14-9-1 加熱炉測定結果と熱精算

(1) 測定結果

Table 14-12 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 3 つの時期のデータに基づいて、3 つの熱精算表を作成した。表 14-13 に熱精算表の概要を示す。熱精算計算書の例を Annex-1 に添付した。炉体からの熱放散の計算は、Annex-2 (炉体からの熱放散の推定) により計算した。

(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 ($271.6 \times 10^3 \text{kcal/t}$) であって、良好である。1996 年の NEDO 調査時の改善見通し ($275 \times 10^3 \text{kcal/t}$) 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、高温度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度（天井温度で 206℃）になるが、5th シフトでは 139℃まで低下する。しかし依然高温度である。
- この燃料原単位の良い実績は、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 14-12 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
FURNACE	TEMPERATURE °C	2-1					30	30	31	33	33
		2-2					1030	1039	1050	1078	1097
		2-4				93	97	102	96	96	95
		2-5				298	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
2-13-2						1060		1080	1135	1157	
	PRESSURE 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		20.16		30	30.3				
	Fuel used kg/hr			891			870				
	kg/T			44.2			28.7				
OUTSIDE CONDI- TION	Temp °C	2-16					29	31	33	32	
	Humidity %						70	59	54	56	
	Pressure mm Hg						760				

Table 14-13 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)	°C	542	548	618
	Roof Temperature (Soaking Zone)	°C	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

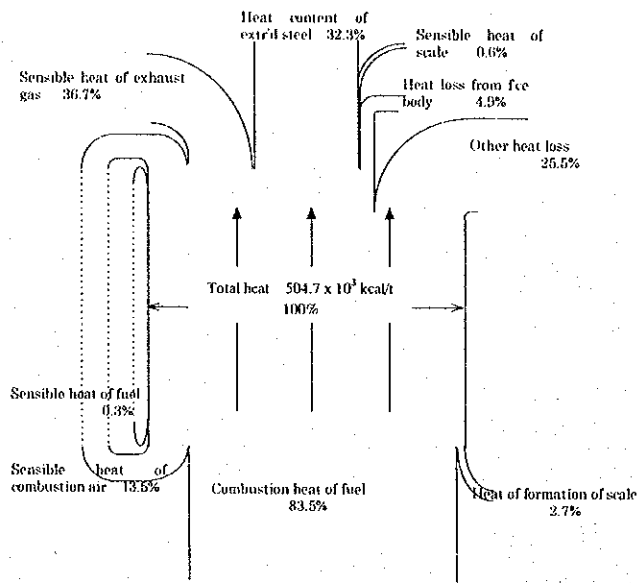


Figure 14-9 (1) Heat Balance of 1st Shift

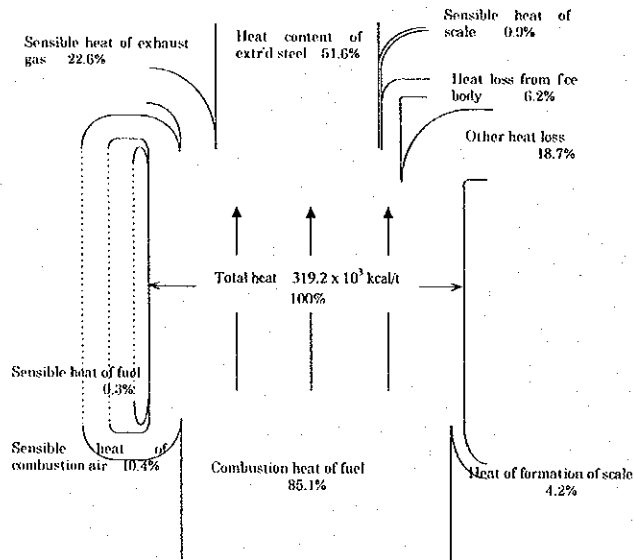


Figure 14-9 (2) Heat Balance of 4th Shift

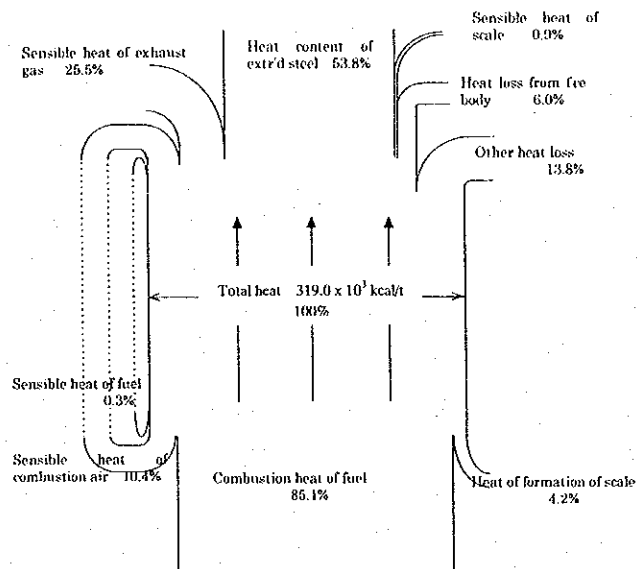


Figure 14-9 (3) Heat Balance of 5th Shift

14-9-2 電力測定結果

(1) 単線結線図

図 14-8 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鋼精錬炉用が 15kV, その他用が 11kV である。

測定点の位置は、図 14-8 中に□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 14-14 及び表 14-15 に、受電点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 パーセントであった。この値は 24 時間操業の工場としては妥当な値である。

$$(\text{夜間率} = \text{オフピーク消費量} / \text{全消費量} \times 100)$$

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

負荷率は 76.7 パーセントであった。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

図 14-10 及び図 14-11 に 10 月 10 日の受電点における電圧を示した。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。

[電圧変動率 = (最大電圧 - 最小電圧) / 最小電圧 × 100
= (138.9 - 132.2) / 132.2 × 100 = 5.1%]

2) 電力及び力率

図 14-12 及び図 14-13 に受電点における電力と力率を示した。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. 図 14-14 に電気炉の電圧を示す。電圧は 27.20kV から 32.25kV の範囲にある。電圧変動率は 18.6 パーセントであった。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 パーセントだからである。

[電圧変動率 = (32.25 - 27.20) / 27.20 × 100 = 18.6 %]

2. 図 14-15 (1), (2), (3) に電力と力率を示した。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) 取鍋精錬炉計測データ

1. 図 14-16 に取鍋精錬炉の電力と力率測定例を示す。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。

(6) 新シュレッダー工場計測データ

1. 表 14-16 に新シュレッダー工場の電圧、電流、周波数、電力と力率の測定結果を示した。
2. 図 14-17 に電力と力率を示した。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。
3. 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。
4. 電力原単位が高い理由は、生産能率が低い(56t/h = 390t/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。
5. 表 14-16 に示したように、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。

$$(204,400[\text{kWh}/\text{年}] = 35[\text{kWh}/\text{h}] \times 16[\text{h}/\text{日}] \times 365[\text{日}/\text{年}])$$

(7) 線材工場 I 計測データ

1. 表 14-17 に線材工場 I の電圧、電流、電力、周波数と力率の測定結果を示した。
2. 図 14-18 に示すごとく、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パーセントであった。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 = $(11.32 - 10.70) / 10.70 \times 100 = 5.8\%$]
3. 図 14-19 は線材工場 I の電力と力率の瞬時値を示した。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: $3 \times 5 \times 630\text{mmsq}$ (0.0308Ω/km), 200m
- b) 受電ステーション-取鍋精錬炉: $3 \times 2 \times 240\text{mmsq}$ (0.0739Ω/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 (= 36.4MW/√3×15kV×0.818)
- d) 取鍋精錬炉平均電流： 206A (= 4.2MW/√3×15kV×0.785)

2) 1パーセント改善時の省エネルギー効果

(a) 改善後の電流値

- a) 電気炉： 1,692A (= 36.4MW/√3×15kV×0.828)
- b) 取鍋精錬炉： 203A (= 4.2MW/√3×15kV×0.795)

(b) 電力削減量

- a) 電気炉： $0.0308 \Omega/\text{km} \times \{(1,713/5)^2 - (1,692/5)^2\} \times 3 \times 5 \times 200\text{m}/1000\text{m}$
= 264w = 0.26 kW
- b) 取鍋精錬炉： $0.0739 \Omega/\text{km} \times \{(206/2)^2 - (203/2)^2\} \times 3 \times 5 \times 250\text{m}/1000\text{m}$
= 34w = 0.03 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： $0.0308 \Omega/\text{km} \times (1,713/5)^2 \times 3 \times 5 \times 200\text{m}/1000\text{m} = 10,845\text{w} \approx 11 \text{ kW}$
- 取鍋精錬炉： $0.0739 \Omega/\text{km} \times (206/2)^2 \times 3 \times 5 \times 250\text{m}/1000\text{m} = 1,176\text{w} \approx 1.2 \text{ kW}$

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。

Table 14-14 Electricity Consumption for Incoming 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

Table 14-15 Electricity Consumption for Incoming No.2 (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	138.3	138.4	138.4	138.4	171.2	178.6	185.9	178.5	35.82	50.10	0.970
10/10	1:00	136.4	135.9	136.0	136.1	141.0	140.0	145.7	142.2	24.64	49.75	0.973
10/10	1:30	136.5	136.9	136.8	136.7	195.6	194.7	209.0	199.8	38.92	50.00	0.951
10/10	2:00	137.7	137.6	137.6	137.6	167.6	178.1	170.2	171.9	23.12	50.01	0.966
10/10	2:30	137.2	137.2	137.2	137.2	64.6	64.9	66.7	65.4	38.42	49.99	0.966
10/10	3:00	133.6	134.7	133.7	134.0	220.5	209.3	255.8	228.5	27.98	50.10	0.952
10/10	3:30	138.3	138.3	138.4	138.3	56.0	58.2	59.1	57.8	29.58	50.06	0.969
10/10	4:00	135.1	134.0	134.1	134.4	175.6	180.1	175.7	177.1	35.26	50.04	0.965
10/10	4:30	135.8	135.7	135.4	135.6	183.4	205.0	203.3	197.2	31.10	49.93	0.960
10/10	5:00	133.3	133.8	133.2	133.5	179.2	185.4	187.8	184.1	36.10	49.98	0.961
10/10	5:30	132.2	133.3	132.6	132.7	198.6	199.1	230.0	209.2	27.64	49.81	0.969
10/10	6:00	134.2	133.6	132.9	133.6	141.5	201.1	167.0	169.9	31.64	49.85	0.962
10/10	6:30	135.1	135.4	135.4	135.3	185.2	185.7	191.9	187.6	37.24	49.98	0.965
10/10	7:00	138.1	138.0	138.1	138.1	0.0	0.0	0.0	0.0	27.34	50.03	0.970
10/10	7:30	138.1	138.0	138.1	138.0	55.8	57.6	59.8	57.7	31.70	50.05	0.975
10/10	8:00	133.8	133.2	133.6	133.5	226.3	235.9	209.3	223.8	25.32	50.03	0.967
10/10	8:30	133.7	133.8	134.0	133.8	189.9	182.7	191.0	187.9	31.68	50.04	0.961
10/10	9:00	133.8	134.8	134.4	134.3	138.6	114.4	172.9	141.9	23.90	49.88	0.972
10/10	9:30	135.4	135.2	135.4	135.3	0.0	32.7	34.8	33.1	30.36	49.96	0.976
10/10	10:00	133.5	133.4	133.5	133.5	171.6	180.3	180.5	177.5	35.30	49.95	0.957
10/10	10:30	132.5	132.7	132.8	132.7	192.7	188.1	191.7	190.8	30.80	49.94	0.964
10/10	11:00	135.1	135.5	135.8	135.5	176.3	157.9	178.6	170.9	33.42	49.90	0.953
10/10	11:30	134.9	134.8	133.3	134.4	174.1	224.5	236.8	211.8	27.84	49.72	0.979
10/10	12:00	136.1	135.8	136.1	136.0	0.0	0.0	32.3	0.0	29.92	49.96	0.995
10/10	12:30	136.6	136.9	136.7	136.7	94.6	110.4	114.2	106.4	24.50	49.89	0.983
10/10	13:00	136.8	136.6	136.8	136.7	37.3	37.0	39.5	37.9	29.48	50.03	0.995
10/10	13:30	135.5	136.2	135.6	135.8	143.9	157.8	190.4	164.0	29.70	50.03	0.986
10/10	14:00	136.1	136.2	136.2	136.2	151.4	158.7	162.9	157.7	27.38	50.05	0.992
10/10	14:30	134.1	134.5	134.2	134.3	170.4	173.0	195.8	179.7	34.04	49.94	0.984
10/10	15:00	136.3	136.3	136.9	136.5	149.5	135.7	147.5	144.2	24.66	49.96	0.975
10/10	15:30	135.3	135.3	135.6	135.4	148.2	143.9	152.9	148.3	29.70	49.91	0.976
10/10	16:00	136.6	136.5	136.6	136.6	51.7	52.6	54.2	52.8	25.38	50.01	0.986
10/10	16:30	136.8	136.7	136.8	136.8	37.3	37.5	40.2	38.3	32.90	50.02	0.975
10/10	17:00	136.6	136.3	136.8	136.5	188.3	187.2	177.6	184.4	28.70	50.05	0.972
10/10	17:30	136.8	137.2	136.5	136.8	145.1	159.9	181.2	162.1	30.56	50.10	0.980
10/10	18:00	136.3	136.2	136.3	136.3	59.0	60.5	61.7	60.4	20.92	50.05	0.983
10/10	18:30	135.7	136.2	135.6	135.8	119.7	141.7	152.1	137.8	22.36	50.02	0.981
10/10	19:00	133.0	132.5	132.4	132.6	163.8	189.2	170.4	174.4	22.72	49.94	0.980
10/10	19:30	134.4	134.7	134.8	134.6	166.2	161.4	172.9	166.8	33.68	49.99	0.973
10/10	20:00	134.4	134.8	134.8	134.7	150.3	154.7	164.5	156.5	29.42	50.07	0.977
10/10	20:30	135.5	136.1	136.2	135.9	140.2	127.8	157.8	141.9	33.78	50.00	0.968
10/10	21:00	134.6	135.0	135.3	135.0	156.9	137.8	165.6	153.4	25.36	50.18	0.968
10/10	21:30	136.1	136.0	136.2	136.1	56.6	57.6	58.9	57.7	29.40	50.00	0.984
10/10	22:00	136.3	136.1	136.2	136.2	156.8	165.9	160.9	161.2	34.22	49.97	0.961
10/10	22:30	135.4	135.6	135.6	135.5	47.1	64.3	60.1	57.2	27.36	49.99	0.976
10/10	23:00	132.5	132.8	133.5	132.9	184.5	175.5	194.7	184.9	33.52	50.08	0.974
10/10	23:30	133.6	134.4	134.0	134.0	155.8	162.0	176.6	164.8	23.80	49.95	0.980
10/10	0:00	135.4	135.4	135.5	135.4	171.9	183.1	180.8	178.6	35.52	50.02	0.980

