

Figure 12-14 Installation of the Holder

12-9 測定結果と解析

電気炉の熱精算用の測定は、試験測定も含め次の11ヒート行った。

8月13日	鋼番 965729	試験測定
8月14日	鋼番 965749	排ガス測定が十分でなかった
8月14日	鋼番 965750	排ガス測定が十分でなかった
8月14日	鋼番 965751	解析用ヒート
8月14日	鋼番 965752	解析用ヒート
8月14日	鋼番 965753	解析用ヒート
8月15日	鋼番 965773	
8月15日	鋼番 965774	排ガス測定が十分でなかった
8月15日	鋼番 965775	排ガス測定が十分でなかった

8月15日 鋼番 965776

8月15日 鋼番 965777

JIS（日本工業規格）の方法に則り、連続した3ヒート、鋼番 965751、965752、965753を選んだ。

この3ヒートの操業記録、測定結果、入熱及び出熱の計算、熱精算表を以下に示す。

この3ヒートの解析は、他の測定したヒートも参考にしながら行なった。

12-9-1 対象設備の概要

Table 12-13 に測定を行った設備の概要を示す。

Table 12-13 Profile of the Electric Arc Furnace

Name of company	IDC (IZMIR DEMIR CELIK SANAYI A. S.)
Address	Foca Celik Fabrikasi 35807 Aliaga, IZMIR, TURKEY
Furnace manufacturer	NKK Corporation (Japan)
Type	Type of furnace AC arc furnace
	Charging method Top charge
	Tapping method EBT system
	Other facilities (Bottom stirrer, Bottom bubbling, Water sprayed electrode, Scrap preheater, etc.) Water sprayed electrode, Scrap preheater
	Nominal capacity (ton) 75
Molten steel	Bath diameter (mm) 4,475
	Bath area (m ²) 7.0
	Bath depth (mm) 1,343
	Distance between sill level and roof (mm) 2,192
Roof	Thickness (mm)
	Radius (mm) 2,900
	Diameter of electrode hole (mm) 600
	Pitch circle diameter (mm) 1,300
	Ratio of water cooling area (%)

Shell	Inside diameter (mm)	5,215
	Thickness (mm)	Water cooled tubular panel
	Height (mm)	1,900
	Height from bottom to roof (mm)	4,300
	Ratio of water cooling area (%)	100
Hearth	Diameter (mm)	
	Thickness (mm)	725
	Height of bank (mm)	332
Working door	Width (mm)	
	Height (mm)	
Tapping hole (EBT)	Diameter (mm)	159
	Depth (mm)	800
Transformer	Capacity (MVA)	72
	Primary voltage (kV)	34.5
	Secondary voltage (V)	900
	Connection	Open delta
Reactor	Capacity (kVA)	12,000
	Reactance (Ohm)	
Electrode	Diameter (mm)	508
Oxygen injection	Type and number	Manipulator 1 1/4 inches x 2 lancings
	Capacity (Nm ³ /hr)	(3,000 Nm ³ /hr, lance)
Burner	Type, number and capacity	5 furnace oxy-fuel burners oil: 200 liter/hr, unit O ² : 500 Nm ³ /hr, unit
		1 door oxy-fuel burner oil: 300 liter/hr, unit O ² : 700 Nm ³ /hr, unit
		Kind of fuel and capacity (kg/hr)
Carbon injection	Capacity and number (kg/hr)	1 set
		35 kg/min

12-9-2 長期操業記録

Table 12-14 に、熱精算を行なった 3 ヒートの前後 5 ヒートずつの操業記録を示す。

Table 12-14 Summary of Long - Run Operation Results of Before and After Heat Measured

Date	Aug. 13	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14	Average		
	Heat No.	965746	965747	965748	965749	965750	965754	965755	965757	965758	
1. Charged raw material (excluding hot heel)	85.800	85.700	85.080	85.700	86.000	86.000	85.600	85.440	86.020	85.680	85.660
1.1. 1st bucket (t) Scrap	43.300	44.300	43.080	41.200	42.400	42.400	41.300	40.100	41.200	41.100	41.820
1.2. 2nd bucket (t)	27.300	26.200	26.500	28.400	32.400	32.400	31.100	29.200	27.660	27.520	28.340
Scrap	21.000	23.000	22.200	24.000	29.000	29.000	28.000	25.500	7.000	27.300	23.430
Pig iron	3.300	3.200	4.300	4.400	3.400	3.400	3.100	3.700	3.360	0.000	4.000
1.3. 3rd bucket (t) Scrap	15.200	15.200	15.500	16.100	11.200	11.200	13.200	16.140	17.160	17.260	15.500
2. Output (Production) (t)	77.220	77.130	76.570	77.130	77.400	77.400	77.040	76.900	77.420	77.100	77.100
2.1. Good billet (t)	76.620	76.530	75.980	76.530	76.800	76.800	76.440	76.300	76.820	76.510	76.500
2.2. Crop end, skull (t)	0.600	0.600	0.590	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.590	0.600
3. Steel yield (%)											
3.1. Molten steel yield											90.0
3.2. Good billet yield											89.3
4. Operation time (min.)											
4.1. Tap-to-tap time	52	61	56	60	57	55	56	56	49	54	55
4.2. Power on-to-power off time	47	50	48	43	46	45	46	46	44	48	46
5. Consumption											
5.1. Electric power (kW/t-output)	378	389	364	375	353	353	360	367	355	372	370
5.2. Fuel oil (kg/t-output)	4.7	4.9	4.2	6.1	6.5	6.5	4.8	0.0	4.1	4.4	4.9
5.3. Oxygen gas (Nm ³ /t-output)	52.2	30.9	30.7	33.0	34.3	34.3	35.0	29.1	26.5	28.0	30.9
Burner	17.1	16.0	14.8	18.2	19.5	19.5	18.6	15.6	15.6	15.7	16.8
Lancing	15.1	14.9	15.9	14.8	16.8	16.8	16.4	13.5	10.9	12.3	14.3
5.4. Burnt lime (kg/heat)	21.4	23.1	23.9	33.7	23.2	23.2	23.0	24.1	22.9	23.5	24.2
5.5. Carbon injection (kg/heat)	8.5	8.4	8.8	10.0	8.6	8.6	9.7	9.1	9.7	12.6	9.9
6. Composition and temperature of molten steel before tapping											
6.1. C (%)	0.10	0.04	0.05	0.30	0.09	0.09	0.16	0.11	0.10	0.06	0.11
6.2. Si (%)	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	0.02

6.3. Mn (%)	0.05	0.03	0.04	0.07	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
6.4. P (%)	0.014	0.030	0.018	0.033	0.020	0.026	0.010	0.013	0.011	0.024	0.024	0.020
6.5. S (%)	0.065	0.074	0.076	0.066	0.058	0.078	0.070	0.061	0.048	0.054	0.054	0.065
6.6. Cr (%)	0.07	0.04	0.05	0.09	0.05	0.05	0.04	0.06	0.04	0.09	0.04	0.06
6.6. Temperature (deg. C)	1620	1612	1622	1616	1630	1646	1603	1636	1601	1620	1601	1621
7. Weight of hot heel (t)	10											
8. Composition of billet (%)	0											
8.1. C (%)	0.24	0.19	0.18	0.18	0.20	0.20	0.23	0.19	0.21	0.21	0.21	0.20
8.2. Si (%)	0.23	0.19	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16
8.3. Mn (%)	0.85	0.86	0.87	0.86	0.86	0.87	0.86	0.86	0.86	0.84	0.86	0.86
8.4. P (%)	0.038	0.043	0.036	0.040	0.037	0.026	0.018	0.024	0.024	0.030	0.024	0.032
8.5. S (%)	0.039	0.052	0.048	0.047	0.045	0.044	0.040	0.037	0.039	0.039	0.039	0.043
8.6. Cu	0.46	0.51	0.52	0.47	0.45	0.45	0.39	0.41	0.41	0.36	0.41	0.44
8.7. Ni	0.14	0.13	0.12	0.12	0.13	0.15	0.13	0.16	0.13	0.14	0.13	0.14
8.8. Cr	0.13	0.11	0.11	0.12	0.10	0.08	0.07	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
8.9. Mo	0.020	0.018	0.016	0.015	0.016	0.019	0.016	0.023	0.017	0.018	0.017	0.02
8.10. Sn	0.019	0.021	0.024	0.019	0.019	0.021	0.017	0.016	0.017	0.015	0.017	0.02
8.11. Al	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

Note: 1) Heat No. 965757 is excluded for average of pig iron.