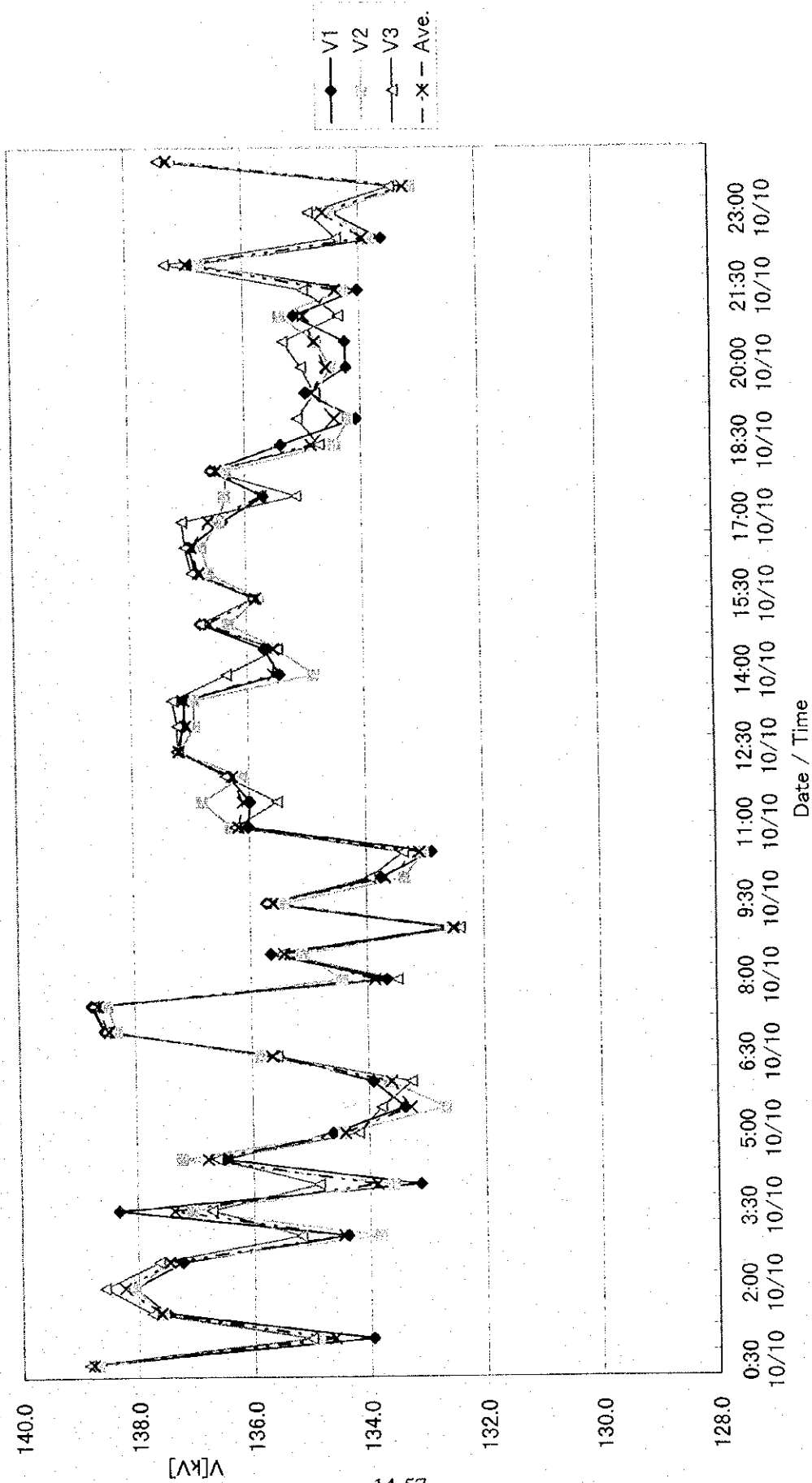


Figure 14-10 Voltage for Incoming 1

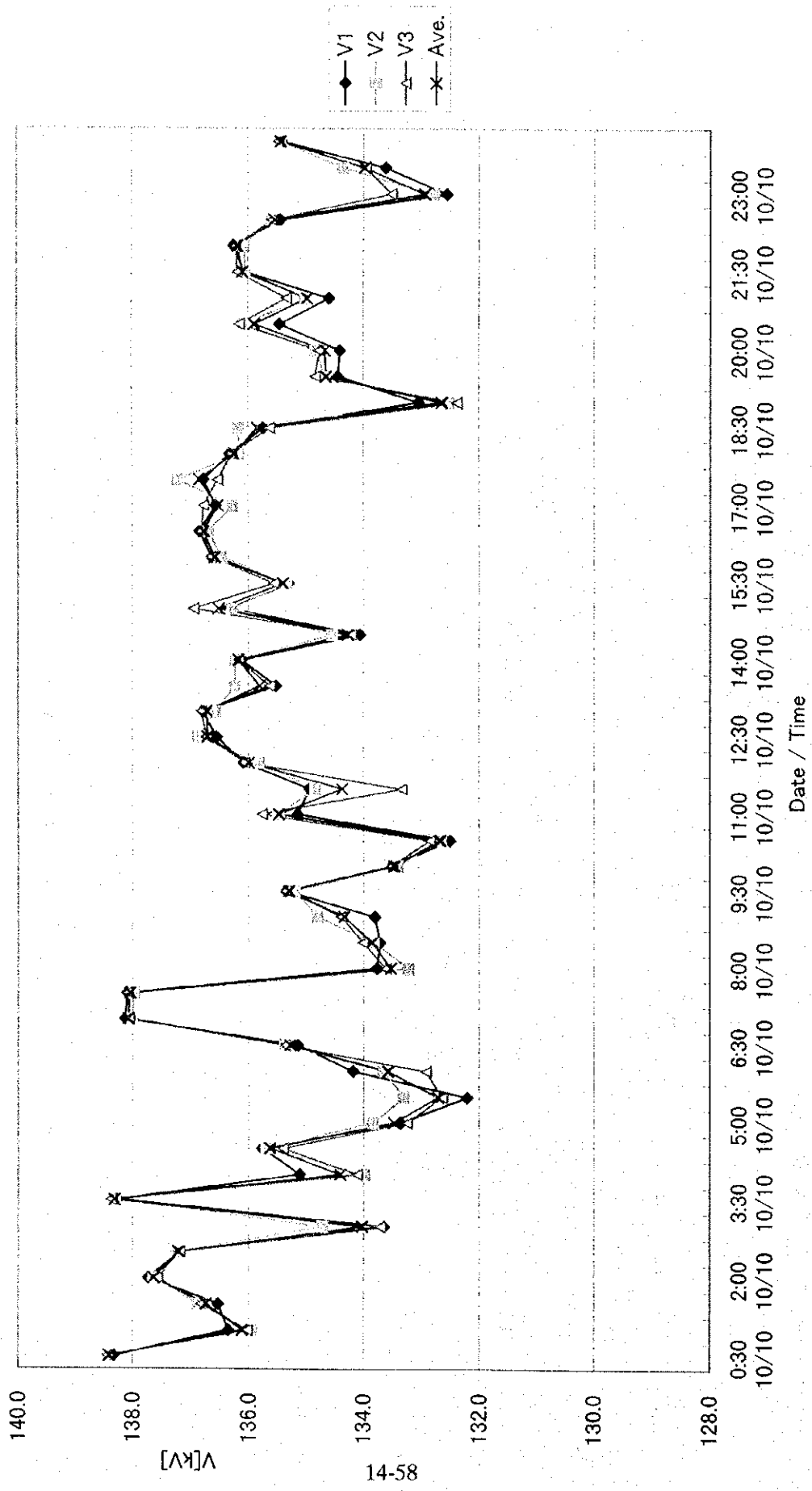


Figure 14-11 Voltage for Incoming 2

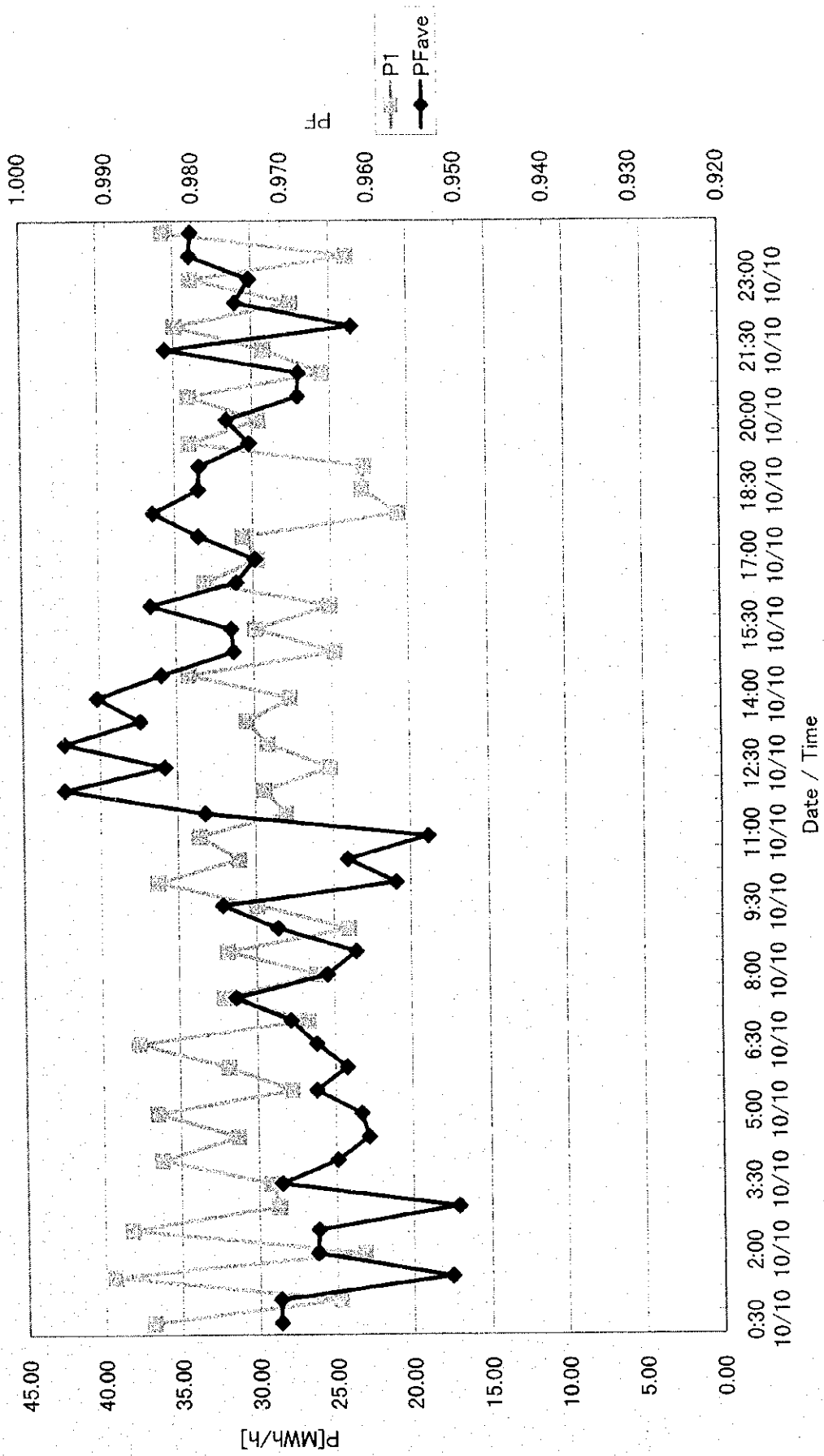


Figure 14-12 Electricity and Power Factor for Incoming No.1

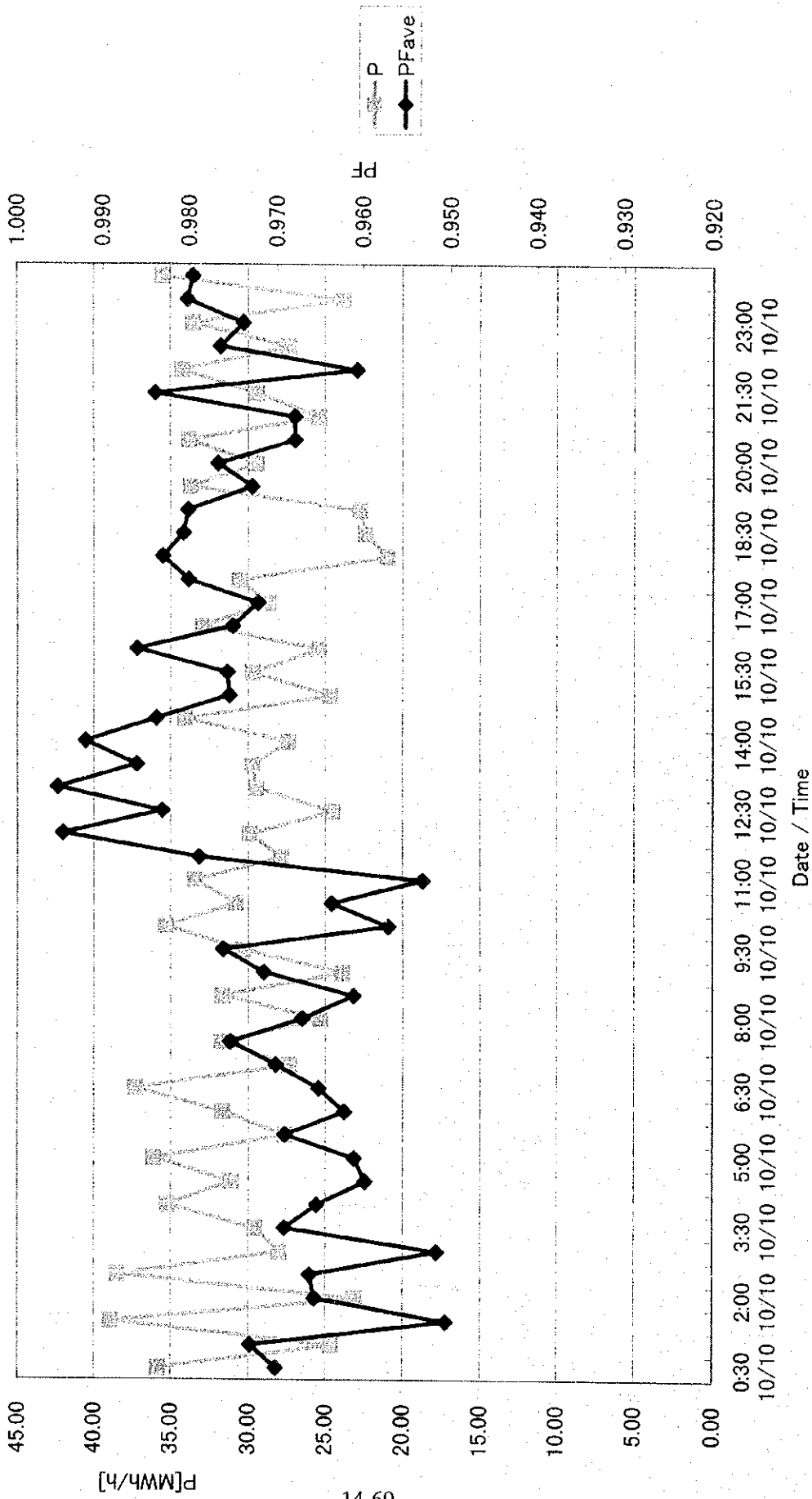


Figure 14-13 Electricity and Power Factor for Incoming No.2 (Oct. 10)

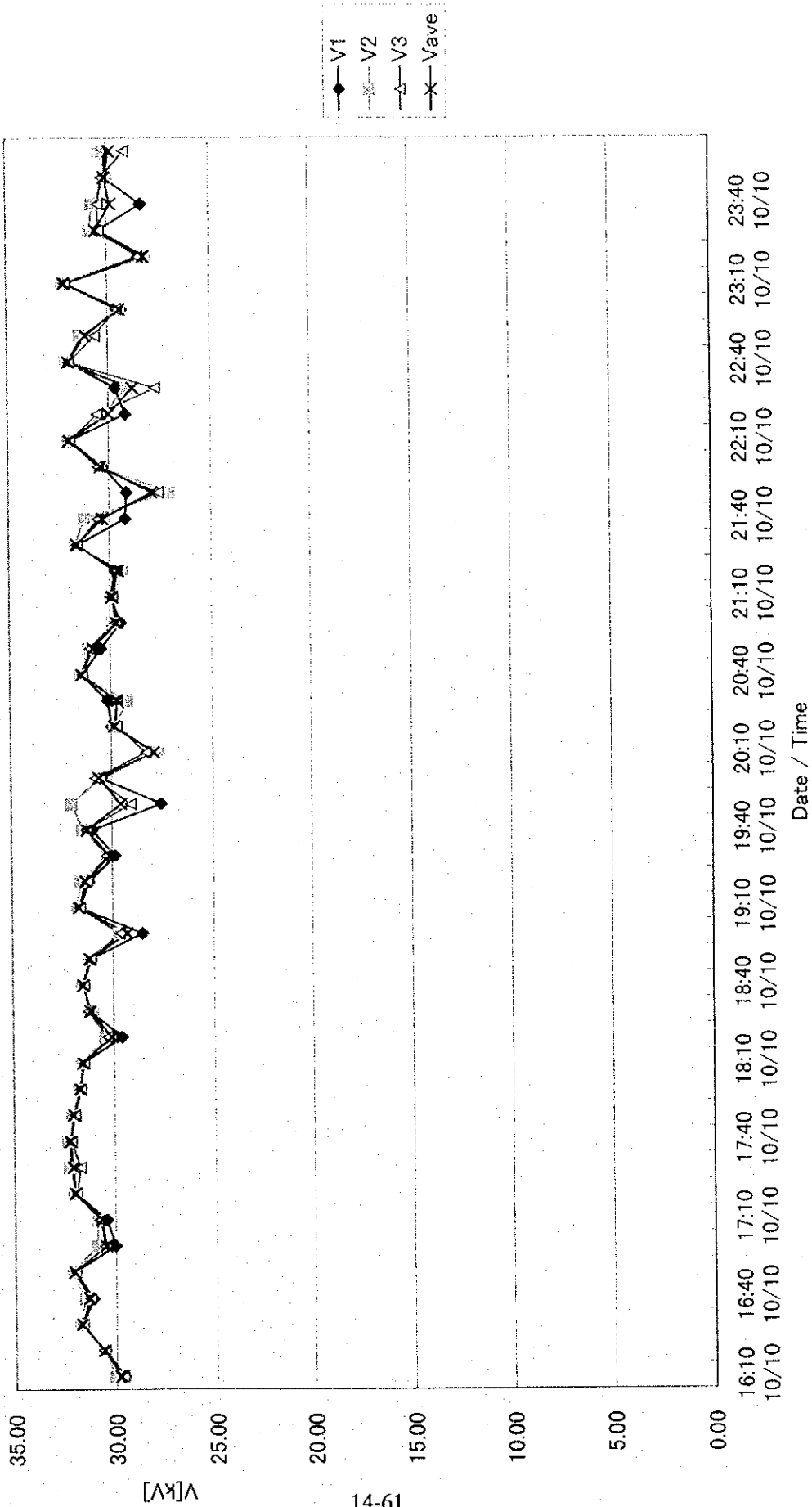


Figure 14-14 Voltage for EAF (10 Oct. -3)

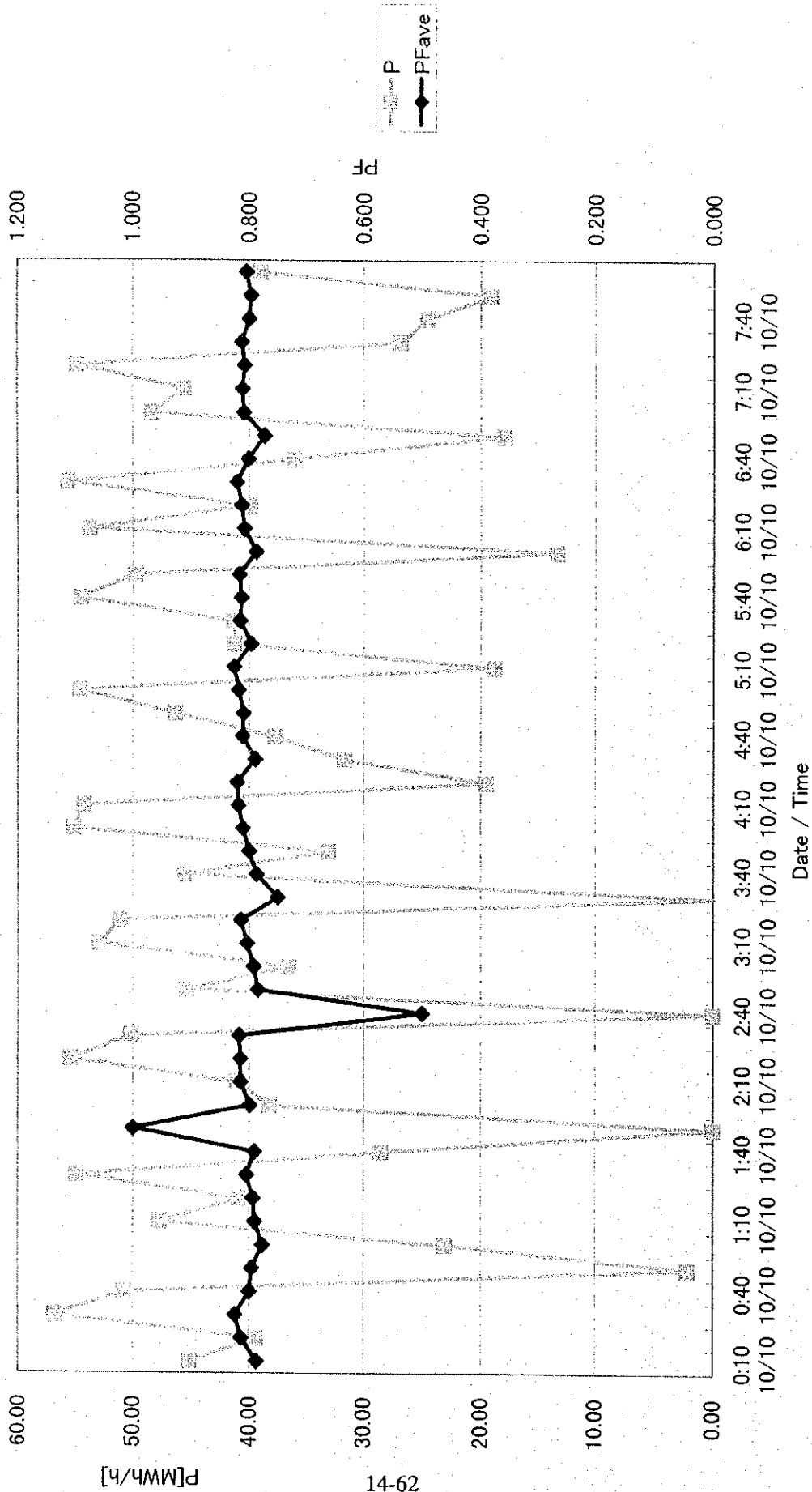


Figure 14-15 (1) Electricity and Power Factor for EAF (10 Oct. - 1)

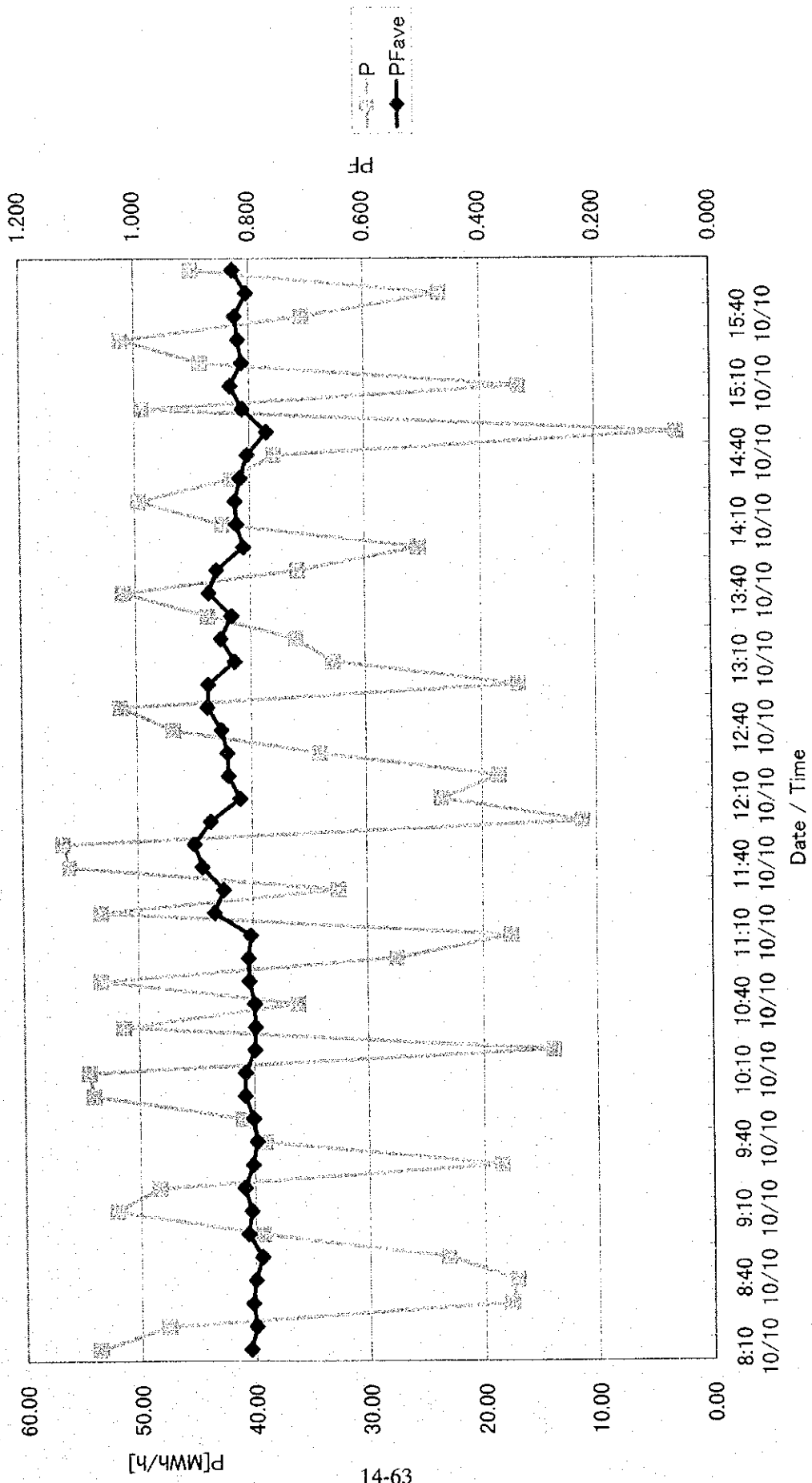


Figure 14-15 (2) Electricity and Power Factor for EAF (10 Oct. - 2)

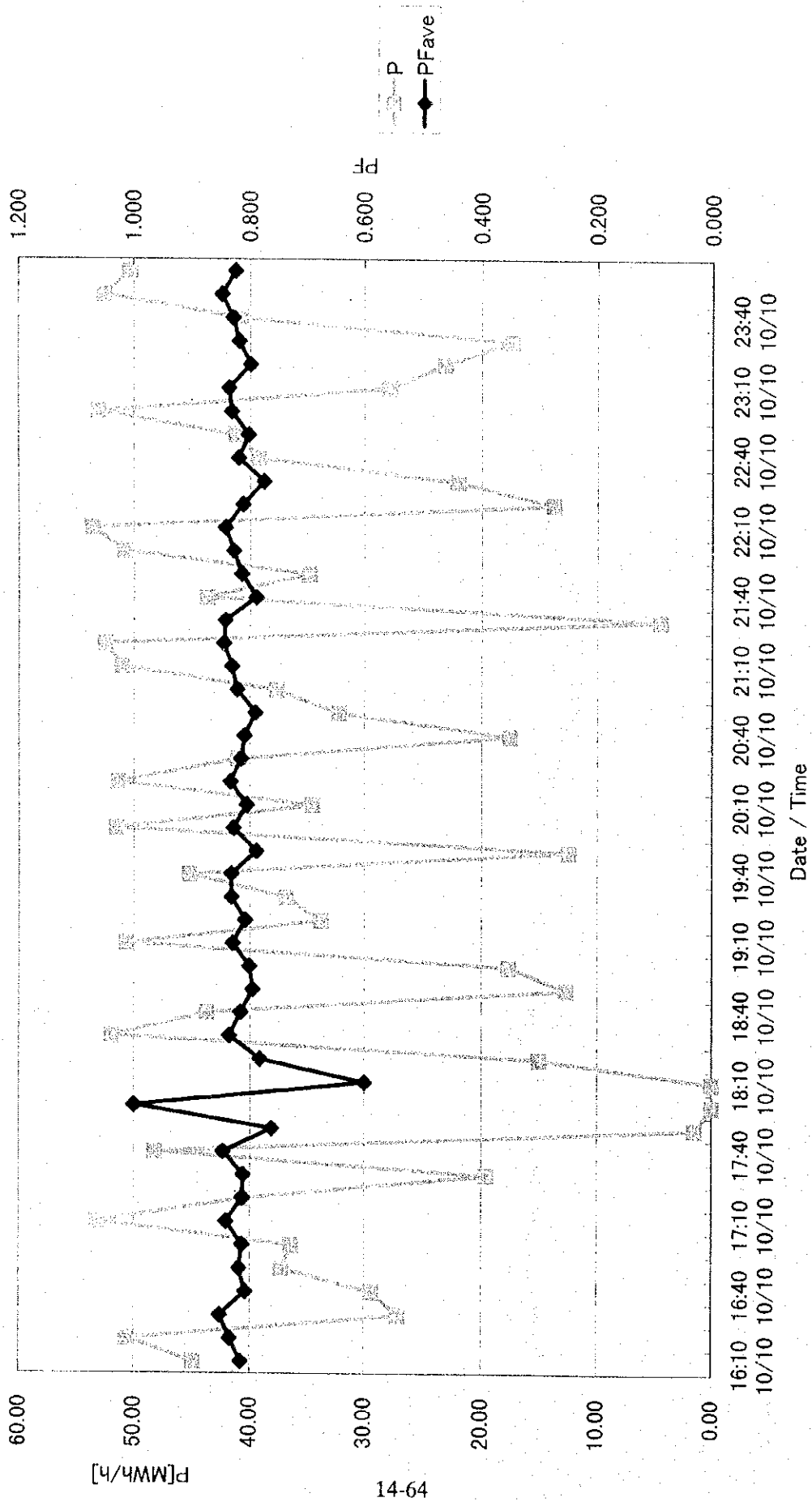


Figure 14-15 (3) Electricity and Power Factor for EAF (10 Oct. -3)

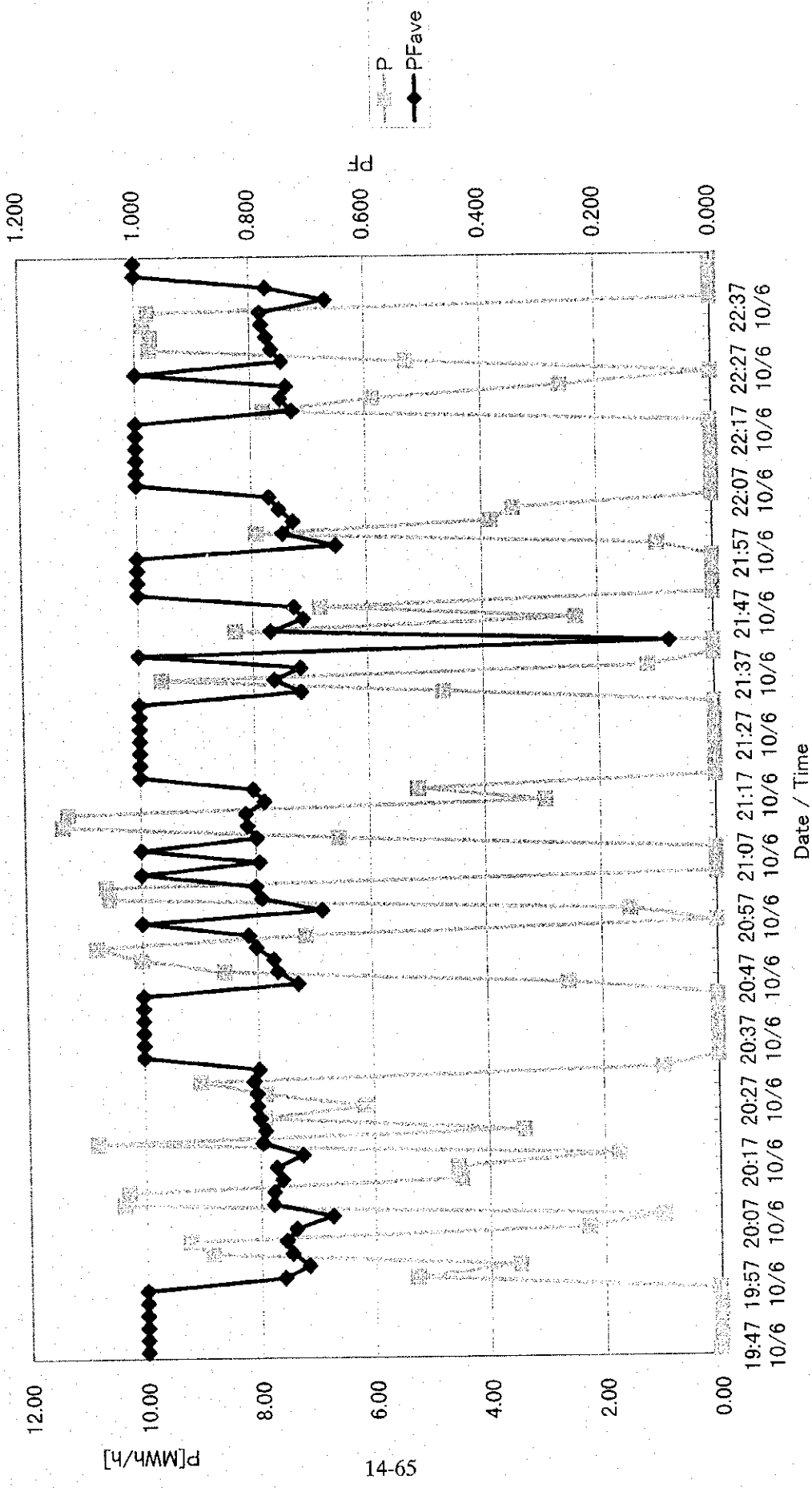


Figure 14-16 Electricity and Power Factor for LF (2)

Table 14-16 Electricity Consumption for New Shredder Plant

DATE	TIME	Voltage [kV]				Current [A]				Effective Power [kWh/h]	Power Factor	Frequency [Hz]
		V1	V2	V3	Ave.	I1	I2	I3	Ave.			
10/10	18:30	10.94	11.06	11.01	11.00	0.0	0.0	0.0	0.0	30	1.000	50.02
10/10	19:00	11.16	11.23	11.21	11.20	0.0	0.0	0.0	0.0	32	1.000	49.96
10/10	19:30	10.99	11.07	11.05	11.04	0.0	0.0	0.0	0.0	34	1.000	50.00
10/10	20:00	11.07	11.14	11.12	11.11	0.0	0.0	0.0	0.0	42	1.000	50.02
10/10	20:30	11.04	11.11	11.09	11.08	0.0	0.0	0.0	0.0	42	1.000	50.03
10/10	21:00	11.12	11.15	11.14	11.14	0.0	0.0	0.0	0.0	44	1.000	50.00
10/10	21:30	11.04	11.11	11.09	11.08	0.0	0.0	0.0	0.0	42	1.000	49.99
10/10	22:00	11.03	11.10	11.08	11.07	0.0	0.0	0.0	0.0	42	1.000	49.95
10/10	22:30	10.94	11.04	10.93	10.97	0.0	0.0	0.0	0.0	42	1.000	49.69
10/10	23:00	11.05	11.11	11.12	11.09	0.0	0.0	0.0	0.0	50	1.000	50.12
10/10	23:30	10.97	11.07	11.04	11.03	178.9	184.7	181.7	181.8	1208	0.605	49.89
10/10	0:00:00	11.16	11.25	11.23	11.22	164.5	168.1	167.8	166.8	1882	0.492	50.03
10/11	0:30	11.25	11.36	11.31	11.31	230.6	237.8	231.3	233.2	4128	0.708	50.08
10/11	1:00	10.92	10.86	10.92	10.90	171.1	154.0	168.7	164.6	3282	0.676	49.98
10/11	1:30	11.13	11.24	11.20	11.19	15.0	15.7	15.0	15.2	1608	0.581	50.06
10/11	2:00	11.21	11.26	11.26	11.24	17.8	17.8	18.1	17.9	262	0.949	49.77
10/11	2:30	11.23	11.30	11.28	11.27	327.6	327.9	325.8	327.1	4234	0.756	50.01
10/11	3:00	11.26	11.35	11.36	11.33	13.9	14.2	14.1	14.1	3756	0.743	50.19
10/11	3:30	11.06	11.14	11.11	11.10	0.0	0.0	0.0	0.0	42	1.000	50.00
10/11	4:00	11.20	11.29	11.32	11.27	0.0	0.0	0.0	0.0	42	1.000	50.01
10/11	4:30	10.95	11.00	10.97	10.97	334.8	329.9	329.4	331.4	2148	0.585	50.07
10/11	5:00	11.24	11.32	11.29	11.28	331.9	334.4	330.6	332.3	3872	0.744	49.98
10/11	5:30	11.25	11.32	11.30	11.29	228.4	231.5	228.6	229.5	2038	0.507	49.85
10/11	6:00	11.11	11.20	11.17	11.16	159.9	165.6	162.4	162.6	2792	0.611	49.91
10/11	6:30	10.99	11.06	11.07	11.04	16.0	17.0	16.9	16.6	2176	0.571	49.99
10/11	7:00	11.33	11.40	11.38	11.37	0.0	0.0	0.0	0.0	74	0.974	49.99
10/11	7:30	11.18	11.25	11.22	11.21	0.0	0.0	0.0	0.0	32	1.000	50.06
10/11	8:00	11.21	11.29	11.25	11.25	0.0	0.0	0.0	0.0	30	1.000	49.92

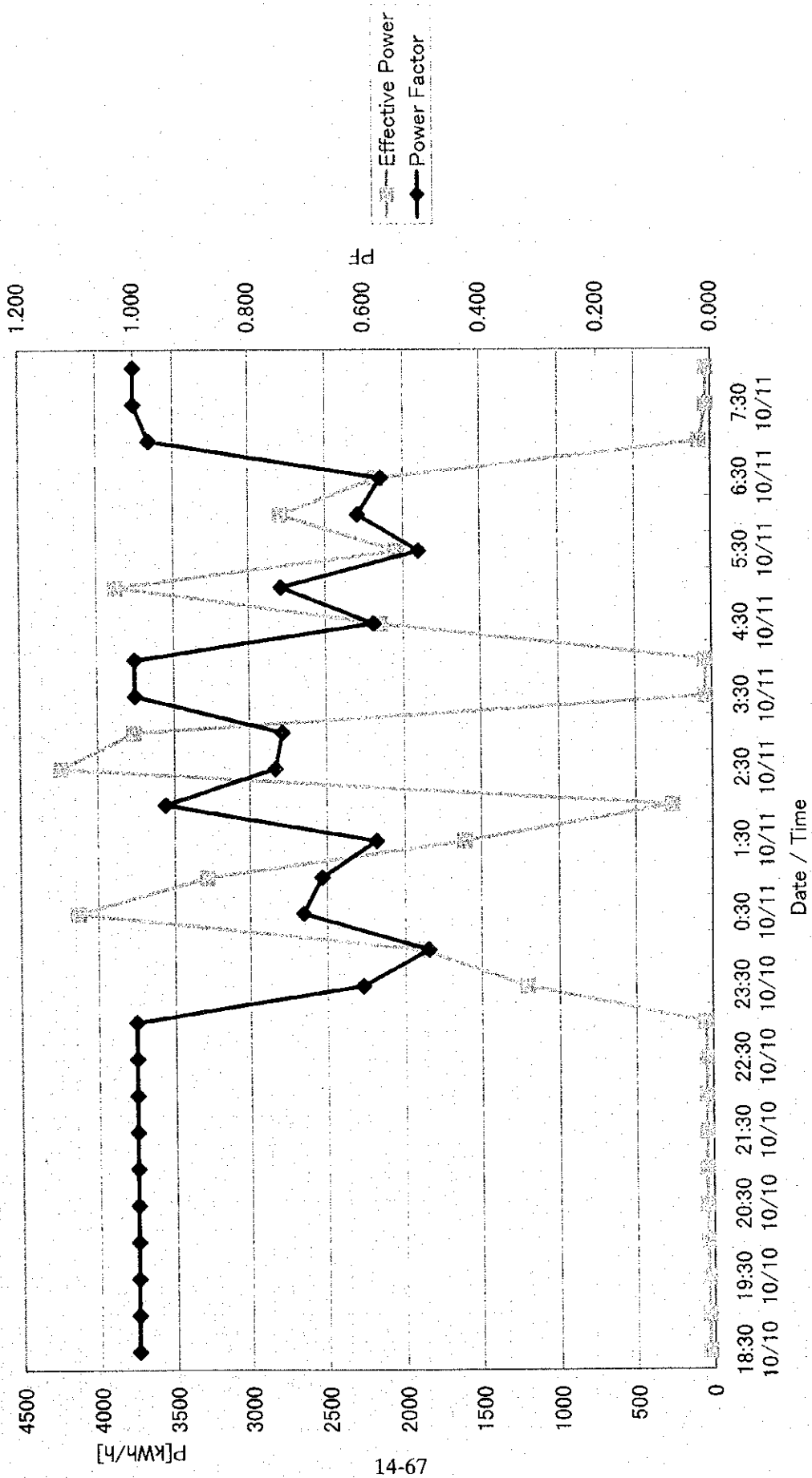


Figure 14-17 Electricity and Power Factor for New Shredder Plant

Table 14-17 Electricity Consumption for Rod Mill 1

DATE	TIME	Voltage [kV]		Current [A]				Effective Power [MWh/h]	Frequency [Hz]	Power Factor
		V1	V2	I1	I2	I3	Ave.			
10/8	17:00	11.09	11.12	139.6	149.3	144.2	144.4	3.296	50.11	0.940
10/8	17:30	11.11	11.13	241.8	254.8	241.7	246.1	3.850	50.08	0.742
10/8	18:00	10.95	10.96	331.0	350.4	336.0	339.1	4.244	50.07	0.660
10/8	18:30	10.98	11.00	160.4	169.2	166.9	165.5	3.400	50.06	0.857
10/8	19:00	11.01	11.02	324.1	341.7	326.3	330.7	4.270	49.97	0.648
10/8	19:30	11.00	11.02	328.7	347.4	331.2	335.8	3.910	49.96	0.707
10/8	20:00	11.02	11.08	138.7	144.9	141.8	141.8	3.920	50.19	0.727
10/8	20:30	11.08	11.09	316.4	335.8	321.0	324.4	4.088	50.05	0.682
10/8	21:00	10.98	11.02	341.5	358.3	346.2	348.7	3.806	50.12	0.740
10/8	21:30	11.02	10.97	325.8	337.8	324.1	329.2	4.140	50.02	0.683
10/8	22:00	10.93	10.97	292.9	306.3	294.0	297.7	4.030	49.92	0.720
10/8	22:30	11.22	11.22	331.1	350.4	334.4	338.6	4.304	50.02	0.652
10/8	23:00	10.70	10.75	268.8	277.1	277.3	274.4	3.706	50.11	0.781
10/8	23:30	10.96	10.98	286.6	302.7	293.0	294.1	4.186	50.01	0.684
10/9	0:00	11.12	11.17	138.7	142.7	137.9	139.8	3.554	50.03	0.851
10/9	0:30	11.08	11.11	141.0	152.2	151.2	148.1	3.206	50.05	0.960
10/9	1:00	10.93	10.94	142.5	143.9	140.4	142.3	4.024	50.02	0.716
10/9	1:30	10.89	10.95	135.4	140.9	135.6	137.3	3.050	49.95	0.997
10/9	2:00	10.90	10.95	138.0	143.1	137.9	139.7	3.042	50.00	0.998
10/9	2:30	11.07	11.12	136.2	139.4	134.1	136.5	3.036	50.01	0.999
10/9	3:00	11.02	10.97	139.0	139.8	141.3	140.0	3.226	49.96	0.981
10/9	3:30	11.02	11.02	144.0	150.6	143.5	146.1	3.120	49.61	0.996
10/9	4:00	11.02	11.05	154.0	163.2	155.7	157.7	3.170	50.00	0.987
10/9	4:30	11.04	11.09	152.7	159.4	152.7	154.9	3.474	49.86	0.906
10/9	5:00	10.99	10.98	157.5	164.2	158.1	159.9	3.496	50.03	0.909
10/9	5:30	11.15	11.21	158.8	166.8	153.0	159.6	3.590	49.93	0.876
10/9	6:00	11.08	11.11	155.8	163.3	155.9	158.3	3.950	50.12	0.767
10/9	6:30	11.13	11.16	447.3	438.4	427.1	437.6	4.176	50.08	0.713
10/9	7:00	11.25	11.29	146.3	155.6	146.5	149.5	3.908	50.12	0.746
10/9	7:30	11.09	11.11	352.8	362.5	354.6	356.6	3.312	50.08	0.930
10/9	8:00	11.08	11.03	155.9	159.3	156.7	157.3	3.816	50.15	0.766
10/9	8:30	10.99	11.01	156.7	165.0	156.7	159.5	3.622	50.01	0.849
10/9	9:00	11.01	11.03	138.5	149.5	147.3	145.1	3.964	49.88	0.732
10/9	9:30	10.96	11.06	403.8	398.4	391.0	397.8	4.932	50.06	0.593
10/9	10:00	11.12	11.16	427.9	425.4	409.2	420.8	4.526	50.05	0.645
10/9	10:30	10.82	10.98	120.6	129.8	119.1	123.1	3.772	49.90	0.731
10/9	11:00	11.12	11.14	120.1	122.4	120.4	121.0	2.700	50.05	1.000
10/9	11:30	10.90	10.97	136.4	140.4	132.0	136.3	2.714	50.06	1.000
10/9	12:00	10.94	10.99	373.7	369.6	351.1	364.8	3.394	50.08	0.923
10/9	12:30	11.05	11.08	372.4	363.9	350.3	362.2	3.774	50.08	0.839
10/9	13:00	11.18	11.21	381.6	380.4	365.2	375.7	4.774	50.11	0.627
10/9	13:30	11.14	11.17	320.0	324.1	310.9	318.4	4.838	50.00	0.616
10/9	14:00	11.09	11.15	337.3	330.8	324.7	330.9	4.666	49.94	0.643
10/9	14:30	11.28	11.32	276.7	271.0	264.0	270.6	4.318	50.06	0.692
10/9	15:00	11.11	11.14	342.7	341.8	327.7	337.4	4.074	50.08	0.769