2) Heat No. 965755 is excluded for average of fuel oil.

12-9-3 測定結果と熱精算

(1) 測定関係者

測定関係者を表 12-15 に示す。

Table 12-15 Concerned Personnel for Measurement

Date	August 14, 1996		
Heat No.	965751, 965752, 965753		
Company	Study team	EIE	IDC
Staff	- T. Kawakami	- Hediye Yillikci	- Suleyman Eldem
	- H. Tokano	- Bora Omurtay	- Necati Unsal
		- Mehmet Sezer	
		- Birgul Duman	
Measuring person			
Flow rate, temperature and composition of exhaust gas	- I. Kawai	- (Bora Omurtay)	- (Mehmet Yalcin)
	- S. Kinoshita	- (Birgul Duman)	
Outlet temperature of cooling water for furnace	- N. Honda	- (Mehmet Sezer)	
Electric power			- Sibel Ozkan
Oxygen gas by lancings			- Uguri Egeli
Carbon injection			
Burnt lime			
Oxygen gas and fuel oil by 4 furnace/1 door burners			- Hikmet Yuzuak
Flow rate and inlet temperature of cooling water for furnace			- Talip Bostanci
Temperature of scrap bucket	- (H. Tokano)		- Duzgun Elitas
Surrounding conditions	- H. Tokano		

Note: Bracket means co-working with specialists.

(2) 測定ヒートの操業記録

測定ヒートの操業記録を Table 12-16 に示す。

Table 12-16 Summary of Operation Results of Measured Three (3) Heats

Date	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14
Heat No.	965751	965752	965753
1. Charged raw material (excluding hot heel)	85.400	87.400	86.000
(t)			
1.1. 1st bucket (t) Scrap	42.100	41.1	41.2

1.2.	2nd bucket (t)	28.200	26.100	27.400
	Scrap	24.500	22.500	24.000
	Pig iron	3.700	3.600	3.400
1.3.	3rd bucket (t) Scrap	15.100	20.200	17.400
2.	Output (Production) (t)	76.860	78.660	77.400
2.1.	Good billet (t)	76.260	78.050	76.800
2.2.	Crop end, skull (t)	0.600	0.610	0.600
3.	Steel yield (%)			
3.1.	Molten steel yield		90.3	
3.2.	Good billet yield		89.3	
4.	Operation time (min.)			
4.1.	Tap-to-tap time	53	53	70
4.2.	Power-on-to-power-off time	43	43	57
5.	Unit consumption			
5.1.	Electric power (kWh/output)	363	360	379
5.2.	Fuel oil (kg/t-output)	6.3	5.9	7.2
5.3.	Oxygen gas (Nm ³ /t-output)	33.7	35.1	32.5
	Burner	20.3	16.1	18.0
	Lancing	13.4	19.0	14.5
5.4.	Burnt lime (kg/t-output)	24.4	22.9	28.0
5.5.	Carbon injection (kg/t-output)	11.4	7.6	10.4
6.	Composition and temperature of molten steel before tapping			
6.1.	C (%)	0.05	0.03	0.05
6.2.	Si (%)	0.01	0.01	0.01
6.3.	Mn (%)	0.04	0.04	0.05
6.4.	P (%)	0.026	0.026	0.025
6.5.	S (%)	0.069	0.064	0.700
6.6.	Cr (%)	0.06	0.07	0.06
6.6.	Temperature (°C)	1641	1673	1624
7.	Weight of hot heel (t)		10	
8.	Composition of billet (%)			
8.1.	C (%)	0.18	0.20	0.20
8.2.	Si (%)	0.18	0.17	0.18
8.3.	Mn (%)	0.87	0.91	0.92
8.4.	P (%)	0.040	0.027	0.028
8.5.	S (%)	0.043	0.055	0.048
8.6.	Cu (%)	0.43	0.43	0.45
8.7.	Ni (%)	0.13	0.12	0.15
8.8.	Cr (%)	0.13	0.08	0.09
8.9.	Mo (%)	0.018	0.017	0.017
8.10.	Sn (%)	0.018	0.019	0.020
8.11.	Al (%)	0.003	0.003	0.003

(3) 測定結果

3 ヒートの測定結果を Table 12-17 に示す。

Table 12-17 Results of Measurement

Date	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14
Heat No.	965751	965752	965753
Amount of raw materials of 1st bucket (t)	42.100	41.100	41.200
Amount of scrap of 2nd bucket (t)	24.500	22.500	24.000
Amount of pig iron of 2nd bucket (t)	3.700	3.600	3.400
Amount of raw materials of 2nd bucket (t)	28.200	26.100	27.400
Amount of raw materials of 3rd bucket (t)	15.100	20.200	17.400
Charged raw material (excluding hot heel) (t)	85.400	87.400	86.000
Amount of scrap (t)	81.700	83.800	82.600
Amount of pig iron (t)	3.700	3.600	3.400
Output (excluding hot heel) (t)	76.860	78.660	77.400
Consumption of electric power (kWh)	27,900	28,300	29,300
Unit consumption of electric power, w_1 (kWh/t-output)	363	360	379
Hot heel of raw material (t)	10	10	10
Unit weight of hot heel of raw material, m_2 (kg/t-output)	130	127	129
Temperature of hot heel, m_2 (°C)	1550	1550	1550
Unit consumption of scrap, (kg/t-output)	1063	1065	1067
Unit consumption of pig iron, (kg/t-output)	48	46	44
Unit consumption of raw materials, m_3 (kg/t-output)	1111	1111	1111
Temperature of top of 1st bucket (°C)	148	215	135
Temperature of middle of 1st bucket (°C)	131	232	132
Temperature of bottom of 1st bucket (°C)	53	82	82
Mean temperature of 1st bucket (°C)	111	176	116
Temperature of top of 2nd bucket (°C)	108	121	110
Temperature of middle of 2nd bucket (°C)	118	108	128
Temperature of bottom of 2nd bucket (°C)	66	82	82
Mean temperature of 2nd bucket (°C)	97	104	107
Temperature of top of 3rd bucket (°C)	-	-	-
Temperature of middle of 3rd bucket (°C)	36	39	37
Temperature of bottom of 3rd bucket (°C)	-	-	-
Mean temperature of 3rd bucket (°C)	36	39	37
Mean temperature of raw materials after SPII (°C)	93	123	97
Consumption of fuel oil at No. 1 burner (kg)	133	104	182
Consumption of fuel oil at No. 2 burner (kg)	162	107	136
Consumption of fuel oil at No. 3 burner (kg)	56	101	93
Consumption of fuel oil at No. 4 burner (kg)	112	117	124
Consumption of fuel oil at door burner (kg)	21	38	25
Consumption of fuel oil (kg)	484	467	560
Unit consumption of fuel oil, m_4 (kg/t-output)	6.3	5.9	7.2
Mean CO ₂ content in exhaust gas at elbow (CO ₂) (%)	14.0	17.5	12.1