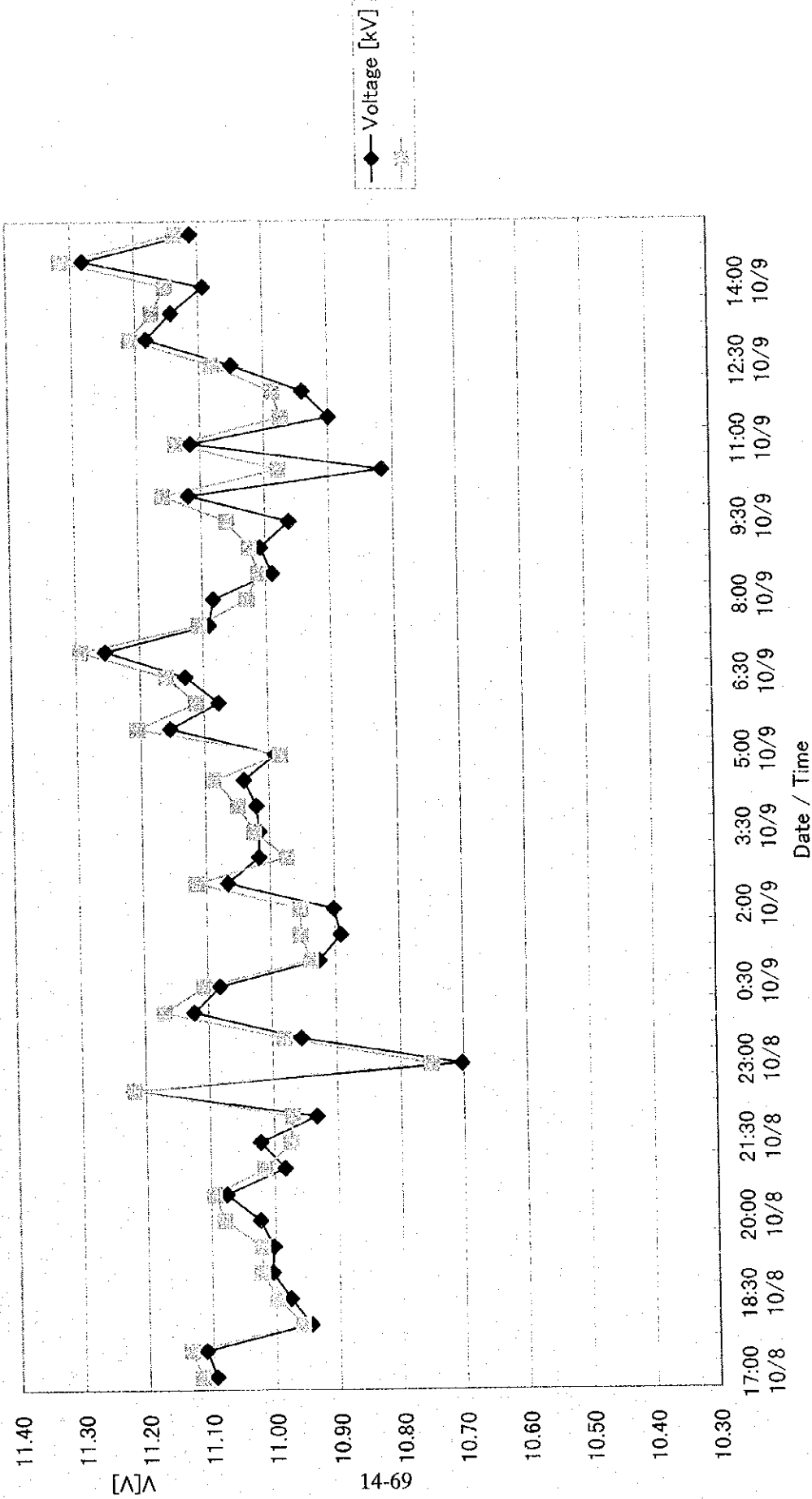


Figure 14-18 Voltage for Rod Mill 1

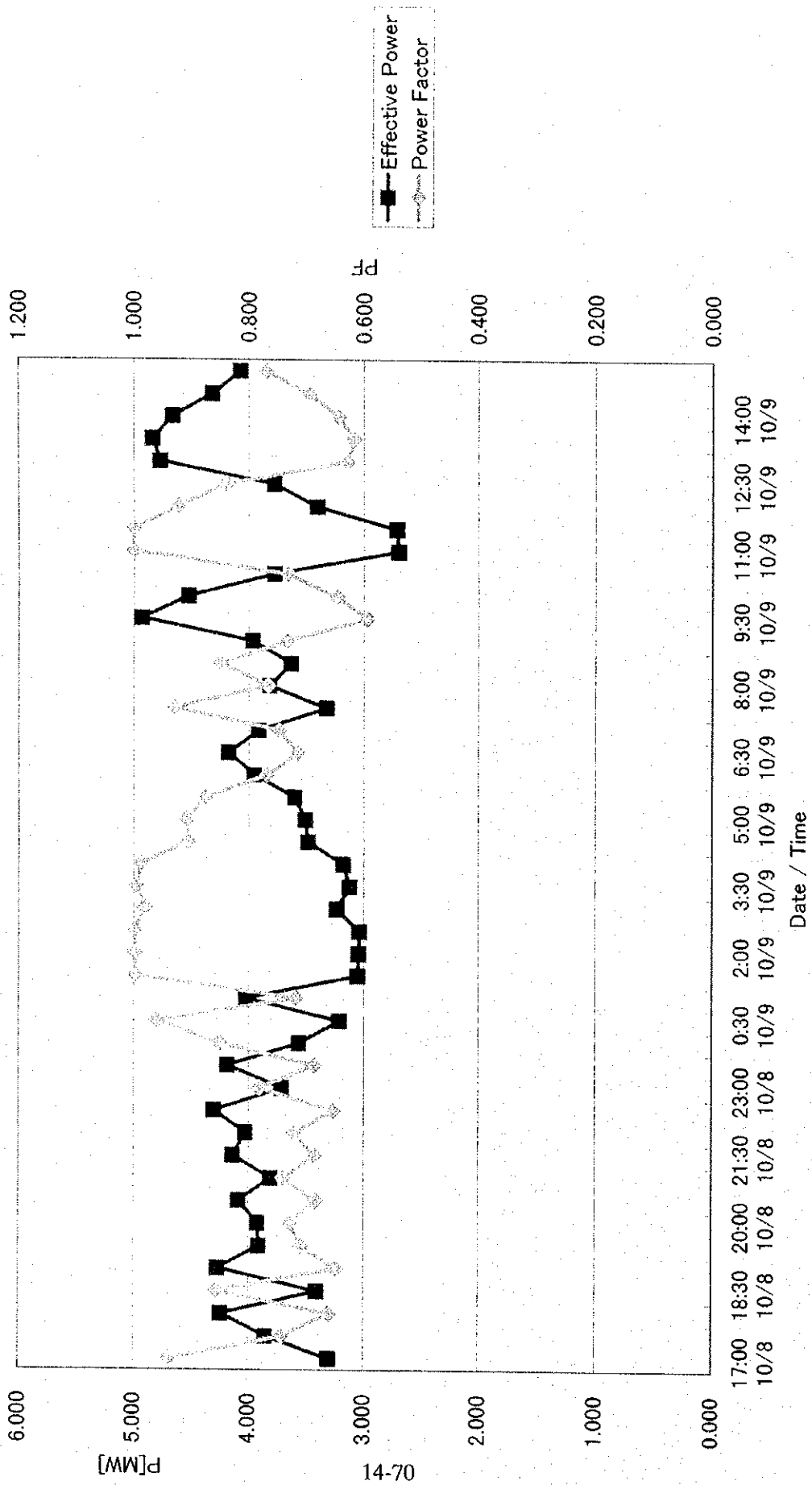


Figure 14-19 Electricity - Power Factor for Rod Mill

14-9-3 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-レベル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、今回の診断では実施しない。

(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 14-18 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、仕訳は細やかでない）の購入時の仕訳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）を基礎資料として純粋な特殊鋼製造工場を除いて20工場を抜き出し、高級鋼製造工場7工場、スクラップ構成が偏っている工場4工場（“特殊スクラップ工場”と記載）、量産工場（前記2種の工場を除いたもの）9工場に層別した。

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14-19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14-20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ろうか。

(c) 酸素原単位と歩留の関係を図14-21に示す。ASM社の傾向も日本の傾向も酸素の使用量増に従って歩留りが低下している。ASM社は日本の範囲の比較的良好レベルに有る。

(d) 酸素原単位と加炭材原単位を図14-22に示す。酸素1Nm³/tあたりの加炭材使用量は、0.2kg/tから1kg/tの範囲にある。ASM社は中程度の0.7kg/t程度の加炭材を使用している。熱効率が悪いことを配慮すると、加炭材の使用を増加させて、スラグ量を増し、アーク熱をより効率的に伝達できるのではないかと推測する。

Table 14-19 Classification of Japanese Steel Shops

Steel shop		Furnace capacity (t)	Product mixture(%)		Scrap deviation			
			Machine structural use	Alloy steel	Typical grade	Charged ratio(%)	Normal level	
High grade steel shop	①Ai	80	20	80	Heavy Mill return	50 17	-	
	②T.S	110	40	40	Others Trimming Shredder	60 10 10	-	
	③YD	20	30	20	Trimming Turnings	70 25	-	
	④TP	120	2	15	Heavy Turnings Trimming	30 17 15	-	
	⑤GH	70	70		Heavy Trimming Pig iron	50 12 10	-	
	⑥Ks	60	10	2	Heavy Trimming Pig iron	45 20 10	-	
	⑦As	60	20		Heavy Pig iron Turnings Trimming	50 12 12 5-25	-	
	Special scrap shop	⑧KK	30	0	0	Shredder	50	0-10
		⑨NS	40	0	0	Turnings	25	0-10
		⑩NK	70	0	0	Heavy	75	40-60
		⑪Go	70	0	0	Pig iron	22	3-10
Commercial grade shop	8 steel shop							

3) 電力原単位の省エネルギー期待値

図 14-20 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 程度であるが、原料事情が変動するので、15kWh/t 程度が期待値と考える。(表 14-20)

Table 14-20 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

4) 歩留りの期待値

図 14-21 より，歩留り改善の期待値は，無視できる程度である。

5) 加炭材使用量の適正化所要量期待値

図 14-22 より，加炭材使用量の適正值の期待値は，推定不可能である。

(3) 改善の実現性についての補足説明

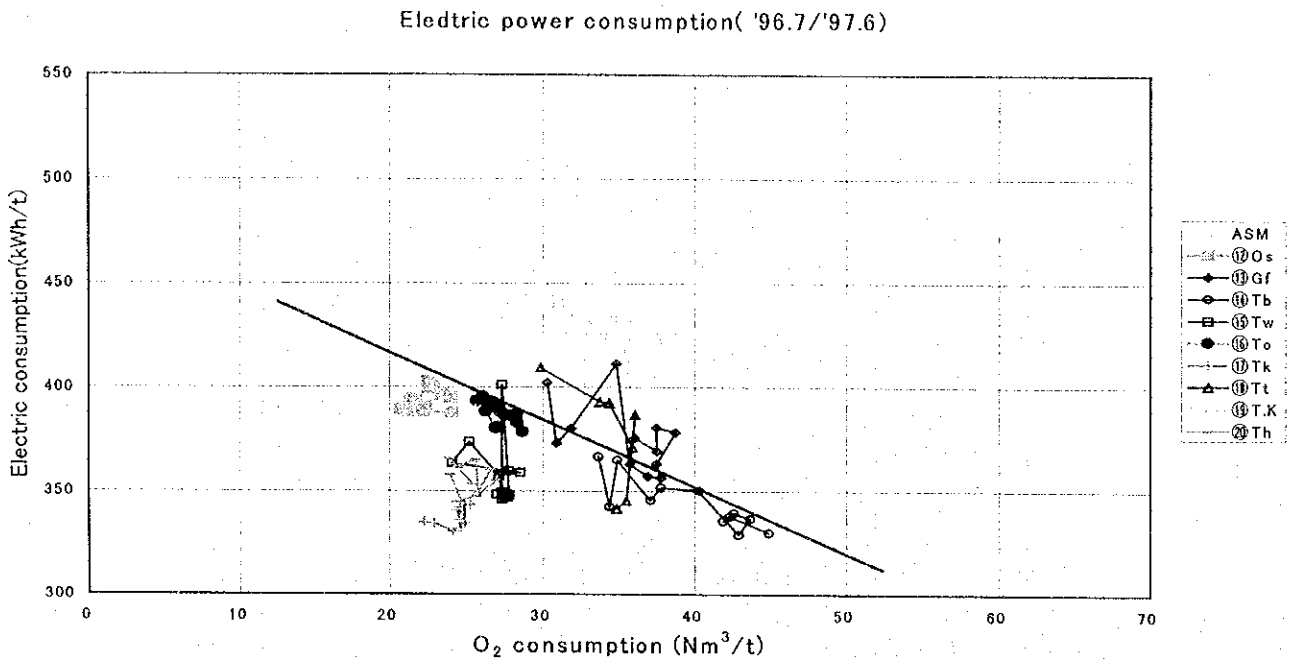
- 1) 日本の複数の工場の実績値から，ASM 社の状況に類似した事例を抽出して，改善の期待値を推定した。歩留りも良く，多量の酸素（35Nm³/t）を使用しているにもかかわらず電力原単位が劣っている状況を，炉内での熱の伝達が劣っていることによると判断し，スラグの沸騰状況を大きくする事により効率を高めることに着目した。このために若干の加炭材の使用増を提案する。また，増加した加炭材は，炉内での熱発生も増加させる。
- 2) 加炭材の燃焼熱を有効に炉内装入物に伝達するために，酸素ランスの使用法を熔融浴深部に位置させるように操作し，熔融鋼相に影響を与える。このランス操作により，突然の激しい沸騰のような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

Table 14-21 Furnace Parameters

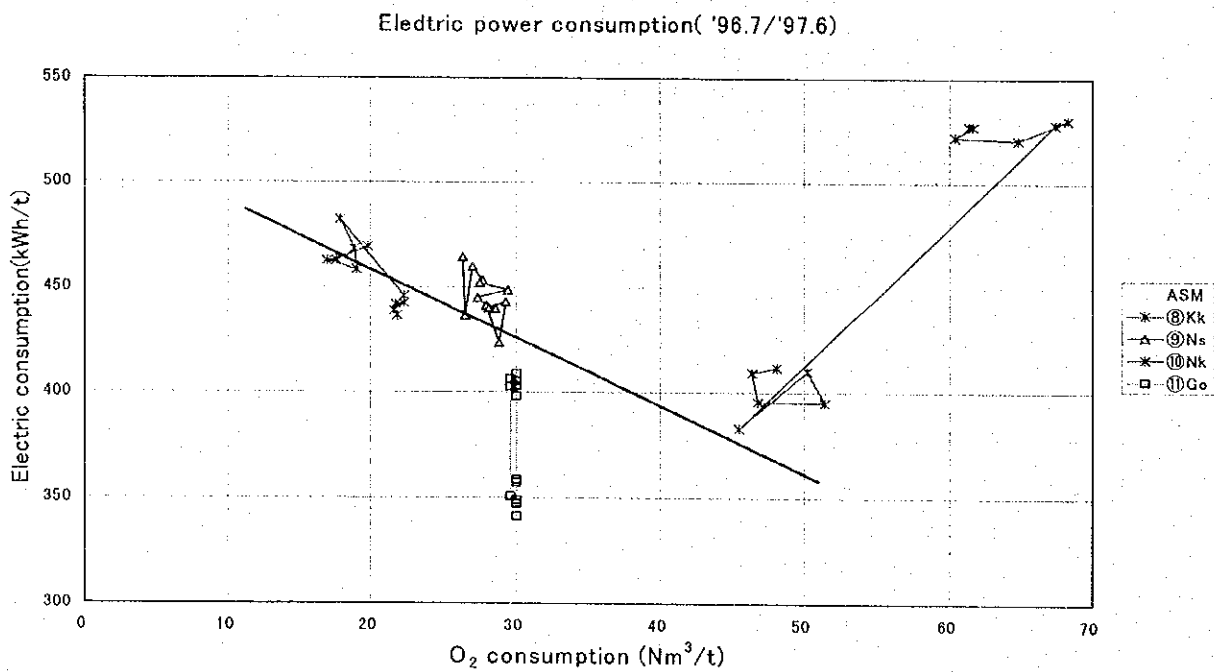
Classific.	Mark	Commence. Date	Nominal Capacity	Shell Diameter	Transformer capacity	Burner	SPH (1) (2)	kVa/t
Special steel	①Ai	82.01	80	6.7	75	3	*	940
	②T.S	74.08	110	7.0	58	4	*	530
	③YD	74.12	20	3.9	16.5	2	*	830
	④TP	70.12	120	6.5	56	7	*	470
	⑤GH	72.01	70	5.8	35	3	*	500
	⑥Ks	81.05	60	5.8	41	1		680
	⑦As	72.12	60	5.7	45		*	750
Special scrap	⑧Kk	62.03	30	4.6	12.5	2		420
	⑨Ns	91.03	40	5.5	60		*	1,500
	⑩Nk	92.12	70	6.7	78	4		1,110
	⑪Go	84.12	70	6.3	50	2	*	710
Commercial grade	⑫Os	63.04	40	4.9	22	3		550
	⑬Gf	75.06	100	6.7	60	3		600
	⑭Tb	62.04	200	8.0	70	15		350
	⑮Tw	71.07	60	5.8	36	4	*	600
	⑯To	92.04	150	8.0	140			930
	⑰Tk	89.08	130	7.0	100		*	770
	⑱Tt	96.10	60	6.5	55		*	920
	⑲T.K	95.05	150	7.2	71.5	5	*	480
⑳Th	75.04	150	7.0	55	4	*	370	
AMSTEEL		93	85	5.8	80			940

Notes: (1) SPH means Scrap Preheater.

(2) * means "with SPH".



**Figure 14-20-1 Oxygen Consumption and Electric Power Consumption
(Commercial grade)**



**Figure 14-20-2 Oxygen Consumption and Electric Power Consumption
(Special scrap)**

Electric power consumption('96.7/'97.6)

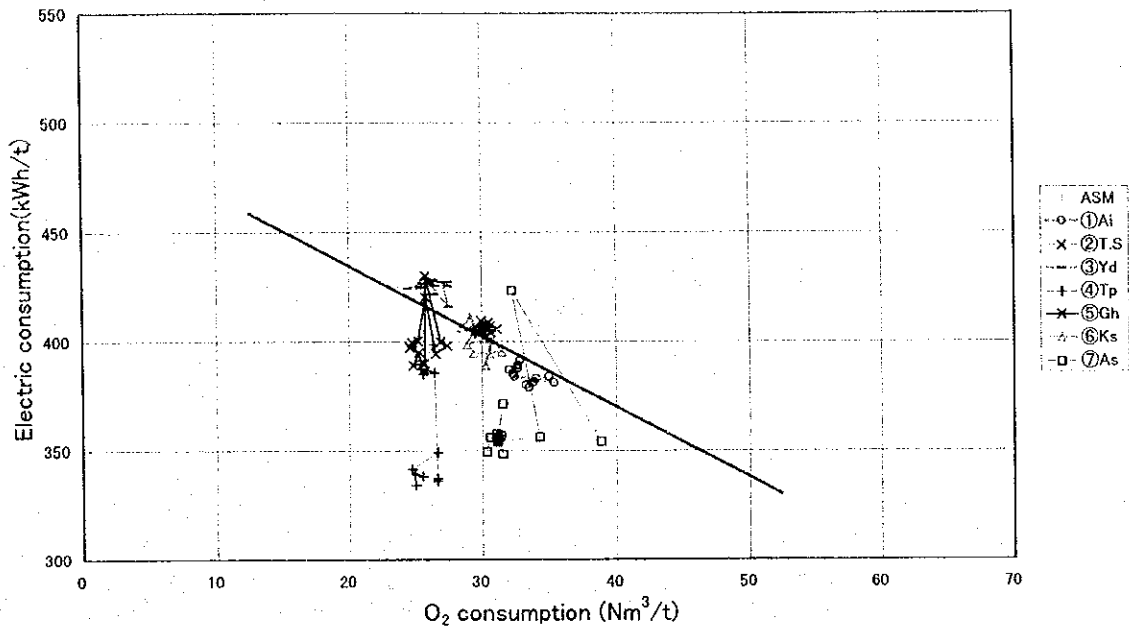


Figure 14-20-3 Oxygen Consumption and Electric Power Consumption (High grade steel)

Electric power consumption('96.7/'97.6)

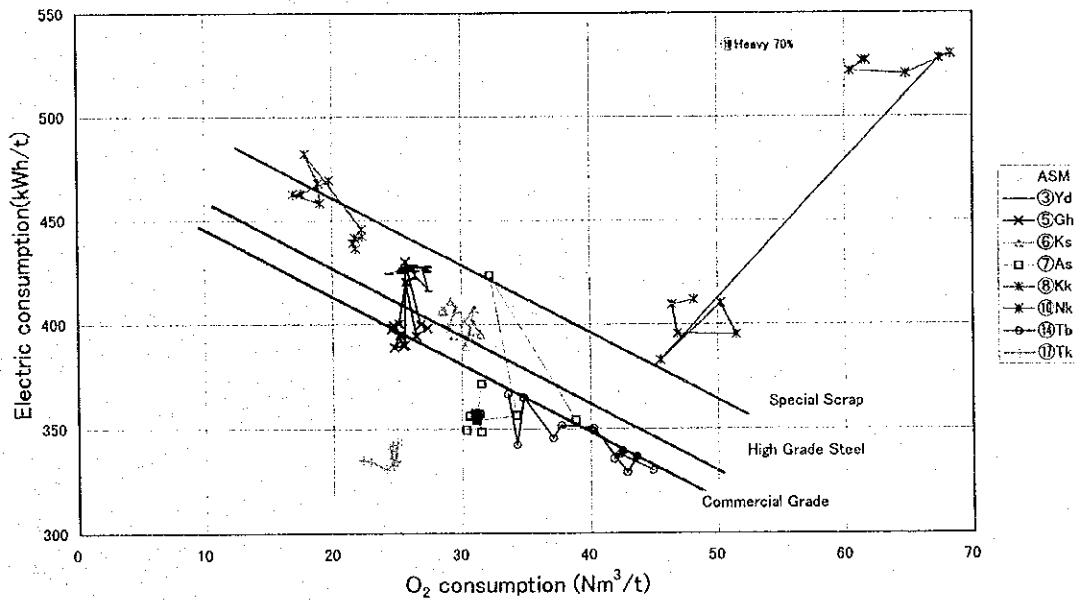


Figure 14-20-4 Oxygen Consumption and Electric Power Consumption (Summary)

Billet yield('96.7/'97.6)

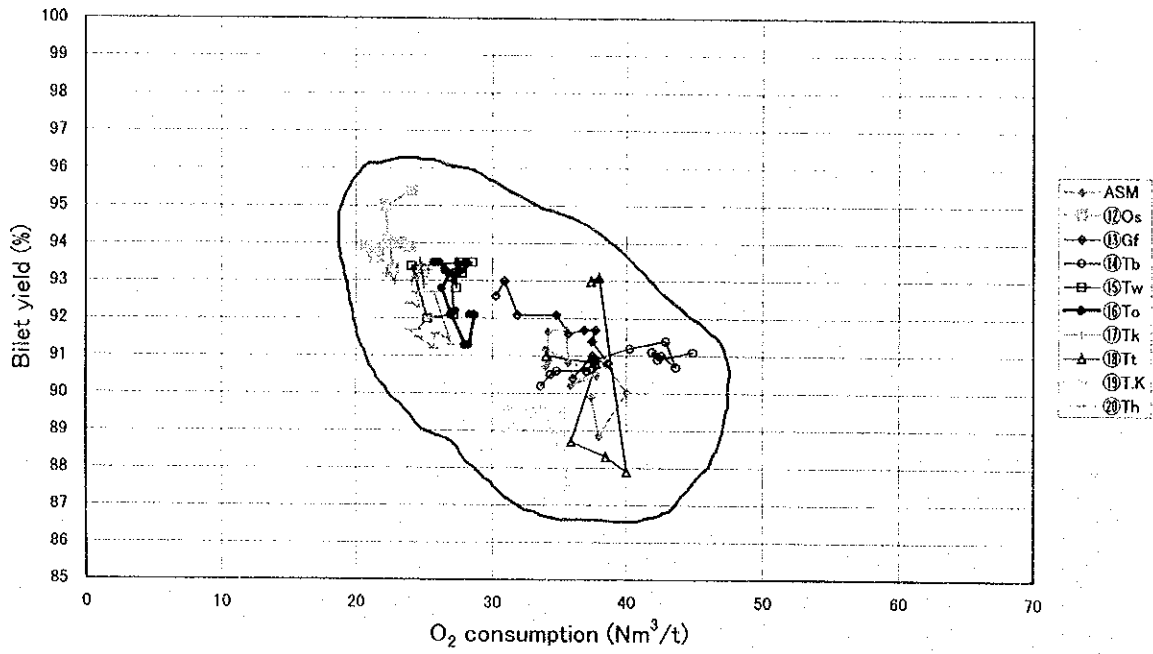


Figure 14-21-1 Oxygen Consumption and Billet Yield
(Commercial grade)

Billet yield('96.7/'97.6)

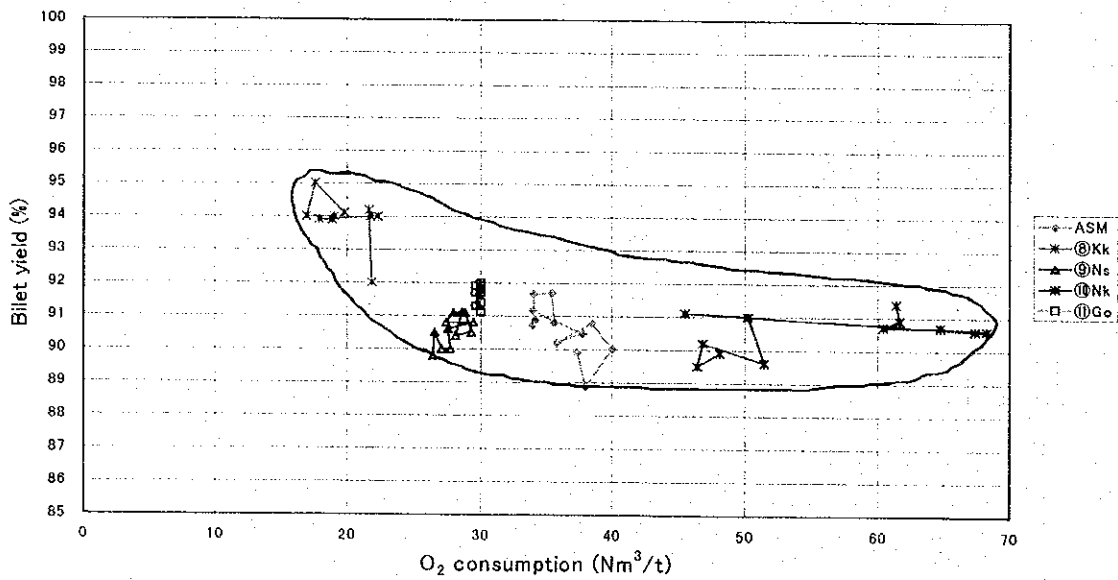


Figure 14-21-2 Oxygen Consumption and Billet Yield
(Special scrap)

Billet yield('96.7/'97.6)

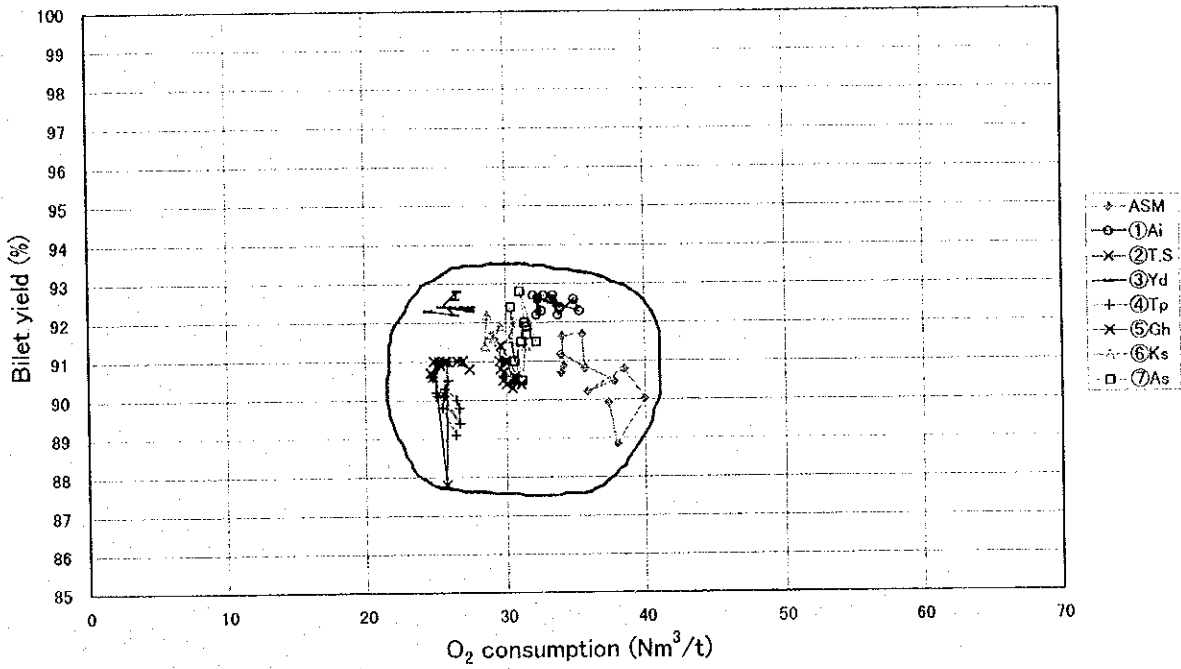


Figure 14-21-3 Oxygen Consumption and Billet Yield
(High grade steel)

Billet yield('96.7/'97.6)

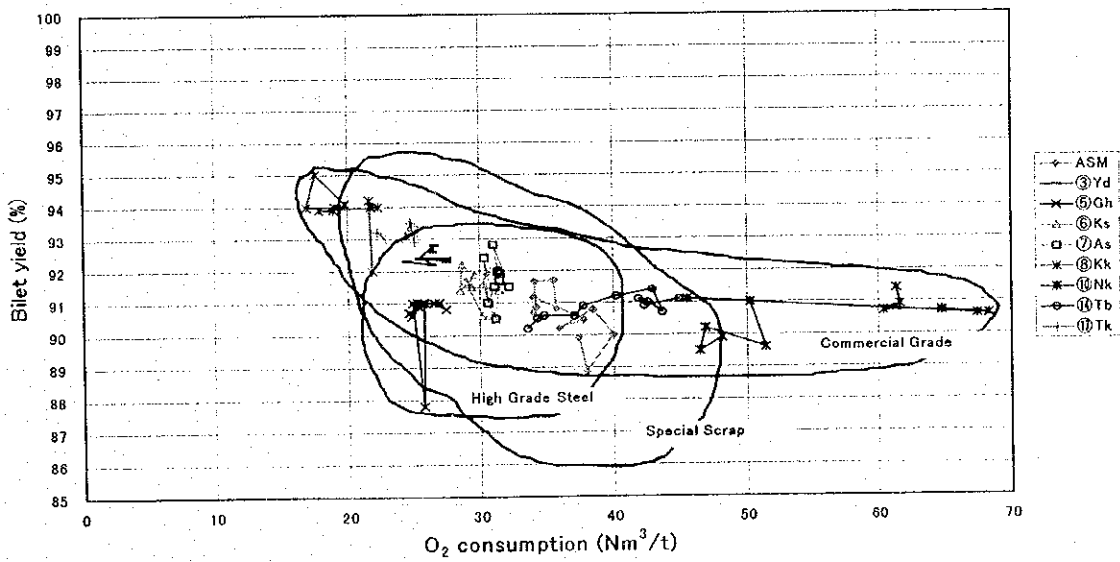
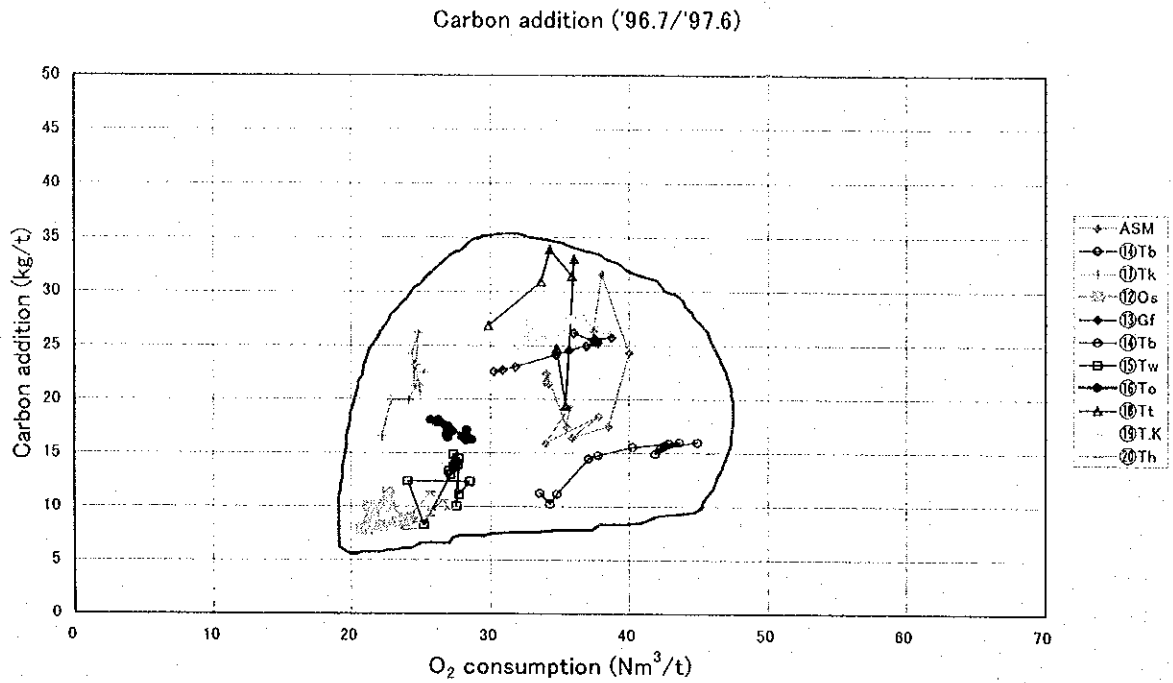
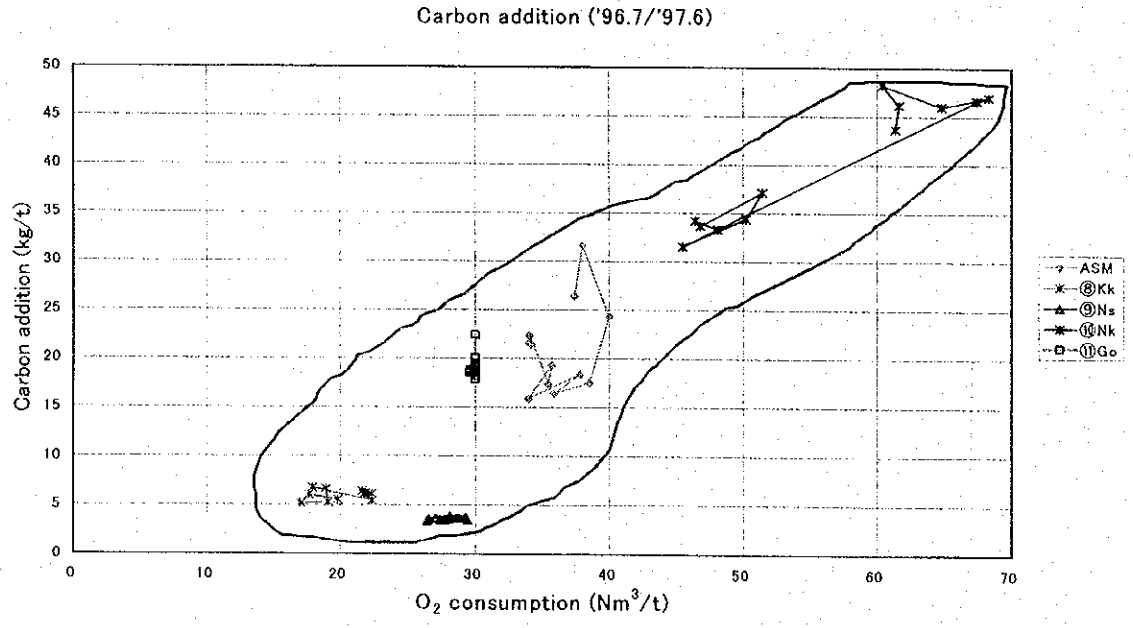


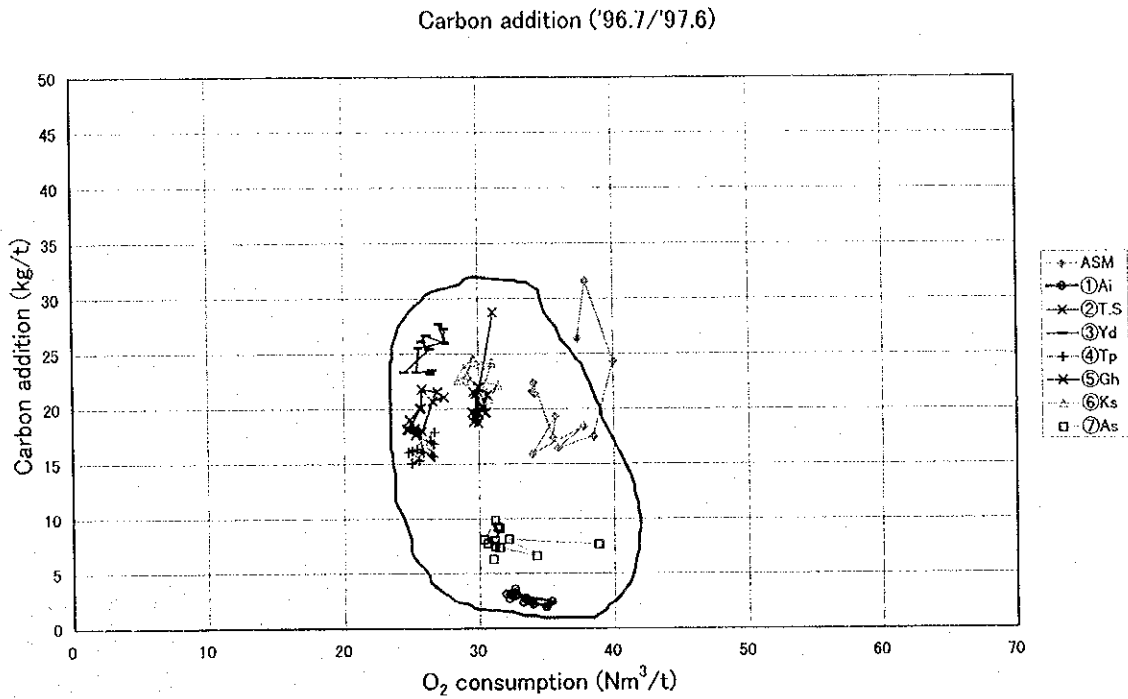
Figure 14-21-4 Oxygen Consumption and Billet Yield
(Summary)