Mean CO content in exhaust gas at elbow (CO) (%)	7.1	3.5	1.5
C content of molten steel before tapping (%)	0.05	0.03	0.05
Si content of molten steel before tapping (%)	0.01	0.01	0.01
Mn content of molten steel before tapping (%)	0.04	0.04	0.05
P content of molten steel before tapping (%)	0.026	0.026	0.025
Cr content of molten steel before tapping (%)	0.06	0.07	0.06
Al content of molten steel before tapping (%)	0.000	0.000	0.000
CaO content of slag (%)	23.56	23.56	23.56
Consumption of burnt lime (kg)	1860	1790	2150
Amount of slag (kg)	6868	6610	7939
Unit weight of slag, m_{11} (kg/t-output)	89	84	103
FeO content of slag (FeO) (%)	9.01	9.01	9.01
Fe ₂ O ₃ content of slag (Fe ₂ O ₃) (%)	22.16	22.16	22.16
Consumption of carbon injection (kg)	875	595	805
Unit consumption of carbon injection (kg/t-output)	11.4	7.6	10.4
P ₂ O ₅ content of slag (P ₂ O ₅) (%)	0.48	0.48	0.48
SiO ₂ content of slag (SiO ₂) (%)	17.31	17.31	17.31
Temperature of molten steel before tapping (°C)	1641	1673	1624
Weight of hot heel of molten steel (t)	10	10	10
Unit weight of hot heel of molten steel (kg/t-output)	130	127	129
Power-on-to-power-off time (hr)	0.72	0.72	0.95
Flow rate of cooling water for roof (m ³ /hr)	323	323	323
Average quantity of cooling water of roof, m_{14b} (kg/t-output)	3026	2957	3964
Mean outlet temperature of cooling water for roof (°C)	39.0	40.5	39.1
Mean outlet temperature of cooling water for roof-1 (°C)	39.1	40.6	39.2
Mean outlet temperature of cooling water for roof-2 (°C)	38.9	40.4	39.0
Inlet temperature of cooling water for roof (°C)	34.0	34.0	35.0
Flow rate of cooling water for EBT (m ³ /hr)	63	63	63
Average quantity of cooling water for EBT, m_{14c} (kg/t-output)	590	577	773
Mean outlet temperature of cooling water for EBT (°C)	36.8	37.8	36.5
Inlet temperature of cooling water for EBT (°C)	34.0	34.0	35.0
Flow rate of cooling water for elbow (m ³ /hr)	117	117	117
Average quantity of cooling water for elbow, m_{14a} (kg/t-output)	1096	1071	1436
Mean outlet temperature of cooling water for elbow (°C)	43.4	45.0	42.9
Inlet temperature of cooling water for elbow (°C)	34.0	34.0	35.0
Flow rate of cooling water for shell-1 (m ³ /hr)	273	273	274
Average quantity of cooling water for shell-1, m_{14d} (kg/t-output)	2557	2499	3363
Mean outlet temperature of cooling water for shell-1 (°C)	37.0	38.3	36.8
Inlet temperature of cooling water for shell-1 (°C)	34.0	34.0	35.0
Flow rate of cooling water for shell-2 (m ³ /hr)	274	274	274
Average quantity of cooling water for shall-2, m_{14d} (kg/t-output)	2567	2508	3363
Mean outlet temperature of cooling water for shell-2 (°C)	36.8	38.0	36.8
Inlet temperature of cooling water for shell-2 (°C)	34.0	34.0	35.0
Indoor temperature (°C)	35.0	37.0	37.0
Surface area of roof (m ²)	40	40	40
Mean surface temperature of roof (°C)	65.0	65.0	65.0

Surface area of shell (m ²)	35	35	35
Mean surface temperature of shell (°C)	41.4	42.4	41.2
Mean surface temperature of shell-1 (°C)	39.3	40.3	39.4
Mean surface temperature of shell-2 (°C)	43.5	44.5	42.9
Surface area of furnace bottom (m ²)	34	34	34
Mean Surface temperature of furnace bottom (°C)	276.1	276.4	297.5
Heat in average flow of exhaust gas (1,000 kcal/min)	216	157	227
Consumption of limestone, m ₁₂ (kg/t-output)	7	7	8

排ガスの C/C 入り側および出側における流速、温度、熱含量、組成を次に示す。

- Figure 12-18 : 鋼番 965751 C/C 入り側の排ガスの熱含量と流量
- Figure 12-19 : 鋼番 965751 C/C 入り側と出側の排ガス温度
- Figure 12-20 : 鋼番 965751 C/C 入り側の排ガスの組成
- Figure 12-21 : 鋼番 965751 C/C 出側の排ガスの組成
- Figure 12-22 : 鋼番 965752 C/C 入り側の排ガス熱含量と流量
- Figure 12-23 : 鋼番 965752 C/C 入り側及び出側の排ガスの温度
- Figure 12-24 : 鋼番 965752 C/C 入り側の排ガスの組成
- Figure 12-25 : 鋼番 965752 C/C 出側の排ガスの組成
- Figure 12-26 : 鋼番 965753 C/C 入り側の排ガスの熱含量と流量
- Figure 12-27 : 鋼番 965753 C/C 入り側及び出側の排ガスの温度
- Figure 12-28 : 鋼番 965753 C/C 入り側の排ガスの組成
- Figure 12-29 : 鋼番 965753 C/C 出側の排ガスの組成

これらの図は、Annex-2 に示す。

(4) 入熱

測定した 3 ヒートの入熱を Table 12-18 に示す。計算式は Annex-4 を参照のこと。

Table 12-18 Heat Input

Date	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14
Heat No.	965751	965752	965753
(1) Heat quantity of electric power, Q ₁ (1000 x kcal/t-output)	312.2	309.6	325.9
Ratio of heat quantity of electric power in heat input (%)	51.3	51.9	50.1
Unit consumption of electric power, w ₁ (kWh/t-output)	363	360	379
(2) Potential heat of hot heel, Q ₂ (1000 x kcal/t-output)	41.8	40.8	41.5
Ratio of potential heat of hot heel in heat input (%)	6.9	6.8	6.4

Unit weight of hot heel of raw materials, m_2 (kg/t-output)	130	127	129
Temperature of hot heel ($^{\circ}\text{C}$)	1550	1550	1550
Heat content of hot heel, h_2 (kcal/kg)	321.5	321.5	321.5
(3) Sensible heat of raw materials, Q_3 (1000 x kcal/t-output)	11.8	15.8	12.3
Ratio of sensible heat of raw materials in heat input (%)	1.9	2.6	1.9
Unit consumption of raw materials, m_3 (kg/t-output)	1111	1111	1111
Mean temperature of raw materials after SPH ($^{\circ}\text{C}$)	93	123	97
Heat content of raw materials after SPH h_{3h} (kcal/kg)	10.6	14.2	11.1
(4) Calorific power of fuel oil, Q_4 (kcal/t-output)	63.0	59.0	72.0
Ratio of calorific power of fuel oil in heat input (%)	10.4	9.9	11.1
Unit consumption of fuel oil, m_4 (kg/t-output)	6.3	5.9	7.2
Low heating value of fuel oil, q_4 (kcal/kg)	10000	10000	10000
(6) Oxidation heat of electrode, Q_6 (1000 x kcal/t-output)	11.2	13.1	13.7
Ratio of oxidation heat of electrode in heat input (%)	1.8	2.2	2.1
Unit consumption of electrode, m_6 (kg/t-output)	1.9	1.9	1.9
C content of electrode (%)	99.7	99.7	99.7
Amount of C oxidation of electrode (kg/t-output)	1.9	1.9	1.9
Oxidation heat of electrode at CO_2 formation, $q_{6\text{CO}_2}$ (kcal/kg)	7829	7829	7829
Oxidation heat of electrode at CO formation, $q_{6\text{CO}}$ (kcal/kg)	2200	2200	2200
Mean CO_2 content in exhaust gas (CO_2) (%)	14.0	17.5	12.1
Mean CO content in exhaust gas (CO) (%)	7.1	3.5	1.5
(7) Oxidation heat of charge, Q_7 (1000 x kcal/t-output)	103.8	107.4	113.7
Ratio of oxidation heat of charge in heat input (%)	17.1	18.0	17.5
(7a) Oxidation heat of charged C, Q_{7a} (1000 x kcal/t-output)	30.7	36.4	36.1
Unit consumption of scrap (kg/t-output)	1063	1065	1067
Unit consumption of pig iron (kg/t-output)	48	46	44
C content of scrap (%)	0.35	0.35	0.35
C content of pig iron (%)	3.65	3.65	3.65
C content of molten steel before tapping (%)	0.05	0.03	0.05
Oxidation amount of charged C, m_{7a} (kg/t-output)	5.0	5.1	4.8
Heat of C oxidation at CO_2 formation, $q_{7\text{CO}_2}$ (kcal/kg)	8075	8075	8075
Heat of C oxidation at CO formation, $q_{7\text{CO}}$ (kcal/kg)	2448	2448	2448
(7b) Oxidation heat of charged Si, Q_{7b} (1000 x kcal/t-output)	21.2	21.1	21.0
Si content of scrap (%)	0.23	0.23	0.23
Si content of pig iron (%)	1.05	1.05	1.05
Si content of molten steel before tapping (%)	0.01	0.01	0.01
Oxidation amount of charged Si, m_{7b} (kg/t-output)	2.85	2.83	2.82
Heat of Si, $q_{7\text{Si}}$ (kcal/kg)	7459	7459	7459
(7c) Oxidation heat of charged Mn, Q_{7c} (1000 x kcal/t-output)	13.2	13.2	13.1
Mn content of scrap (%)	0.75	0.75	0.75
Mn content of pig iron (%)	0.70	0.70	0.70
Mn content of molten steel before tapping (%)	0.04	0.04	0.05
Oxidation amount of Mn m_{7c} (kg/t-output)	7.91	7.91	7.81
Heat of Mn, $q_{7\text{Mn}}$ (kcal/kg)	1674	1674	1674
(7d) Oxidation heat of charged P, Q_{7d} (1000 x kcal/t-output)	3.2	3.2	3.3
P content of scrap (%)	0.075	0.075	0.075