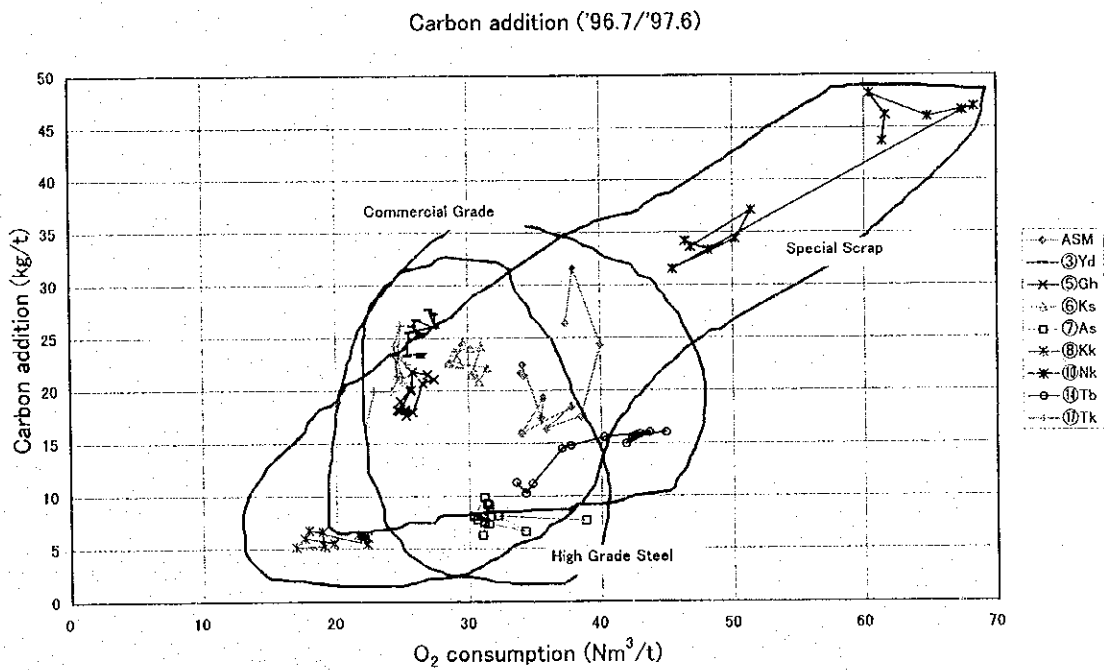
**Figure 14-22-1 Oxygen Consumption and Carbon Addition
(Commercial grade)**



**Figure 14-22-2 Oxygen Consumption and Carbon Addition
(Special scrap)**



**Figure 14-22-3 Oxygen Consumption and Carbon Addition
(High grade steel)**



**Figure 14-22-4 Oxygen Consumption and Carbon Addition
(Summary)**

14-10 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) エネルギーフロー図

エネルギーフロー図を図 14-23 に示した。

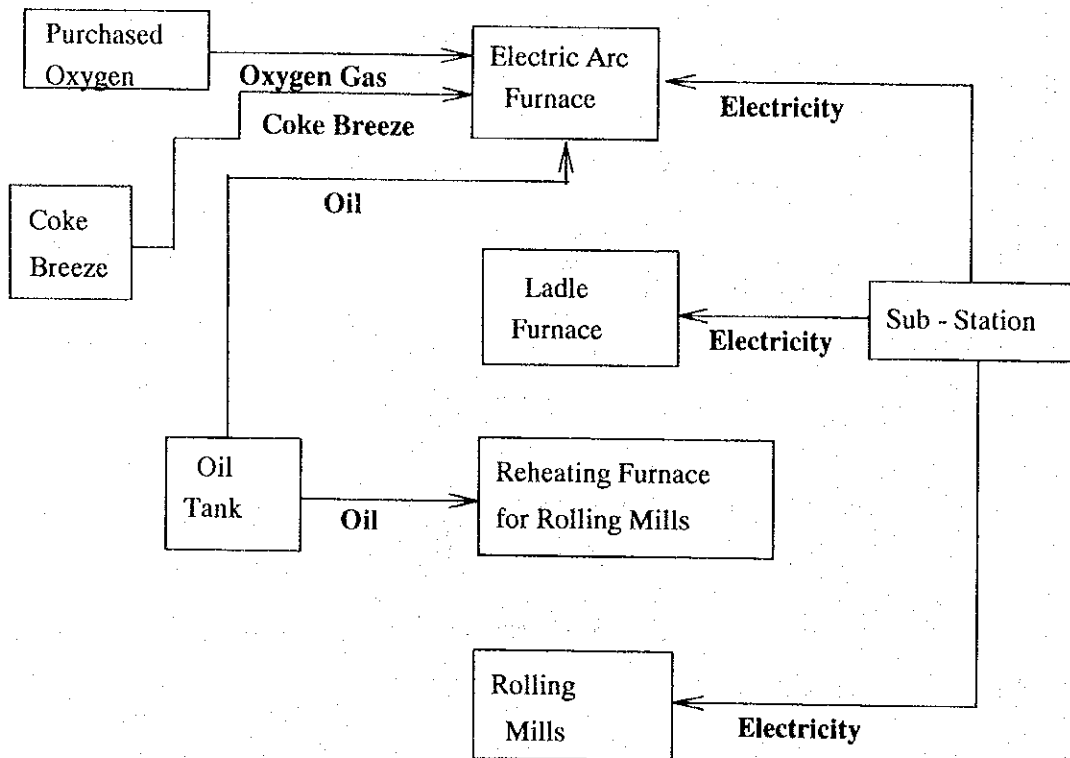


Figure 14-23 Energy Flow in ASM

(2) 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 14-22 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、取鋼精錬炉が 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 パーセント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。

1 次エネルギー換算エネルギーフロー図を図 14-24 に示した。

Table 14-22 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]	Unit [t/y]	Consumption [10 ⁶ kcal]	Unit [%]	Consumption [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	165,000	—	—	—	110,400	7.7	
Rolling Mills	760	109	82,700	33	25,440	—	—	—	—	—	428,000	29.9	
Total			443,100	100	33,363	165,000	165,000	23,887	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%)		

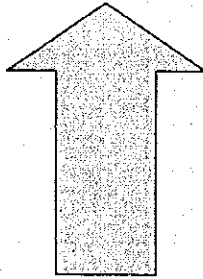
Comment:

1. Conversion factor of electricity to primary energy: 2,250 kcal/kWh
2. Low heating value of medium fuel oil: 9,463 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

(Unit: 10⁶kcal/y)

Energy Supply

Purchased Energy	1,431,200	100%
Electricity	997,000	69.7%
Medium Fuel Oil	317,000	22.2%
Coke Breeze	91,000	6.3%
Diesel Oil	1,700	0.1%
Oxygen	24,200	1.7%



Energy User

SMP	1,003,200	70.1%
EAF	813,800	56.9%
Other Fuel	192,300	13.4%
LF	79,000	5.5%
CCM(Aux)	110,400	7.7%
Rolling Mills	428,000	29.9%
Rolling Mills	186,100	13.0%
Reheating Furnaces	241,900	16.9%
Electricity	186,000	13.0%
Medium Fuel Oil	241,900	16.9%

Figure 14-24 Primary Energy Flow

14-11 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. 熱ビレット装入の導入
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

14-11-1 鋼材加熱炉

(1) 抽出鋼材温度のバラツキの低減

図 14-25 に示したように、抽出鋼材温度は 1030℃から 1097℃まで変化している。最低の温度でも圧延工程は問題なく行われた。この温度のばらつきは、ヒーティングパターンの変更タイミングの判断の遅れにより起こった。このタイミング予測を適中させることは、確かに難しいことではあるが、操炉運転員が達成しなければならない事項である。

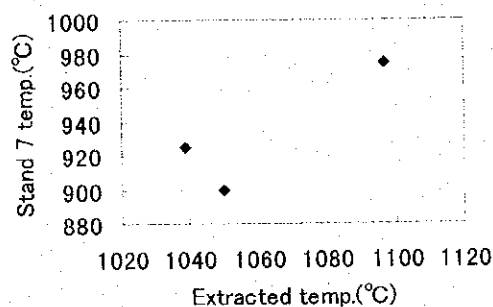


Figure 14-25 Extracted Billet Temperature

現在、鋼材抽出温度のばらつきは 60℃であり、平均温度は 1060℃であるが、改善によりばらつきは半分になると考えられ、抽出温度平均値は 1045℃になるから、

- ① 出熱の低減量を含熱量表から読み取り、 2320 kcal/t =167040-164720
- ② 熱効率で除して入熱の減少量に換算して、 4320 kcal/t =2320/(53.8/100)

③ 発熱量で除して燃料消費量を得る。 $0.46 \text{ kg/t} = 4320(\text{kcal/t})/9463(\text{kcal/kg})$

(2) 空気／燃料比の低減

空気／燃料比 (=m) を低減すると、燃焼排ガス量が低減され、エネルギー消費量が削減される。これを実現するためには、当初に設計されていて、現在は付いていない加熱炉炉尻に設置した酸素濃度計が必須である。

空気／燃料比の実績値として、気体燃料に付いては $m=1.05$ が一般に確立されているが、液体燃料に付いては、未燃燃焼が発生した場合にレキュペレーターに沈着して火災事故を起こす。したがって、液体燃料の空気／燃料比は、 $m=1.15$ が実現可能なベスト値であると考えられる。

期待される燃料消費量削減は、前提条件として；

空気／燃料比の現状の値 $m = 1.25$

改善後の $m = 1.15$ とし、これは炉尻酸素濃度 = 3.0 % で実現される。

レキュペレーターの熱回収効率は、41.0%として、現在と改善後と同一とする

レキュペレーターの燃焼空気漏洩率は21%とする。

また、下記の燃料消費率の公式；

$$\text{燃料消費率 } Vf = (Q_{fix} - Q_{sh}) / (Hl - Q_{gin} + Q_a + Q_o)$$

ここに $Q_{fix} = (\text{抽出鋼材含熱量}) + (\text{スケールの含熱量}) + (\text{炉体からの熱放散})$
 $+ (\text{その他の出熱})$

$Q_{sh} = (\text{スケールの生成熱})$

$Hl = \text{燃料の低位発熱量} = 9463 \text{ kcal/kg}$

$Q_{gin} = \text{燃焼排ガスのレキュペレーター入口での含熱量}$

$Q_a = \text{燃焼空気の炉入口での含熱量}$

$Q_o = \text{燃料油の炉入口での含熱量}$

を用いて下記計算値を得る、

$$Vf = (237,700 - 13400) / (9463 - 2620 + 1069 + 29) = 28.2 \text{ kg/t}$$

$$\text{燃料油削減率} = 1 - 28.2 / 28.7 = 1.7\%$$

(3) 炉体の熱放散の低減

通常の操業状況においては、一般的な炉体表面温度は 100°C といわれている。表 14-23 の現在の欄に示したように、均熱帯の炉壁温度は 130°C 以上の高温であったので、断熱の増強で熱損失を削減できる。

最近の技術である、化粧張りする技法は、断熱性を増強する簡便な方法である。この技法は、現存する耐火物内壁の上に耐火性のブランケットを上張りする技術である。

建設時の仕様書に従って、適切な熱伝導率を仮定し、ブランケットの厚みを 50mm に仮定することにより、放散熱量の削減量を見積した。その結果を表 14-23 に要約した。

Table 14-23 Total Heat Loss Reduction after 50mm Ceramics Fiber Blanket Veneering

Zone, area	Inside wall temperature (°C)	Outside wall temperature (°C)		Heat flux (kcal/m ² ·h)		Heat loss (kcal/t)	
		Present	Improved	Present	Improved	Present	Improved
Soaking zone	1050						
Roof		139	117	1860	1350	7680	5770
Wall		133	119	1220	980		
Heating zone	950						
Roof		104	88	1730	1250	5750	4330
Wall		104	92	1130	900		
Preheating zone	750						
Roof		88	73	1350	980	5630	3400
Wall		88	78	880	710		
Total						19060	13500
						5560	

この計算の結果もたらされる放散熱の削減の結果、燃料の削減は、

燃料消費量の公式 ; $V_f = (Q_f - Q_{sh}) / (H_l - Q_{gin} + Q_a + Q_o)$

燃料削減量の公式 ; $dV_f = dQ_f / (H_l - Q_{gin} + Q_a + Q_o)$

$$= 5560 / (9463 - 2835 + 1158 + 29) = 0.71 \text{ kgFuel/t}$$

(4) バーナの蓄熱バーナシステムへの変更

最近開発された蓄熱バーナシステムは、HRS システム (High Cycle Regenerative Combustion System) と呼ばれていて、従来の蓄熱バーナに比べて革新的なものである。従来から知られているタイプの蓄熱バーナは、蓄熱体は煉瓦か小塊 (nugget) であり、また送風切替えサイクルは数十分であった。HRS システムは、薄い壁の微細な網目のハニカムの構造で、送風切替えサイクルは 30 秒である。

その結果、HRS システムは排ガス温度を発生時の (炉温度 - 100°C) から 200°C の低温まで利用できる。

HRS システムの実用上の問題点は、液体燃料用のシステムが開発中であることである。

HRS システムの効果の算出は、前提条件として；

排ガスの出口温度 = 250℃

燃焼空気内部漏洩率 = 21%

とした結果、

燃焼空気温度 = 370℃

改善後燃料油消費量 = 27.7 kgFuel/t

となる。

(5) 熱ピレット装入の導入

現在、多くの製鉄工場で熱ピレット装入が導入されている。ピレットを熱間状態で加熱炉に装入したとき、エネルギー削減量は持ち込み熱量の増分よりも大きくなり、被加熱材料の持ち込み熱量増分を熱効率で除して得た熱量になる。

非常に幸運なことに、レイアウト上で ASM 社の線材工場の加熱炉向け装入テーブルは、連続鋳造機のデリバリーテーブルに接している。連続鋳造機のピレット棟において、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あり、Cフックもある。

熱ピレット装入を導入した場合の省エネルギー量の算出は、操業の可能性の問題であって、製鋼工場と線材圧延工場の協力により好成績となる。

省エネルギー量の概算を、前提条件；

適用率を全装入量の 10%とし、

熱ピレット温度平均値 = 500℃とすると、含熱量は 60kcal/kg であり、

持ち込み熱量増分の内、省エネルギーへの寄与比率を 80%

とした場合、得られる省エネルギー量は、

$$60,000\text{kcal/t} \times 0.8 / (53.8/100) / 9463 \text{ kcal/kgFuel} \times 0.1 = 0.9 \text{ kgFuel/t}$$

14-11-2 新シュレッダー工場の電力消費量削減

14-9-2 (6)項に述べたように、工場停止中の用途不明電力が削減された場合の省エネルギー量は、電力量削減 35kwh/h が可能と考えられる。

14-11-3 電気炉の電力消費量削減

14-9-3 (3)項に述べたように、電気炉操業において酸素ランスを深くし積極的な沸騰を起こさせることにより、電力消費量 15kWh/t が可能になると考えられる。

14-12 省エネルギー対策の技術選定

表 14-24 に上述した改善諸対策の要約を記載した。

Table 14-24 Summary of Selected Measures

S.No.	Item/Description	Measures	Fuel/Electricity saving
1	Reduction of Temp. Variation of Extr'd Material Present R=60°C Average = 1060°C Improved 30°C 1045°C	Standardization of Operation	2340kcal/t / (53.8/100) / 9463 kcal/kgFuel = 0.46 kgFuel/t
2	Reduction of air/fuel ratio Present m = 1.25 O ₂ = 4.4% Improved 1.15 3.0%	Oxygen Content Meter	28.7 - 28.2 = 0.5 kgFuel/t
3	Reduction of heat loss from furnace wall Present Heat loss 19060 kcal/t Improved 13500kcal/t	50mm Ceramics Fiber Blanket Veneering	(19060 - 13500) /(9463 - 2835 + 1158 + 29) = 0.71 kgFuel/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	28.7 - 27.7 = 1.0 kgFuel/t
5	Introduction of hot billet charging Assuming: Tonnage application ratio = 10% Mean charged temp. = 500°C Energy contribution rate in increasing input heat content of billet = 80%.	Operation by Crane (installed)	60000kcal/t x 0.8 / (53.8/100) / 9463 kcal/kgFuel x 0.1 = 0.9 kgFuel/t
6	Reduction of electricity consumption for New shredder plant	Checking condition	35kW h/h
7	Reduction of electricity consumption for EAF	Standardization of Operation	15kW h/t

14-13 省エネルギー対策のコスト

14-13-1 鋼材加熱炉の省エネルギー対策コスト

(1) 抽出鋼材温度のバラツキの低減

この対策には設備コストは不要である。

(2) 空気／燃料比の低減

- 1) 酸素濃度計及び付属機器
- 2) 排ガス中酸素制御のソフトウェア供給
- 3) 現地設置工事
- 4) 工事監督費

建設費総計¥5,400,000。

(3) 炉体の熱放散の低減

- 1) 化粧張り材料費（408m²）及び接着剤
- 2) 設置工事
- 3) 工事監督費

建設費総計¥9,000,000。

(4) バーナの蓄熱バーナシステムへの変更

- 1) 蓄熱バーナ及び付属機器（10 対）
- 2) 交互燃焼及び炉圧制御システム
- 3) 炉殻再構築工事
- 4) ダクト及び配管工事
- 5) 運搬
- 6) 工事監理及び試運転調整費

建設費総計¥237,500,000。

(5) 熱ピレット装入の導入

この対策には設備コストは不要である。

14-13-2 新シュレッダー工場の電力消費量削減

この対策には設備コストは不要である。

14-13-3 電気炉の電力消費量削減

この対策には設備コストは不要である。

14-14 省エネルギーポテンシャル

14-14-1 鋼材加熱炉の諸対策の省エネルギーポテンシャル

14-11 項に述べた如く、各対策のポテンシャルは下記の通りである。

- (1) 抽出鋼材温度のバラツキの低減
燃料消費量削減が 0.46kg/t 可能である。
- (2) 空気/燃料比の低減
燃料消費量削減が 0.5kg/t 可能である。
- (3) 炉体の熱放散の低減
燃料消費量削減が 0.71kg/t 可能である。
- (4) パーナの蓄熱パーナシステムへの変更
燃料消費量削減が 1.0kg/t 可能である。
- (5) 熱ピレット装入の導入
燃料消費量削減が 0.9kg/t 可能である。

14-14-2 新シュレッダー工場の省電力対策の省エネルギーポテンシャル

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。したがって、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)

一次エネルギーに換算した省エネルギーポテンシャルは、 460×10^6 kcal/年である。ピレット重量当りでは、700kcal/t である。

(省エネルギーポテンシャル = 204,400kWh/年 × 2,250kcal/kWh)

ピレット重量当り省エネルギーポテンシャル = 460×10^6 kcal/年 / 660,000t/年)

14-14-3 電気炉の電力消費量削減対策の省エネルギーポテンシャル

電力原単位削減可能量が 15kWh/t 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/h × 660,000t/年)

一次エネルギーに換算した省エネルギーポテンシャルは、 $22,275 \times 10^6$ kcal/年である。ピレット重量当りでは、33,750kcal/t である。

14-15 省エネルギー効果

14-15-1 鋼材加熱炉の諸対策の省エネルギー効果

14-14-1 項の総括が示すように、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/t であり、年間で 1,350t である。

14-15-2 新シュレッダー工場の省電力対策の省エネルギー効果

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

14-15-3 電気炉の電力消費量削減対策の省エネルギー効果

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

14-16 省エネルギー対策の便益

本節では、省エネルギーポテンシャルが推算された7つの省エネルギー対策に対する便益をASMのエネルギー価格に基づき推算する。

14-16-1 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

14-16-2 対策の便益

(1) 抽出鋼材温度のバラツキの低減

この対策の便益は下の表14-25に示す計算によって56,542 RM/yearと推算される。

Table 14-25 Estimation of Benefit from
"Reduction in Temperature Variation of Extracted Material"

Item	Estimated Values	Remarks
① Fuel Saving	0.46 kg-Fuel/ton-billet	Potential from the section 14-14
② Annual Fuel Saving	174.8 ton-Fuel/year	① x 380,000 ton-billet/year / 1,000
③ Saving in Fuel Bill	56,542 RM/year	② x 323.5 RM/ton-Fuel