P content of pig iron (%)	0.040	0.040	0.040
P content of molten steel before tapping (%)	0.026	0.026	0.025
Oxidation amount of P, m_{7d} (kg/t-output)	0.56	0.56	0.57
Heat of P, q_{7dP} (kcal/kg)	5811	5811	5811
(7e) Oxidation heat of charged Cr, Q_{7c} (1000 x kcal/t-output)	2.6	2.4	2.6
Cr content of scrap (%)	0.150	0.150	0.150
Cr content of pig iron (%)	0.000	0.000	0.000
Cr content of molten steel before tapping (%)	0.060	0.070	0.060
Oxidation amount of Cr, m_{7c} (kg/t-output)	0.99	0.90	1.00
Heat of Cr, q_{7cCr} (kcal/kg)	2620	2620	2620
(7f) Oxidation heat of charged Al, Q_{7f} (1000 x kcal/t-output)	1.3	1.3	1.3
Al content of scrap (%)	0.017	0.017	0.017
Al content of pig iron (%)	0.000	0.000	0.000
Al content of molten steel before tapping (%)	-	-	-
Oxidation amount of Al, m_{7f} (kg/t-output)	0.18	0.18	0.18
Heat of Al, q_{7fAl} (kcal/kg)	7419	7419	7419
(7g) Oxidation heat of charged Fe, Q_{7g} (1000 x kcal/t-output)	31.4	29.6	36.3
Unit weight of slag, m_{7g} (kg/t-output)	89	84	103
Heat of Fe oxidation at FeO formation, q_{7gFeO} (kcal/kg)	1151	1151	1151
Heat of Fe oxidation at Fe ₂ O ₃ formation, $q_{7gFe_2O_3}$ (kcal/kg)	1756	1756	1756
FeO content in slag, (FeO) (%)	9.01	9.01	9.01
Fe ₂ O ₃ content in slag (Fe ₂ O ₃) (%)	22.16	22.16	22.16
(8) Oxidation heat of carbon injection, Q_8 (1000 x kcal/t-output)	56.4	43.4	62.0
Ratio of oxidation heat of carbon injection (%)	9.3	7.3	9.5
Unit consumption of carbon injection (kg/t-output)	11.4	7.6	10.4
C content in carbon injection (%)	80.0	80.0	80.0
Oxidation amount of carbon injection, m_{8c} (kg/t-output)	9.1	6.1	8.3
(9) Heat of slag formation, Q_9 (1000 x kcal/t-output)	8.2	7.7	9.5
Ratio of heat of slag formation in heat input (%)	1.3	1.3	1.5
Heat of SiO ₂ reaction at Ca ₂ SiO ₄ formation, q_{9SiO_2} (kcal/kg)	502	502	502
Heat of P ₂ O ₅ reaction at Ca ₃ P ₂ O ₇ formation, $q_{9P_2O_5}$ (kcal/kg)	1070	1070	1070
SiO ₂ content in slag (%)	17.31	17.31	17.31
P ₂ O ₅ content in slag (%)	0.48	0.48	0.48
Heat Input, Q_{Input} (1000 x kcal/t-output)	608.3	596.7	650.6

(5) 出熱

測定した3ヒートの出熱を Table 12-19 に示す。計算式は Annex-4 を参照のこと。

Table 12-19 Heat Output

Date	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14
------	---------	---------	---------

Heat No.	965751	965752	965753
(10) Potential heat of molten steel, Q_{10} (1000 x kcal/t-output)	384.9	391.4	380.5
Ratio of potential heat of molten steel (%)	63.3	65.7	58.5
(10a) Potential heat of output, q_{10a} (1000 x kcal/t-output)	340.6	347.3	337.0
Temperature of molten steel before tapping ($^{\circ}\text{C}$)	1641	1673	1624
Heat content of molten steel before tapping, h_{10b} (kcal/kg)	340.6	347.3	337.0
(10b) Potential heat of hot heel, q_{10b} (1000 x kcal/t-output)	44.3	44.1	43.5
Unit weight of hot heel of molten steel, m_2 (kg/t-output)	130	127	129
(11) Potential heat of slag, Q_{11} (1000 x kcal/t-output)	43.1	42.3	48.8
Ratio of potential heat of slag in output (%)	7.1	7.1	7.5
Unit weight of slag, m_{11} (kg/t-output)	89	84	103
Temperature of slag ($^{\circ}\text{C}$)	1641	1673	1624
Heat content of slag, h_{11} (kcal/kg)	484.2	503.4	474.1
(12) Heat of limestone decomposition, Q_{12} (1000 kcal/t-output)	2.9	2.9	3.3
Ratio of heat of limestone decomposition (%)	0.5	0.5	0.5
Unit consumption of limestone, m_{12} (kg/t-output)	7	7	8
Heat of decomposition of limestone, $q_{12\text{CaCO}_3}$ (kcal/kg)	757	757	757
CaO content in limestone (%)	55	55	55
(14) Heat in cooling water, Q_{14} (1000 x kcal/t-output)	41.9	54.0	40.9
Ratio of heat in cooling water (%)	6.9	9.1	6.3
(14a) Heat in cooling water for elbow, Q_{14a} (1000 x kcal/t-output)	10.3	11.8	11.3
Average quantity of cooling water for elbow, m_{14a} (kg/t-output)	1096	1071	1436
Mean outlet temperature of cooling water for elbow ($^{\circ}\text{C}$)	43.4	45.0	42.9
Inlet temperature of cooling water for elbow ($^{\circ}\text{C}$)	34.0	34.0	35.0
(14b) Heat in cooling for roof, Q_{14b} (1000 x kcal/t-output)	15.1	19.2	16.3
Average quantity of cooling water for roof, m_{14b} (kg/t-output)	3026	2957	3964
Mean outlet temperature of cooling water for roof ($^{\circ}\text{C}$)	39.0	40.5	39.1
Inlet cooling water for roof ($^{\circ}\text{C}$)	34.0	34.0	35.0
(14c) Heat in cooling water for EBT, Q_{14c} (1000 x kcal/t-output)	1.7	2.2	1.2
Average quantity of cooling water for EBT, m_{14c} (kg/t-output)	590	577	773
Mean outlet temperature of cooling water for EBT ($^{\circ}\text{C}$)	36.8	37.8	36.5
Inlet temperature of cooling water for EBT ($^{\circ}\text{C}$)	34.0	34.0	35.0
(14d) Heat in cooling water for shell-1, Q_{14d} (1000 x kcal/t-output)	7.7	10.7	6.1
Average quantity of cooling water for shell-1, m_{14d} (kg/t-output)	2557	2499	3363
Mean outlet temperature of cooling water for shell-1 ($^{\circ}\text{C}$)	37.0	38.3	36.8
Inlet temperature of cooling water for shell-1 ($^{\circ}\text{C}$)	34.0	34.0	35.0
(14e) Heat in cooling water for shell-2, Q_{14e} (1000 x kcal/t-output)	7.2	10.0	6.1
Average quantity of cooling water for shell-2, m_{14e} (kg/t-output)	2567	2508	3363
Mean outlet temperature of cooling water for shell-2 ($^{\circ}\text{C}$)	36.8	38.0	36.8
Inlet temperature of cooling water for shell-2 ($^{\circ}\text{C}$)	34.0	34.0	35.0
(15) Sensible heat of exhaust gas, Q_{15} (1000 x kcal/t-output)	121.4	86.2	167.2
Ratio of sensible heat in exhaust gas (%)	20.0	14.5	25.7

Heat in average flow of exhaust gas (kcal/min.)	216000	157000	227000
Power on-to-power off time, t_h (hr)	0.72	0.72	0.95
Output (t/heat)	76.860	78.660	77.400
(16) Heat loss at furnace body, Q_{16} (1000 kcal/t-output)	1.6	1.6	2.1
Ratio of heat loss at furnace body in heat input (%)	0.1	0.1	0.1
Indoor temperature, T_{ia} (°K)	308.0	310.0	310.0
Indoor temperature (°C)	35.0	37.0	37.0
(16a) Heat loss at roof, Q_{16a} (1000 x kcal/t-output)	0.1	0.1	0.2
Surface area of furnace roof, A_a (m ²)	40	40	40
(16a1) Radiation heat loss at roof, q_{ra} (kcal/m ² , hr)	158	149	149
Surface temperature of roof, T_{0aa} (°K)	338.0	338.0	338.0
Surface temperature of roof (°C)	65.0	65.0	65.0
(16a2) Convection heat loss at roof, q_{ca} (kcal/m ² , hr)	197	180	180
(16b) Heat loss at shell, Q_{16b} (1000 x kcal/t-output)	0.0	0.0	0.0
Surface area of shell, A_a (m ²)	35	35	35
(16b1) Radiation heat loss at shell, q_{rb} (kcal/m ² , hr)	31	26	20
Mean surface temperature of shell T_{0aa} (°K)	314.5	315.4	314.2
Mean surface temperature of shell, t_{ob} (°C)	41.5	42.4	41.2
(16b2) Convection heat loss at shell, q_{cba} (kcal/m ² , hr)	23	18	13
(16c) Heat loss at bottom, Q_{16c} (1000 x kcal/t-output)	1.5	1.4	1.9
Surface area of furnace bottom, A_c (m ²)	34	34	34
(16c1) Radiation heat loss at bottom, q_{rc} (kcal/m ² , hr)	3198	3196	3199
Mean surface temperature of bottom, T_{0aa} (°K)	549.1	549.4	549.5
Surface temperature of bottom, t_{oc} (°C)	276.1	276.4	276.5
(16c2) Convection heat loss at bottom, q_{cc} (kcal/m ² , hr)	1425	1413	1413
(17) Other heat losses (1000 kcal/t-output)	12.4	17.8	7.8
Ratio of other heat losses (%)	2.0	3.0	1.2
Heat output, O_{output} (1,000 kcal/t-output)	608.3	596.2	650.6