(2) 鋼材加熱炉の空気/燃料費の低減

この対策の便益は表14-26に示すように、61,459 RM/yearと推算される。

**Table 14-26 Estimation of Benefit from
“Reduction in Air/Fuel Ratio of Reheating Furnace”**

Item	Estimated Values	Remarks
① Fuel Saving	0.5 kg-Fuel/ton-billet	Potential from the section 14-14
② Annual Fuel Saving	190 ton-Fuel/year	① x 380,000 ton-billet/year / 1,000
③ Saving in Fuel Bill	61,459 RM/year	② x 323.5 RM/ton-Fuel

(3) 鋼材加熱炉炉体からの熱放散低減

この対策の便益は、表 14-27 の計算によって 87,272 RM/year と推算される。

**Table 14-27 Estimation of Benefit from
“Reduction in Heat Loss from Reheating Furnace Wall”**

Item	Estimated Values	Remarks
① Fuel Saving	0.71 kg-Fuel/ton-billet	Potential from the section 14-14
② Annual Fuel Saving	269.8 ton-Fuel/year	① x 380,000 ton-billet/year / 1,000
③ Saving in Fuel Bill	87,272 RM/year	② x 323.5 RM/ton-Fuel

(4) 鋼材加熱炉バーナの蓄熱バーナへの変更

この対策の便益は、表 14-28 の計算によって 122,918 RM/year と推算される。

**Table 14-28 Estimation of Benefit from
“Replacement of Reheating Furnace Burner with Regenerative Burner System”**

Item	Estimated Values	Remarks
① Fuel Saving	1.0 kg-Fuel/ton-billet	Potential from the section 14-14
② Annual Fuel Saving	380 ton-Fuel/year	① x 380,000 ton-billet/year / 1,000
③ Saving in Fuel Bill	122,918 RM/year	② x 323.5 RM/ton-Fuel

(5) 熱ビレット装入の導入

この対策の便益は、表 14-29 の計算によって 110,627 RM/year と推算される。

Table 14-29 Estimation of Benefit from “Introduction of Hot Billet Charging”

Item	Estimated Values	Remarks
① Fuel Saving	0.9 kg-Fuel/ton-billet	Potential from the section 14-14
② Annual Fuel Saving	342 ton-Fuel/year	① x 380,000 ton-billet/year / 1,000
③ Saving in Fuel Bill	110,627 RM/year	② x 323.5 RM/ton-Fuel

(6) 新シュレッダー工場の電力消費量削減

表 14-30 に示すように、新シュレッダー工場に対するこの対策によって 34,339 RM/year の電気代が節減されると推算される。

**Table 14-30 Estimation of Benefit from
“Reduction in Electricity Consumption for New Shredder Plant”**

No.	Item	Estimated Value	Remarks
Electricity Saving			
①	Electricity saving at peak time	178,850 kWh/year	
②	Electricity saving at off-peak time	25,550 kWh/year	
Saving in Electricity Bill			
③	Electricity saving at peak time	31,835 RM/year	① x 0.178 RM/kWh
④	Electricity saving at off-peak time	2,504 RM/year	② x 0.098 RM/kWh
⑤	Saving in Electricity Bill	34,339 RM/year	③ + ④

(7) 電気炉の電力消費量削減

この電気炉に対する対策による電気代削減は、表 14-31 に示すように 1,432,200 RM/year と推算される。

**Table 14-31 Estimation of Benefit from
“Reduction in Electricity Consumption for EAF”**

No.	Item	Estimated Value	Remarks
Electricity Saving			
①	Electricity saving at peak time	5,775,000 kWh/year	
②	Electricity saving at off-peak time	4,125,000 kWh/year	
Saving in Electricity Bill			
③	Electricity saving at peak time	1,027,950 RM/year	① x 0.178 RM/kWh
④	Electricity saving at off-peak time	404,250 RM/year	② x 0.098 RM/kWh
⑤	Saving in Electricity Bill	1,432,200 RM/year	③ + ④

14-17 省エネルギー対策の財務分析

本節では投資を必要とする以下の対策の財務的フェ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

また、設備コストを必要としない4つの省エネルギー対策「抽出鋼材温度のバラツキ低減」、「熱ピレット装入の導入」、「新シュレッダー工場の電力消費量削減」および「電気炉の電力消費量削減」については財務分析の対象外とする。

14-17-1 財務分析の方法

(1) 適用する方法

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

(2) 回収期間

正味キャッシュフローは以下のように定義される。

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

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

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

(2) 内部収益率 (IRR)

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

14-17-2 財務分析の前提

財務分析は以下の前提のもとで行われる。

- 1) 為替レート： $US\$ 1 = RM 3.8; US\$ 1 = JY 118$
- 2) プロジェクト・ライフ： 運転開始から 15 年

- 3) 法人税率： 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、14-13 節の日本円表示から変換し表 14-32 に示す。

Table 14-32 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

14-17-3 財務分析の結果

表 14-33 に、上記対策に対する税引き前 FIRROI、税引き後 FIRROI および回収期間を示す。また、表 14-34 から 14-36 にこれらの対策のキャッシュ・フロー表を示す。

Table 14-33 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.

Table 14-34 Cash Flow Table (Measure: Reduction in Air/Fuel Ratio of Reheating Furnace)

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Less: Fixed investment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plus: Reduction in operating cost	0	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459
Less: Corporate tax increased	0	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774	14,774
Incremental Cash Flow (before Tax)	-173,898	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459	61,459
Incremental Cash Flow (After Tax)	-173,898	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685	46,685
Cumulative net cash flow	-173,898	-127,213	-80,528	-33,843	12,842	59,528	106,213	152,898	199,583	246,268	292,954	339,639	386,324	433,009	479,694	526,380
Depreciation	0	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695	8,695

Table 14-35 Cash Flow Table (Measure: Reduction in Heat Loss from Reheating Furnace Wall)

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Less: Fixed investment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plus: Reduction in operating cost	0	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272
Less: Corporate tax increased	0	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379	20,379
Incremental Cash Flow (before Tax)	-289,831	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272	87,272
Incremental Cash Flow (After Tax)	-289,831	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893	66,893
Cumulative net cash flow	-289,831	-222,937	-156,044	-89,150	-22,257	44,637	111,530	178,424	245,317	312,211	379,104	445,998	512,891	579,785	646,678	713,572
Depreciation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 14-36 Cash Flow Table (Measure: Replacement of Reheating Furnace Burner with Regenerative Burner System)

Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Less: Fixed investment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plus: Reduction in operating cost	0	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918
Less: Corporate tax increased	0	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659	-72,659
Incremental Cash Flow (before Tax)	-7,648,305	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918	122,918
Incremental Cash Flow (After Tax)	-7,648,305	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577	195,577
Cumulative net cash flow	-7,648,305	-7,452,728	-7,257,150	-7,061,573	-6,865,995	-6,670,418	-6,474,840	-6,279,263	-6,083,685	-5,888,108	-5,692,530	-5,496,953	-5,301,375	-5,105,798	-4,910,220	-4,714,643
Depreciation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

14-17-4 財務分析の結論

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

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。

14-18 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での最適値である 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℃とされているが、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転変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する。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ビレット装入の導入

熱ビ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、この熱ビ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鑄造機のデリバリーテーブルに接している。その上、熱ビレットを連続鑄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、熱ビレット装入を 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を依存するが、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と考えられ、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。

Annex-1 熱精算計算書 (5 直目)

(1) 熱精算の基準

熱精算の基準状態は外気温度で含熱量をゼロとし、燃料の発熱量は低位発熱量とし、物質精算単位は装入鋼材 1 トン当りで行う。

(2) 測定結果

1) 被加熱鋼材

Charged material	Charged temperature	Extracted temperature	Scale loss
[t/hr]	[°C]	[°C]	[kg/t]
30.3	33	1,088	10

2) 燃料

Fuel name	Consumption	Fuel composition							Density	High heating value	Feeding temperature	Specific heat
		[kg/h]	C%	H%	O%	N%	S%	H ₂ O%				
M.F.O	870	84.8	12.2	0.1	0.4	2.3	0.1	0.1	0.98	10,125	97	0.45

3) 燃焼排ガス (レキュペレーター入口)

Temperature	Dry Exhaust gas composition			
	[°C]	CO ₂ %	O ₂ %	CO%
618	12.3	4.4	0.0	83.3

4) 冷却水 (ウォーキングハース炉であるので、水冷部材は無い)

5) 燃焼空気温度 : 303°C

6) 外気温度 : 33°C

7) 炉外壁及び天蓋温度

	Preheating zone(°C)	Heating zone(°C)	Soaking zone(°C)
Wall	88	104	133
Roof		104	139

(3) 入, 出量の計算

1) 入量

① 被加熱鋼材 圧延材料 1 トン

② 燃料油

$$870/30.3 = 28.7 \text{ kg/t}$$

③ 燃焼空気量

理論燃焼空気量 (A_0)

$$\begin{aligned} A_0 &= (1/100)[8.89 \times c + 26.7 \times (h - o/8) + 3.33 \times s] \\ &= (1/100)[8.89 \times 84.8 + 26.7 \times (12.2 - 0.1/8) + 3.33 \times 2.3] \\ &= 10.7 \text{ m}^3/\text{kg Fuel} \end{aligned}$$

空気/燃料比 (m)

$$\begin{aligned} m &= 21/[21 - 79\{(O_2 - 0.5CO)/N_2\}] \\ &= 21/[21 - 79\{4.4/83.3\}] \\ &= 1.25 \end{aligned}$$

燃料 1kg 当りの空気量 (A)

$$\begin{aligned} A &= m \cdot A_0 \\ &= 1.25 \times 10.7 \text{ m}^3/\text{kg Fuel} \end{aligned}$$

従って,

被加熱鋼材 1 トン当りの燃焼用空気量

$$\begin{aligned} &= 1.25 \times 10.7 \times 28.7 \\ &= 384 \text{ m}^3/\text{t} \end{aligned}$$

ここにおいて A_0 : 理論燃焼空気量 ($\text{m}^3/\text{kg Fuel}$)

c : 燃料中の炭素含有量 (%)

h : 燃料中の水素含有量 (%)

o : 燃料中の酸素含有量 (%)

s : 燃料中の硫黄含有量 (%)

A : 燃料 1kg 当り燃焼空気量 ($\text{m}^3/\text{kg Fuel}$)

m : 空気/燃料比

O_2 : 排ガス中酸素濃度 (%)

CO : 排ガス中CO濃度 (%)

N_2 : 排ガス中窒素濃度 (%)

2) 出量

① 抽出鋼材量

装入鋼材当り 10kg の焼き減りがあるから,

$$1 - 0.010 = 0.990 \text{ t}$$

② スケール量

スケール量は、 FeO 、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、などからなるが、スケールの成分分析を行わない場合には、スケール中の Fe の重量割合は 75.5%とされている。したがって、

$$\begin{aligned}(\text{スケール量}) &= (\text{焼き減り量}) / (\text{スケール中の Fe 重量割合}) \\ &= 10.0 / 0.755 = 13.2 \text{ kg/t}\end{aligned}$$

③ 乾き燃焼排ガス量

$$G' = G_0 + (m - 1)A_0$$

ここに、 G_0 :理論乾き排ガス量

$$\begin{aligned}&= (1/100)[8.89 \times c + 21.1(h - o/8) + 3.33 \times s + 0.80 \times n] \\ &= (1/100)[8.89 \times 84.8 + 21.1 \times (12.2 - 0.1/8) + 3.33 \times 2.3 + 0.80 \times 0.4] \\ &= 10.1 \quad \text{m}^3/\text{kg Fuel}\end{aligned}$$

$$G' = 10.1 + (1.25 - 1) \times 10.7$$

$$= 12.8 \quad \text{m}^3/\text{kg Fuel}$$

よって、

鋼材 1 トン当りの乾き排ガス量

$$= 12.8 \times 28.7$$

$$= 367 \quad \text{m}^3/\text{t}$$

④ 燃焼ガス中の水蒸気量

燃焼用空気中の湿分は無視できるので、燃焼排ガス中の水分は燃料から発生し、

$$(1/100)(9h + w) = (1/100)(9 \times 12.2 + 0.1) = 1.10 \text{ kg/kg Fuel}$$

鋼材 1 トン当りでは、

$$1.10 \times 28.7 = 31.6 \text{ kg/t}$$

(4) 入熱と出熱の計算

1) 入熱

① 燃料の発熱量

$$HI = Hh - 600(9h/100 + w/100)$$

$$= 10125 - 600(9 \times 0.122 + 0.001) = 9,463 \text{ kcal/kg Fuel}$$

鋼材 1 トン当りに基準化して、

$$9463 \times 28.7 = 271,600 \text{ kcal/t}$$

② 燃料の顕熱

燃料油の比熱を $0.45 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ とすると、

$$28.7 \times 0.45 \times (97 - 33) = 800 \text{ kcal/t}$$

③ 燃焼空気の顕熱

空気の平均比熱を $0.32 \text{ kcal}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ とすると、燃焼空気が持込む顕熱は、

$$(384 \times 0.32) \times (303 - 33) = 33,200 \text{ kcal/t}$$

④ 装入鋼材の持込む熱 (被加熱鋼材の含熱量)

装入鋼材の持込む熱量は次式による。

$$\begin{aligned} (\text{装入鋼材の含熱量}) &= (\text{装入温度における鋼材の含熱量}) \\ &\quad - (\text{外気温度における鋼材の含熱量}) \end{aligned}$$

実測の装入鋼材温度が 30℃であり、外気温度は 30℃であったので、

$$1000 \times \{-2.3 - (-2.3)\} = 0 \text{ kcal/t}$$

⑤ スケールの生成熱

加熱中に鋼材の表面の酸化反応が起こって、FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄などのスケールが生成するが、その再の反応熱がスケールの生成熱である。スケールの生成熱は FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄などのそれぞれの生成熱と、スケール中の組成割合から計算されるが、スケールの成分分析を行わないときはスケールの生成熱はその中に含まれる Fe 1kg あたり 1335 kcal/kg of Fe とせられている。

$$\begin{aligned} (\text{スケールの生成熱}) &= 1,335 \times (\text{焼き減り量}) = 1,335 \times 10.0 \\ &\quad \approx 13,400 \text{ kcal/t} \end{aligned}$$

2) 出熱

① 抽出鋼材の持ち去る熱 (抽出鋼材の含熱量)

抽出鋼材の持ち去る熱は次式による

$$\begin{aligned} (\text{抽出鋼材の含熱量}) &= (\text{抽出鋼材量}) \times \{(\text{抽出温度における鋼材の含熱量}) \\ &\quad - (\text{外気温度における鋼材の含熱量})\} \end{aligned}$$

各温度における鋼材の含熱量は表 1 に示す。

抽出温度は 1088℃であり、外気温度は 33℃であったから、表 1 の数値を補間、補外して、

$$(1,000 - 10.0) \times \{171.4 - (-2.0)\} = 171,700 \text{ kcal/t}$$

② スケールの顕熱

スケールの平均比熱は 0.215 kcal/(kg·℃) が用いられる。スケールが炉を出る際の温度は、鋼材の抽出温度と同じとする。

$$13.2 \times 0.215 \times (1,088 - 33) = 3,000 \text{ kcal/t}$$

③ 乾き燃焼排ガスの顕熱

乾き燃焼排ガスの平均比熱を 0.34 kcal/(m³_N·℃) として、

$$367 \times 0.34 \times (618 - 33) = 73,000 \text{ kcal/t}$$

④ 燃焼排ガス中の水蒸気の保有熱

水蒸気の平均比熱を 0.45 kcal/(kg·℃) として、

$$(31.6) \times 0.45 \times (618 - 33) = 8,300 \text{ kcal/t}$$

⑤ 冷却水の持ち去る熱

ASM社の鋼材加熱炉はウォーキングハース炉であり、水冷部材は無いので冷却水の持ち去る熱量はゼロである。

$$0 \times 1 \times (t_o - t_i) = 0 \text{ kcal/t}$$

⑥ 炉体の放散熱（対流損失熱と放射損失熱）（Annex-2 参照）

(a) 予熱帯

側壁温度と天蓋温度は 88℃であったので、それぞれの熱流束は 880 と 1,350 (kcal/m²h) である。表面積はそれぞれ 38.7 m² と 100.9 m² であるので、

$$Q_a = (1/30.3) \times (880 \times 38.7 + 1,350 \times 100.9) = 5,600 \text{ kcal/t}$$

(b) 加熱帯

側壁温度と天蓋温度は 104℃と 104℃であったので、それぞれの熱流速は 1,130 と 1,730 (kcal/m²h) である。表面積はそれぞれ 60.4 m² と 61.4 m² であるので、

$$Q_b = (1/30.3) \times (1,130 \times 60.4 + 1,730 \times 61.4) = 5,800 \text{ kcal/t}$$

(c) 均熱帯

側壁温度と天蓋温度は 133℃ と 139℃であったのでそれぞれの熱流束は 1,220 と 1,860 (kcal/m²h) である。表面積はそれぞれ 61.9 m² と 84.4 m² であるので、

$$Q_c = (1/30.3) \times (1,220 \times 61.9 + 1,860 \times 84.4) = 7,700 \text{ kcal/t}$$

以上により、炉体の熱放散合計は、

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = 5,600 + 5,800 + 7,700 = 19,100 \text{ kcal/t}$$

⑦ その他の損失熱

その他の損失熱は、入熱の合計から出熱の①から⑥までの合計を差し引いたものとする。

$$(271,600 + 800 + 33,200 + 0 + 13,400) - (171,700 + 3,000 + 73,000 + 8,300 + 0 + 19,100) \\ = 43,900 \text{ kcal/t}$$

以上の結果をまとめると表 2 となる。

図に、結果を図示した。

Table 1 Heat content of steel (Heat necessary to heat up from 50°C (kcal/kg steel))

Temp. °C	Steel kind	Killed steel	Mild steel	Medium carbon steel
		0.08%C	0.23%C	0.4%C
50		0	0	0
100		5.8	5.8	5.8
150		11.8	11.8	11.8
200		18.0	18.0	17.9
250		24.5	24.4	24.2
300		31.1	31.1	30.8
350		37.9	37.9	37.6
400		45.1	45.0	44.6
450		52.5	52.5	51.9
500		60.4	60.4	59.7
550		68.7	68.8	67.9
600		77.6	77.7	76.4
650		87.0	87.1	85.1
700		97.2	97.2	94.3
750		110.8	114.3	113.2
800		122.3	125.7	120.6
850		132.6	134.5	126.7
900		142.3	142.3	133.2
950		150.1	150.0	140.7
1000		157.9	157.7	148.1
1050		165.8	165.5	155.7
1100		173.7	173.2	163.2
1150		181.6	181.1	170.9
1200		189.5	189.0	178.7
1250		197.4	197.1	186.7
1300		205.4	205.3	194.9

Table 2 Heat balance sheet of reheating furnace for steel rolling mill
(Standard state: 25°C, Low heating value, at charged steel 1 ton)

Heat input			Heat output		
Item	10 ³ kcal/t	%	Item	10 ³ kcal/t	%
Combustion heat of fuel	271.6	85.1	Heat content of extr'd. steel	171.7	53.8
Sensible heat of fuel	0.8	0.3	Sensible heat of scale	3.0	0.9
Sensible heat of comb. Air	33.2	10.4	Sensible heat of exhaust gas	81.3	25.5
Sensible heat of atomizer	0	0	Heat loss by imperfect combustion	0	0
Heat content of charged steel	0	0	Heat loss brought out by cinder	0	0
Heat of formation of scale	13.4	4.2	Heat brought out by cooling water	0	0
			Heat loss from F'ce body	19.1	6.0
			Other heat loss	43.9	13.8
Heat recovery by preheater	(34.1)	(10.7)	Heat recovery by preheater	(34.1)	(10.7)
Total	319.0	100.0	Total	319.7	100.0