(6) 熱精算

熱精算表を Figure 12-30、Figure 12-31、Figure 12-32 に示す。

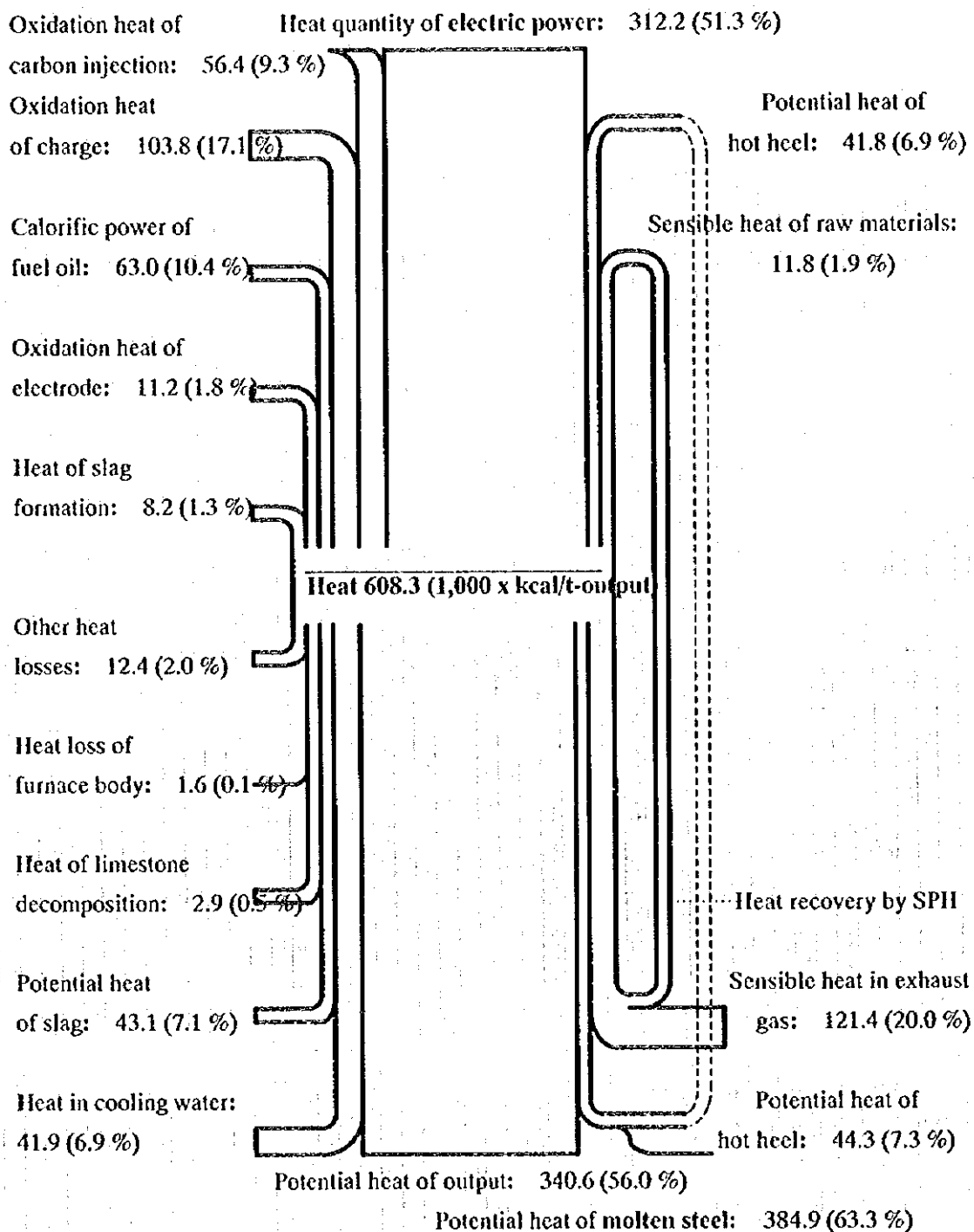


Figure 12-30 Heat Balance of Heat No. 965751

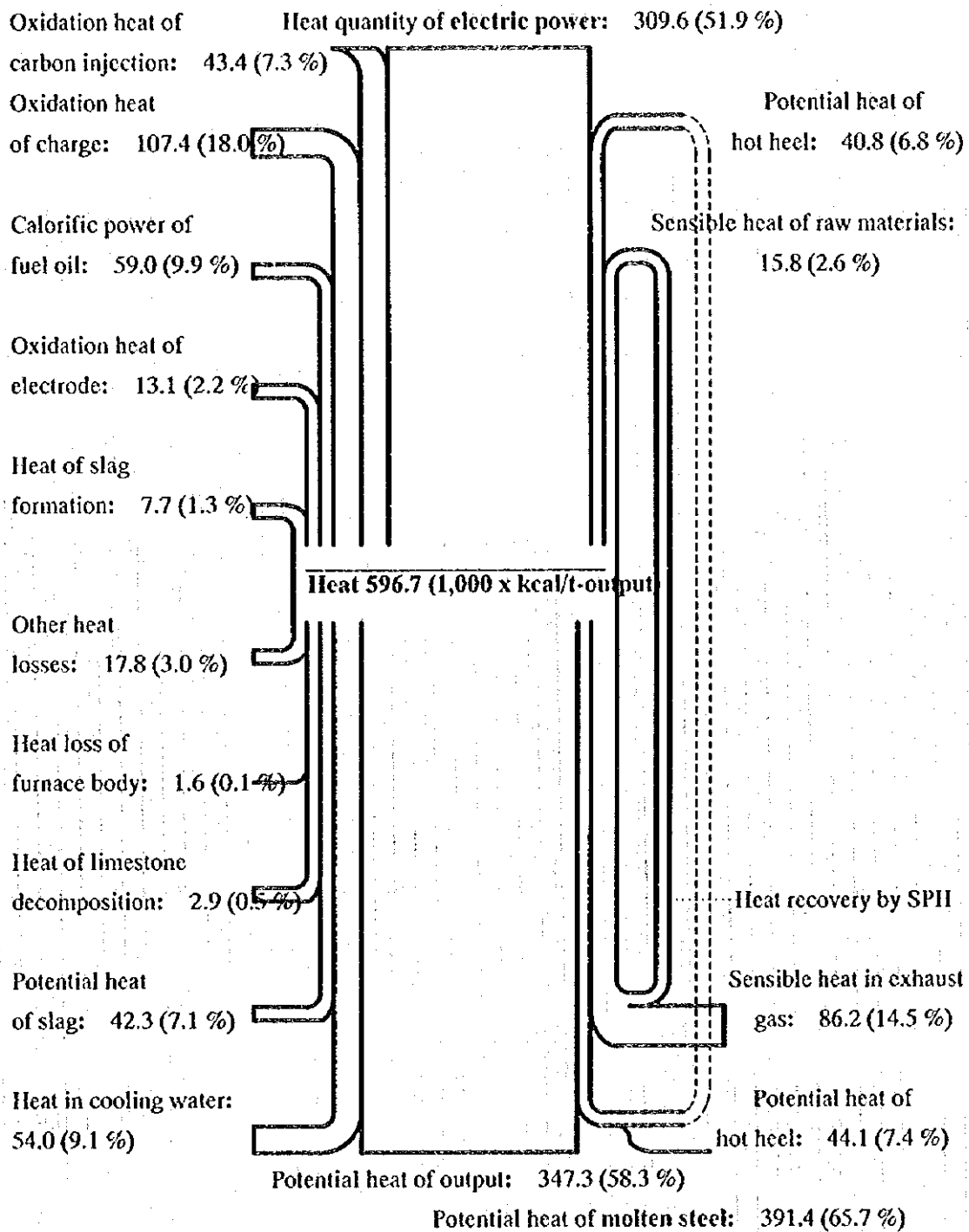


Figure 12-31 Heat Balance of Heat No. 965752

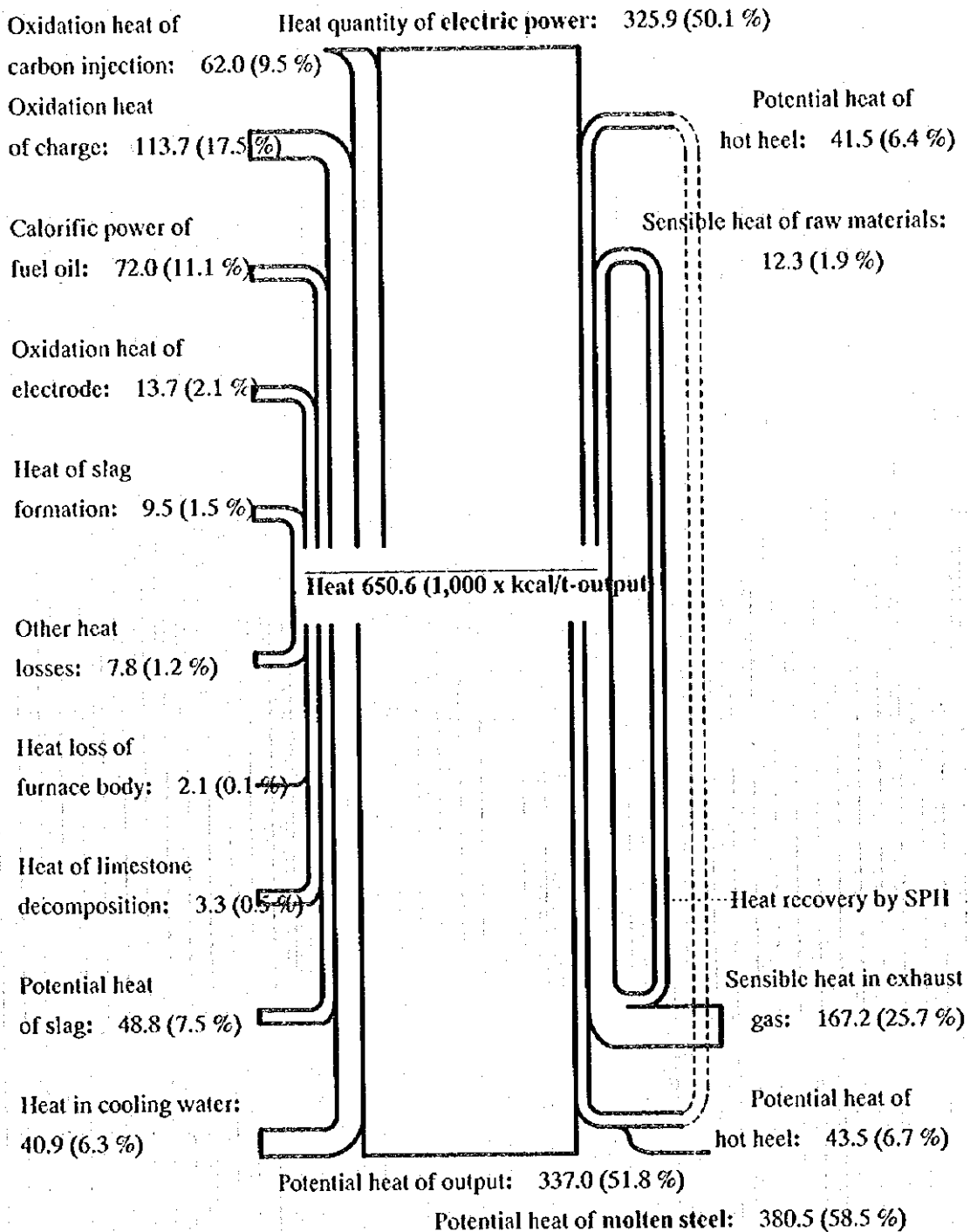


Figure 12-32 Heat Balance of Heat No. 965753

12-9-4 解析

(1) 全般

1) 熱精算に見られる特徴

各熱精算表は次の特徴を示している。

1. その他の損失熱は、鋼番 965751 で 2.0 パーセント、鋼番 965752 で 3.0 パーセント、鋼番 965753 で 1.2 パーセントとほとんど同じ値を示している。
2. 鋼番 965753 では 1 トン生産するのに 650,600 キロカロリーの熱量を要しているが、これは鋼番 965753 の 608,300 キロカロリー、鋼番 965753 の 596,200 キロカロリーよりも 7-8 パーセント高い。

本測定では、全電気損失熱は測定しなかった。これは通常 2 パーセント程度である。したがって、上記 1 について言えることは、1.2-3.0 パーセントのその他の損失熱は、全電気損失熱に相当する最低値に近い数値を示している。即ち、この 3 ヒートの計測は成功裏に行われたといえる。ちなみに、その他のヒートである鋼番 965729、965773、965776、965777 では、その他の損失熱はそれぞれ 6.6 パーセント、4.9 パーセント、11.4 パーセント、マイナス 0.2 パーセントであった。

上記 2 については、鋼番 965753 は他のヒートよりも製鋼時間が長くなったため、多くの熱量が必要となったためである。

2) 他の炉との比較

日本の電気炉のヒートバランスの比較を Table 12-19 に示す。

1. 電力の熱量：差異は見られない。
2. 残溶鋼の保有熱：何ともいえない。
3. 原料の顕熱：IDCの方が低い。これは SPH（スクラップ予熱）操業に依存するもので、IDCの技術向上が望まれる。
4. 燃料の発熱量：IDCの方が高い。熱精算上良いといえる。
5. 電極の酸化熱：IDCの方が低い。熱精算上は悪いが操業上は良いといえる。
6. 装入材の酸化熱：IDCの方が低い。この酸化熱は、使用する原料の種類に依存するものである。
7. 添加材の酸化熱：IDCの方が高い。日本の電気炉では、通常バケット装入で塊状コークスを使用している。IDCでは使用していない。
8. スラッグの生成熱：何ともいえない。
9. 溶鋼の保有熱：IDCの方が高い。熱精算上良い操業といえる。
10. 残溶鋼の保有熱：何ともいえない。

11. スラグの保有熱：IDCの方が高い。熱精算上悪い。
12. 石灰石の分解反応熱：何ともいえない。
13. 冷却水の持ち去る熱：IDCの方が低い。熱精算上良いといえる。
14. 排ガスの持ち去る顕熱：IDCの方が高い。熱精算上悪い。
15. 炉体の放射熱：何ともいえない。
16. その他の損失熱：何ともいえない。

Table 12-19 Comparison of Heat Input and Output

Furnace	Heat No. 965751		Heat No. 965752		Heat No. 965753		50 t F'ce	
	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)
Items	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)	Ratio (%)
1. Heat Input								
(1) Heat quantity of electric power	51.3	51.9	50.1	50.4	47	54.9		
(2) Potential heat of hot heel	6.9	6.8	6.4	8.0	-	-		
(3) Sensible heat of raw materials	1.9	2.6	1.9	4.9	5	2.9		
(4) Calorific power of fuel oil	10.4	9.9	11.1	0.5	4	4.7		
(5) Oxidation heat of electrode	1.8	2.2	2.1	2.8	4	4.3		
(6) Oxidation heat of charge	17.1	18.0	17.5	21.0	20	9.5		
(7) Oxidation heat of additives	9.3	7.3	9.5	12.4	20	23.7		
(8) Heat of slag formation	1.3	1.3	1.5	0.4	-	-		
(9) Heat input, total	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100.0		100.0
2. Heat Output								
(1) Potential heat of molten steel	56.0	58.3	51.8	51.2	51	51.5		
(2) Potential heat of hot heel	7.3	7.4	6.7	8.0	-	-		
(3) Potential heat of slag	7.1	7.1	7.5	4.9	5	4.4		
(4) Heat of limestone decomposition	0.5	0.5	0.5	-	-	-		

(5) Heat in cooling water	6.9	9.1	6.3	7.6	15.0	20.1
(6) Sensible heat in exhaust gas	20.0	14.5	25.7	16.4	15.0	-
(7) Heat loss at furnace body	0.1	0.1	0.1	-	-	-
(8) Other heat loss	2.0	3.0	1.2	11.9	14.0	24.0
(9) Heat output, total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Note: 1) Oxidation heat of additives means that of carbon charged and injected.

2) In case of IDC's heat, electrical heat loss is not measured.

3) In case of 125 t F_{ce}, heat loss at furnace body and electrical heat loss are not measured.

4) In case of 80 t F_{ce}, heat of slag formation is not measured.

5) In case of 80 t F_{ce}, oxidation heat of charge includes the calorific power of oil adhered to scrap of 8 %.

6) In case of 80 t F_{ce}, other heat loss is of heat loss at furnace body and electrical heat loss.

7) In case of 50 t F_{ce}, heat of slag formation is not measured.

8) In case of 50 t F_{ce}, sensible heat in exhaust gas is included in other heat loss.

(2) 電力の熱量

Table 12-19 によると電力の熱量の入熱に占める割合は 51 パーセントで日本の電気炉との間には差異はない。

(3) 残溶鋼の保有熱

残溶鋼の保有熱は、残溶鋼の温度を摂氏 1,550 度としたとき入熱に占める割合は 7 パーセントである。もし温度が 10 度高いと、熱精算上トン当たり 2,100 キロカロリー (2.4 キロワット) の節約となろう。従って残溶鋼温度低下を防ぐため、次のヒートはできるだけ早く通電開始すべきである。

(4) 原料の顕熱—SPH の効果—

本測定では、バケットの温度を以って原料の温度とした。原料は 3 バケットに分けて電気炉に装入されるが、第 1 及び第 2 バケットは SPH (スクラップ予熱装置) で予熱している。バケット温度と予熱時間の関係を Figure 12-33 に示す。

1 測定を除いて、予熱時間が長いとバケット温度が高くなる可能性が見られる。したがって、予熱時間は製鋼時間の許す範囲内でできるだけ長くすべきである。

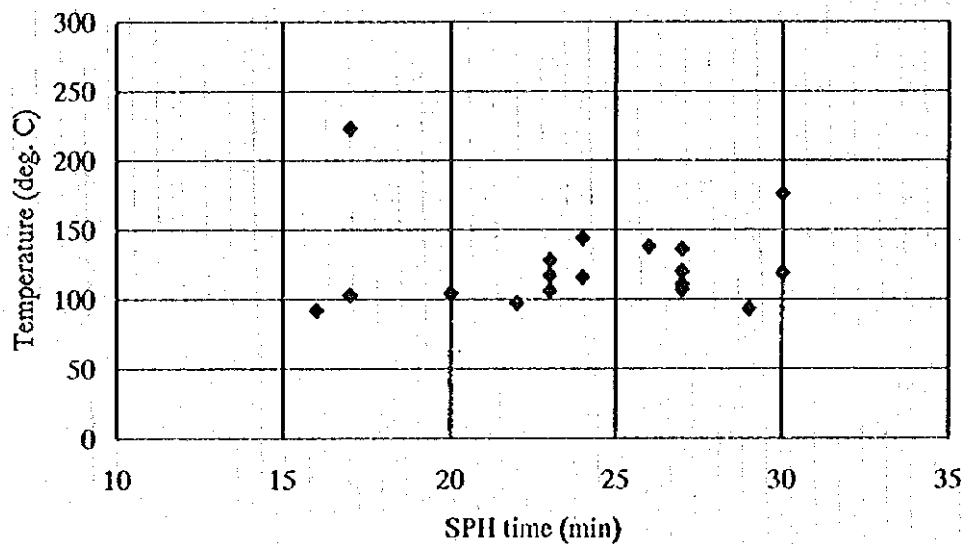


Figure 12-33 Relationship between Bucket Temperature and SPH Time

既設 SPH を改造することにより、もし第 3 バケツも予熱するとすれば、トン当り 6.8 キロワット、月間 17,900 米ドルが熱精算上節約することになる。

現状：第 1 バケツ、30 分予熱後、摂氏 150 度 x 42 トン

第 2 バケツ、15 分予熱後、摂氏 100 度 x 28 トン

第 3 バケツ、建家内温度、摂氏 35 度 C x 16 トン

平均 摂氏 112.3 度

入熱=12.88 キロカロリー-(摂氏 112.3 度するとき 1 キログラムの含熱量)x1,111

キログラム (原料原単位) /860 キロカロリー (1 キロワット当り)

= トン当り 16.6 キロワットアワー

改善後：第 1 バケツ、30 分予熱後、摂氏 150 度 x 42 トン

第 2 バケツ、40 分予熱後、摂氏 180 度 x 28 トン

第 3 バケツ、25 分予熱後、摂氏 130 度 C x 16 トン

平均 摂氏 156.0 度

入熱=18.14 キロカロリー-(摂氏 156.0 度するとき 1 キログラムの含熱量)x1,111

キログラム (原料原単位) /860 キロカロリー (1 キロワット当り)