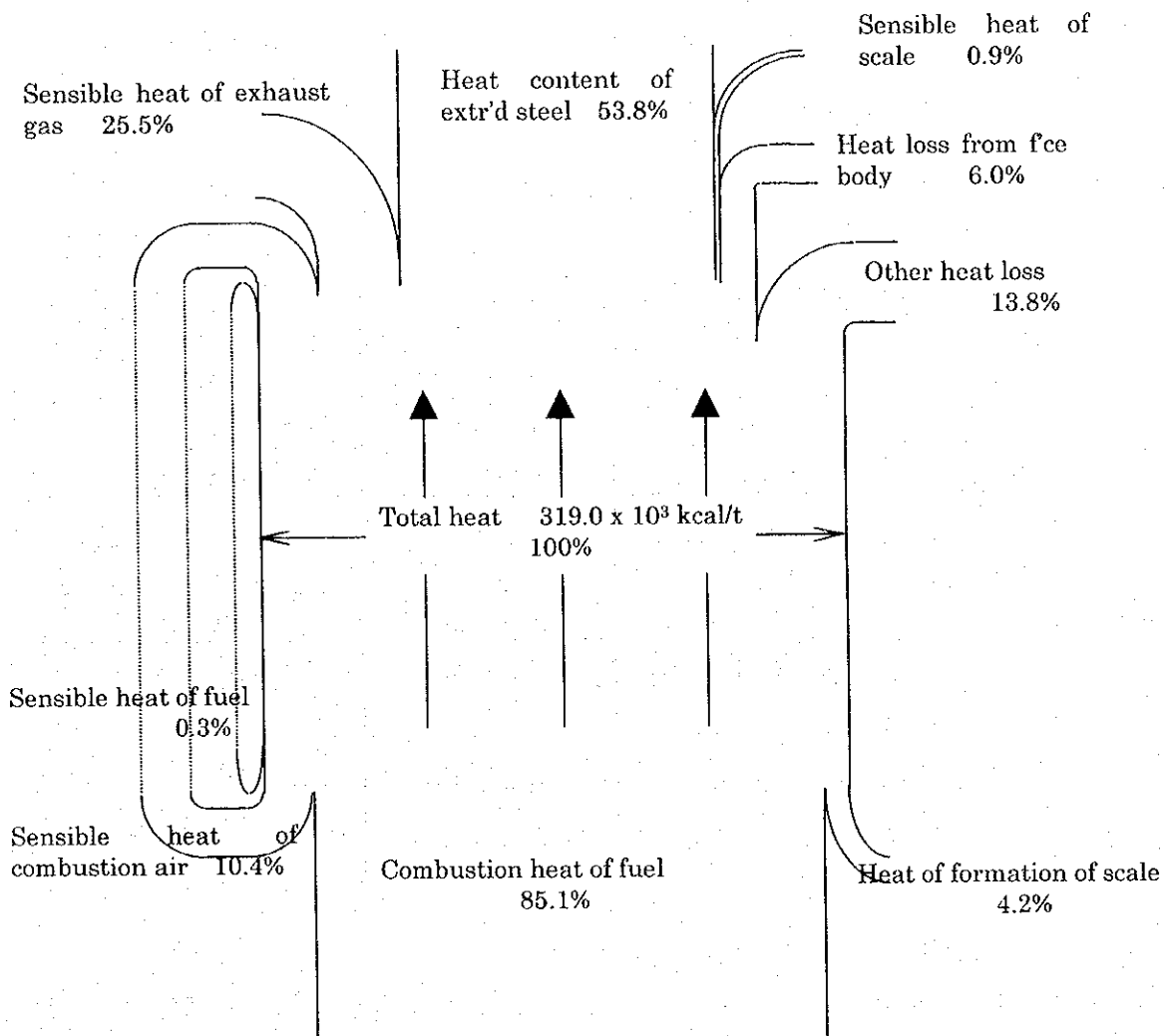


Figure 1 Heat Balance of Reheating Furnace

Annex 2 炉体からの熱放散

(1) 表面温度が既知面からの熱放散

1) 表面からの熱放散は、自然対流と放射によって起こり、表面温度が既知の面からは、

$$Q_{sr} = a \times (t-b)^{1/4} + 4.88 \times c \times \left[\left\{ \frac{(t+273)}{100} \right\}^4 - \left\{ \frac{(b+273)}{100} \right\}^4 \right] \quad (1)$$

ここで、 a: 自然対流の面の向きに関する係数、天井 =2.8, 側壁 =2.2, 炉床= 1.5

t: 炉外壁面温度 (°C)

b: 炉周囲の空気温度 (°C)

c: 炉外壁面の放射率 (下表による)

Material	Condition	Temperature (°C)	Radiation parameter
Aluminum	Polished	227-580	0.039-0.057
	Rough surface	26	0.055
	Oxidized	200-378	0.11-0.19
Steel	Polished	427-1,025	0.14-0.38
Oxidized iron	Dark brown surface	100	0.31
	Hot rolled	21	0.65
	600°C oxidized	200-600	0.79
	Ingot, rough surface	928-1,118	0.87-0.95
Aluminum painted	-	100	0.27-0.62
Aluminum oxide	-	r.t. - 1,000	0.8-0.5
Magnesia	-	r.t. - 1,000	0.7-0.4
Mullite	-	900-1,500	0.72-0.65

2) 式(1)の計算値と常用数値との比較

常用する熱損失と温度との関係は、グラフで求められ、側壁において下表のa欄に示す。上記の式(1)は側壁において式(2)となるから、下表のb欄の数値を得る。

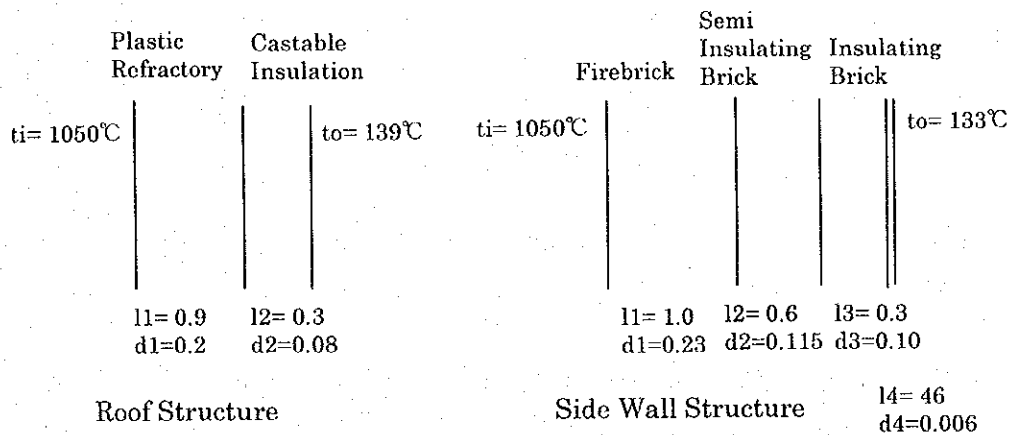
$$Q_{sr} = 2.2 \times (t-b)^{1/4} + 4.88 \times 0.6 \times \left[\left\{ \frac{(t+273)}{100} \right\}^4 - \left\{ \frac{(b+273)}{100} \right\}^4 \right] \quad (2)$$

Wall Temperature	°C	80	100	120	140
Heat Los, recommended value a	kcal/m ² ·h	580	880	1,220	1,600
Heat Los, Equation (2) b	kcal/m ² ·h	271	326	458	612
Ratio a/b	-	2.71	2.70	2.66	2.61

上表のa/bの欄に示す、側壁に対する2.6から2.7の倍数を式(2)に乗じて、常用の熱放散量を得る。天井に付いては、この倍数は2.2から2.3となる。

(2) 炉壁を貫通する熱流

- 1) 炉体の耐火物は、天井は内側が200mm厚の42/44%Al₂O₃含有プラスチック耐火物と外側の80mm厚キャストブル耐火物の2層構造である。側壁は3層構造で、内側が230mm厚耐火煉瓦（42/44%Al₂O₃）、中間が115mm厚セミ断熱煉瓦、外側が100mm厚断熱煉瓦、それに鉄板である。



多層構造の壁を通過する熱流束は、式(3)によって計算できる。

$$Q = (t_i - t_o) / \left\{ \frac{d_1}{l_1} + \frac{d_2}{l_2} + \dots + \frac{d_n}{l_n} \right\} \quad (3)$$

- ここで、
 t_i : 炉壁内表面温度 (°C)
 t_o : 炉壁外表面温度 (°C)
 d_1 : 1層目厚み (m)
 l_1 : 1層目の熱伝導率 (kcal/m·h·°C)
 d_2 : 2層目厚み (m)
 l_2 : 2層目の熱伝導率 (kcal/m·h·°C)
 d_n : n層目厚み (m)
 l_n : n層目の熱伝導率 (kcal/m·h·°C)

式(3)に、熱伝導率の適正な値を代入して、ASM社の線材工場鋼材加熱炉の天蓋面と炉側壁面用に下記の計算式を得る。

$$Q_{\text{roof}} = (t_i - t_o) / \left\{ \frac{0.2}{0.9} + \frac{0.08}{0.3} \right\} = (t_i - t_o) / 0.49 \quad (4)$$

$$Q_{\text{wall}} = (t_i - t_o) / \left\{ \frac{0.23}{1} + \frac{0.115}{0.6} + \frac{0.1}{0.3} + \frac{0.006}{46} \right\} = (t_i - t_o) / 0.75 \quad (5)$$

2) 熱伝導率による計算式(4)及び(5)と常用数値との対比

下記の表は、熱伝導率による熱流束計算式(4)及び(5)による常用の数値を、5直目の実績条件で対比して示した。

Data Period			5th Shift		
Place			Soaking Zone		
			Roof	Wall	
Calculation Premises	Reference measured Value	°C	1146		
	ti, Estimated Value	°C	1050	1050	
	to, Actual Value	°C	139	133	
Calculated Value		b	kcal/m ² ·h	1860	1220
Recommended Value		a	kcal/m ² ·h	1800	1470
Ratio		a/b	-	1.0	1.2

上表a/b欄の数値に示すように、炉内の温度を適切に測定できるなら、式(4)及び(5)の計算は常用の数値と良く一致する。

(3) 断熱材化粧張り技法による熱損失量削減の計算

炉体からの熱放散は、出熱の6%を占めている(5直目)ので、熱損失削減対策が有効である。

炉壁の内側表面にセラミックスのブランケットを張りつけ、断熱層とする。この時、式(4)及び(5)は変形されて、式(6)及び(7)となる。

$$Q_{\text{roof}} = (t_i - t_o) / \{ (db/0.25) + 0.49 \} \quad (6)$$

$$Q_{\text{wall}} = (t_i - t_o) / \{ (db/0.25) + 0.75 \} \quad (7)$$

ここに、db: セラミックファイバーブランケットの厚み (m)

0.25: セラミックファイバーブランケットの熱伝導率 (kcal/m·h·°C)

式(6)及び(7)で炉体の外側表面に伝導した熱は、炉体の外側表面から、対流と放射により、放散される。式(2)の検討時に求めた倍数a/bと同様に、外表面からの放散熱計算値Q_srに対する倍率mを求める。

$$Q_{\text{roof}} = mQ_{\text{s}}r$$

このm値を用いて、そして炉壁の外表面温度を変数として、下式(8)により外表面に蓄積される熱量が発生しないように計算を行い、熱損失量と外壁面温度を得る。

$$dQ = Q_{\text{roof}} - mQ_{\text{s}}r \quad (8)$$

計算例1): (均熱帯天蓋, ブランケット厚み = 50mm, 160kg/m³ blanket)

a) (m値算出)

$$Q_{\text{roof}} = (1050 - 139) / 0.49 = 1859$$

$$m = 1859 / [2.8 \times (139 - 30)^{1/4}]$$

$$+ 4.88 \times 0.75 \times [\{ (139 + 273) / 100 \}^4 - \{ (30 + 273) / 100 \}^4]$$

$$= 2.45$$

b) (外表面温度=to及び熱損失流束計算)

$$Q_r = (1050 - t_o) / (db / 0.25 + 0.49)$$

$$Q_{sr} = 2.45 \times [2.8 \times (t_o - 33)^{1/4} + 4.88 \times 0.75 \times \{ \{ (t_o + 273) / 100 \}^4 - \{ (33 + 273) / 100 \}^4 \}]$$

下表の数値から、外表面温度 $t_o = 117^\circ\text{C}$ 、熱損失流束 = $1350 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$

t_o	°C	120	119	118	117	116
dQ	kcal/m ² ·h	-56	-34	-10	12	36
Q_r	kcal/m ² ·h	1,348	1,349	1,351	1,352	1,354
Q_{sr}	kcal/m ² ·h	1,404	1,383	1,361	1,340	1,318

計算例 2) (ファイバークラケット厚み50mmを化粧張り時の全熱損失量)

上記計算例1)と同様な計算を繰り返し、下表を得る。

Zone, area	Inside wall temperature (°C)	Outside wall temperature (°C)		Heat flux (kcal/m ² ·h)		Heat loss (kcal/t)	
		Present	Improved	Present	Improved	Present	Improved
Soaking zone	1,050						
Roof		139	117	1,860	1,350	7,680	5,770
Wall		133	119	1,220	980		
Heating zone	950						
Roof		104	88	1,730	1,250	5,750	4,330
Wall		104	92	1,130	900		
Preheating zone	750						
Roof		88	73	1,350	980	5,630	3,400
Wall		88	78	880	710		
Total						19,060	13,500
							5,560

この放散熱量の削減量が燃料油の削減に寄与する計算は、Annex-3に示した燃料消費量 V_f 計算式より；

$$V_f = (Q_f - Q_{sh}) / (HI - Q_{gin} + Q_a + Q_o)$$

$$dV_f = dQ_f / (HI - Q_{gin} + Q_a + Q_o) = 5560 / (9463 - 2835 + 1158 + 29) = 0.71 \text{ kgFuel/t}$$

Annex-3 蓄熱バーナシステム導入による省エネルギー量の計算

(1) 要約

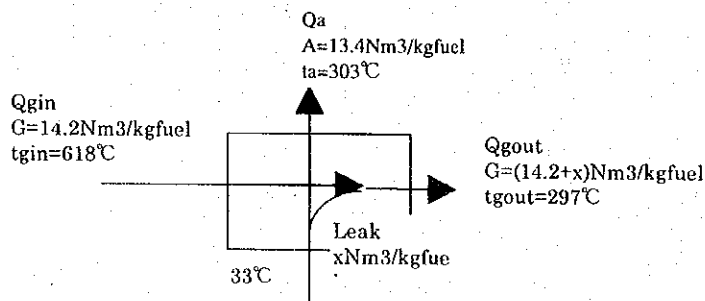
ASM社の燃料油条件を考慮して、蓄熱バーナ出側の排ガス温度は250℃と考える。この条件で、下表に燃料油消費量等の諸元推定値を示す。

Parameters		Unit	Present	Improved	
Fuel consumption		kg Fuel/t-BI	28.7	27.7	
Combustion air temperature		℃	303	369	
Presumption	Air/fuel ratio	-	1.25	1.25	
	Fixed energy consumption (Qfix*1)	kcal/kg-Fuel	237.7	237.7	
	Recuperator/ H.R.system	Internal leakage	%	21	21
		Waste gas inlet temp.	℃	618	618
Waste gas outlet temp.		℃	297	250	

$$Q_{fix}^{*1} = (\text{抽出鋼材含熱量}) + (\text{スケールの含熱量}) + (\text{炉体からの熱放散}) + (\text{その他の出熱})$$

(2) 計算

1) 現状のレキュペレーター



(a) 内部漏れ

S直目のデータ(Annex-1.)、及びキュペレーターケーシングからの熱放散を入熱の2%と推定して、入熱と出熱を等しいとして下記の計算が成り立つ。

[入熱]

$$\text{排ガスの入熱: } Q_{gin} = G \times c_{pg} \times (t_{gin} - 33) = 14.2 \times 0.342 \times (618 - 33) = 2,840 \text{ kcal/kgfuel}$$

[出熱]

$$\text{ケーシングからの熱損失: } Q_{case} = 2,840 \times 0.02 = 57 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$\text{排ガスの出熱: } Q_{gout} = G \times c_{pg} \times (t_{gout} - 33) = 14.2 \times 0.342 \times (297 - 33) = 1,282 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$\text{漏れ空気の持ち去り熱: } Q_{lout} = x \times c_{pa} \times (t_{gout} - 33) = x \times 0.32 \times (297 - 33) = 84.4 \times x \text{ kcal/kgfuel}$$

$$\text{Combustion air output heat: } Q_a = A \times c_{pa} \times (t_a - 33) = 13.4 \times 0.32 \times (303 - 33) = 1,158 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$\text{燃料油の出熱: } Q_o = 1 \times c_{oil} \times (97 - 33) = 1 \times 0.45 \times (97 - 33) = 29 \text{ kcal/kgfuel}$$

入熱合計 = 出熱合計, よって, $2,840 = 57 + 1,282 + 84.4x + 1,158 + 29$ $x = 3.7 \text{ Nm}^3/\text{kgfuel}$
 従って, 内部漏れ率 = $3.7/(13.4 + 3.7) = 21.6 \%$

(b) 燃料消費量Vfの計算式の確認: $Vf = (Q_{fix} - Q_{sh}) / (HI - Q_{gin} + Q_a + Q_o)$

Annex-1のヒートバランスの図とデータを参照して, (入熱合計) = (出熱合計)と置くと, 下記のように変形できる。

$$\begin{aligned} \text{出熱合計} &= (\text{抽出鋼材含熱量}) + (\text{スケールの含熱量}) + (\text{炉体からの熱放散}) + (\text{その他の出熱}) \\ &\quad + Vf(Q_a + Q_o + Q_{rcr} + Q_{gout} + Q_l) \\ &= Q_{fix} + Vf(Q_a + Q_o + Q_{rcr} + Q_{gout} + Q_l) \end{aligned}$$

$$\text{入熱合計} = Vf((Q_a + Q_o) + HI) + Q_{sh}$$

$$\text{従って, } Vf = (Q_{fix} - Q_{sh}) / (HI - Q_{gin} + Q_a + Q_o) \quad (1)$$

ここに,

$$\begin{aligned} Q_{fix} &= (\text{抽出鋼材含熱量}) + (\text{スケールの含熱量}) + (\text{炉体からの熱放散}) + (\text{その他の出熱}) \\ &= (171.7 + 3.0 + 19.1 + 43.9) \times 10^3 = 237.7 \times 10^3 \text{ kcal/t} \end{aligned}$$

$$HI = 9,463 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$Q_{sh} = (\text{スケール生成熱}) = 13,400 \text{ kcal/t}$$

$$Q_{gin} = (\text{排ガスのレキュペレーター入口含熱量}) = 2,835 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$Q_{gout} = (\text{排ガスのレキュペレーター出口含熱量}) = 1,282 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$Q_{rcr} = (\text{レキュペレーターケーシングからの熱放散量}) = 57 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$Q_l = (\text{漏れ空気のレキュペレーター出口含熱量}) = 312 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$Q_a = (\text{燃焼空気のレキュペレーター出口含熱量}) = 1,158 \text{ kcal/kgfuel}$$

$$Q_o = (\text{燃料油のレキュペレーター出口含熱量}) = 29 \text{ kcal/kgfuel}$$

検算:

$$Vf(\text{実績値}) = 28.7 \text{ kgfuel/t}$$

式(1)の右辺に実績値を代入して,

$$\begin{aligned} Vf(\text{式による計算値}) &= (237,700 - 13,400) / (9,463 - 2,835 + 1,158 + 29) \\ &= 224,300 / (9,463 - 2,835 + 1,158 + 29) \\ &= 28.7 \text{ kgfuel/t} \end{aligned}$$

2) 蓄熱バーナシステム導入後の燃料消費量推定

酸腐食防止のために, 排ガス温度は250℃と考えられ, 内部漏れはレキュペレーターと同じく21%と考える。

燃焼空気温度 = t_a °Cと置いて,

$$(\text{内部漏れ空気量}) = x = (14.2 / (1 - 0.216)) \times 0.216 = 3.7 \text{ Nm}^3/\text{kgfuel}$$

$$\begin{aligned} (\text{排ガスのレキュペレーター出口含熱量}) &= Q_{gout} = (14.2 + 3.8) \times 0.337 \times (250 - 33) \\ &= 1,309 \text{ kcal/kgfuel} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{燃焼空気のレキュペレーター出口含熱量}) &= Q_a = 13.4 \times 0.32 \times (t_a - 33) \\ &= 14.2 \times 0.342 \times (618 - 33) - Q_{gout} - Q_o - Q_{rcr} = 1,446\end{aligned}$$

$$\therefore t_a = 33 + (1,446 / (13.4 \times 0.32)) = 370 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}V_f &= (Q_{fix} - Q_{sh}) / (H_l - Q_{gin} + Q_a + Q_o) = (224.3 \times 10^3) / (9,463 - 2,835 + 1,446 + 29) \\ &= 27.7 \text{ kgfuel/t}\end{aligned}$$

$$\text{燃料油削減率} = (V_{f1} - V_{f2}) / V_{f1} = 3.5\%$$