= トン当り 23.4 キロワットアワー

電力の節約：23.4-16.6= トン当り 6.8 キロワットアワー

製造費の節約：トン当り 6.8 キロワットアワー x キロワットアワー当り 0.044 米ド

ル = トン当り 0.299 米ドル = 月間生産量が 60,000 トンのとき、月間 17,900

米ドル

既設及び改造後の SPH 操業とバケツの装入に関する模式図を、それぞれ Figure 12-34、Figure 12-35 に示す。

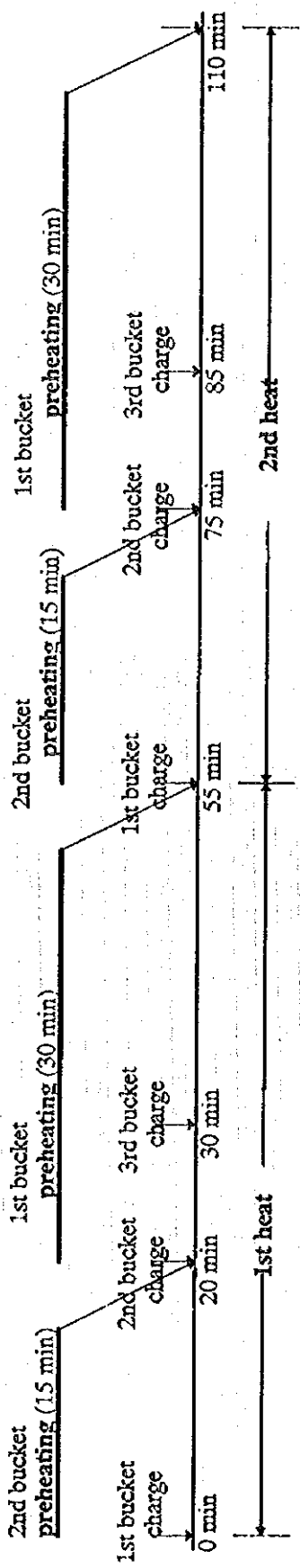


Figure 12-34 Schematic Diagram of SPH Operation and Bucket Charge - Existing -

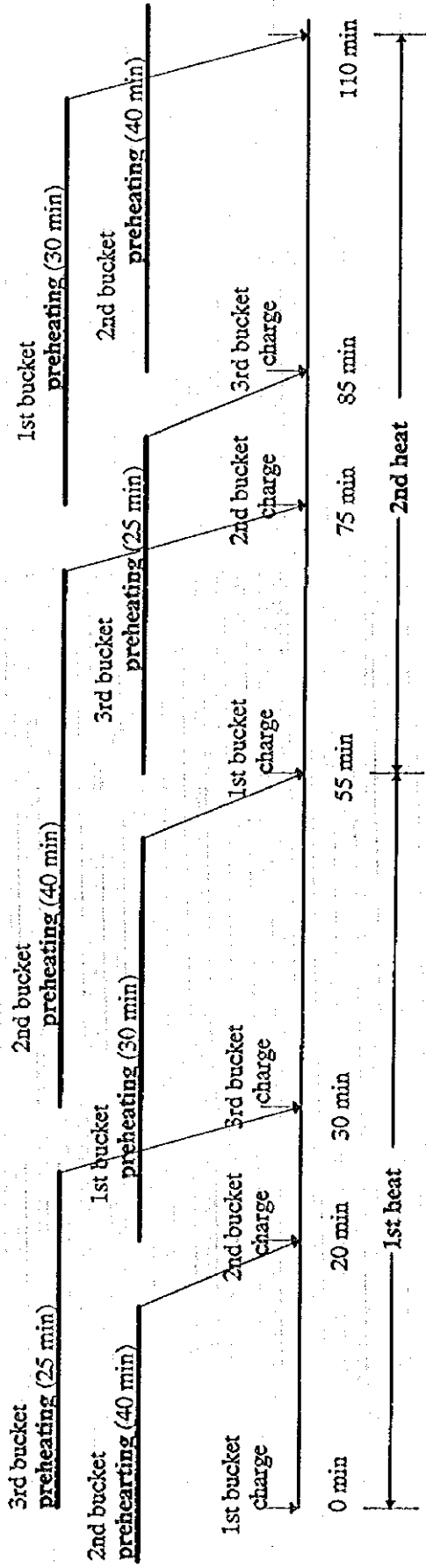


Figure 12-35 Schematic Diagram of SPH Operation and Bucket Charge - After Modification -

(5) 燃料の発熱量

燃料の発熱量は約 10 パーセントである。装入物（スクラップと鉄鉄）は電力により、酸素・燃料バーナーとランスパイプによる酸素吹込みの併用により、できるだけ早く溶解しなければならない。

酸素・燃料バーナーの燃料に対する酸素比（キログラム当たり標準立米）が Table 12-20 に示すようにヒートによって又バーナーによってばらついている。このばらつきはバーナー先端の詰まりによって生じるものである。この詰まりは、日常の保全によって除かなければならない。また、機構上の改善が必要であろう。

Table 12-20 によると、バーナーの使用時間は 24 分で燃料の流量は時間当たり 293 キログラムである。もし酸素比が一定になるように改善され、燃料の流量が時間当たり 380 キログラムに増えれば電力原単位で 5.2 キロワットアワー、製造費で月間 9,700 米ドルの節約となろう。

電力の節約： $(380 - 293) \text{ キログラム/時間} \times 24 \text{ 分} / 60 \text{ 分} = 35 \text{ キログラム/ヒート} =$
トン当り 0.45 キログラム $(\times 10,000 \text{ キロカロリー/キログラム}) =$ トン当り
4,500 キロカロリー $(/860 \text{ キロカロリー/キロワットアワー}) =$ トン当り 5.2
キロワットアワー

製造費の節約： $(\text{トン当り } 5.2 \text{ キロワットアワー} \times 0.044 \text{ 米ドル/キロワットアワー})$
 $- (\text{トン当り } 0.45 \text{ キログラム} \times 0.15 \text{ 米ドル/キログラム}) = (\text{トン当り } 0.161$
米ドル) $= (\text{月間生産量 } 60,000 \text{ トンのとき } 9,700 \text{ 米ドル})$

Table 12-20 Flow Rate of Oxygen Gas and Fuel Oil of Oxy - Fuel Burner

Heat No	965749	965750	965751	965752	965753	965773	965774	965775	965776	965777	Average
No.1	24	25	20	26	25	24	25	21	24	-	23.6
Duration (min)											
O ₂ (Nm ³)	280	290	232	365	249	252	275	236	268		272
Oil (kg)	121	105	133	104	182	94	121	95	107		118
O ₂ (Nm ³ /hr)	700	696	696	842	650	630	655	674	670		690
Oil (kg/hr)	303	252	399	240	475	235	290	271	268		304
O ₂ /Oil (Nm ³ /kg)	2.31	2.76	1.74	3.51	1.37	2.68	2.26	2.48	2.50		2.40
No.2	24	25	25	26	23	24	25	21	24	-	24.1
Duration (min)											
O ₂ (Nm ³)	248	283	285	301	255	278	293	257	278		275
Oil (kg)	132	158	162	107	136	101	151	169	164		142
O ₂ (Nm ³ /hr)	620	679	684	695	665	695	703	734	695		686
Oil (kg/hr)	330	379	389	247	355	253	362	483	410		356
O ₂ /Oil (Nm ³ /kg)	1.88	1.79	1.76	2.81	1.88	2.75	1.94	1.52	1.70		2.00
No.3	24	25	12	26	23	24	25	21	24	-	22.7
Duration (min)											
O ₂ (Nm ³)	265	286	152	307	249	264	282	250	268		258
Oil (kg)	96	100	56	101	93	82	95	85	87		88
O ₂ (Nm ³ /hr)	663	686	760	708	650	660	677	714	670		688
Oil (kg/hr)	240	240	280	233	243	205	228	275	218		240
O ₂ /Oil (Nm ³ /kg)	2.76	2.86	2.71	3.04	2.68	3.22	2.97	2.94	3.08		2.92
No.4	24	25	25	26	23	24	25	21	24	-	24.1
Duration (min)											
O ₂ (Nm ³)	288	307	297	308	272	332	330	275	297		301
Oil (kg)	106	113	112	117	124	102	116	95	105		110
O ₂ (Nm ³ /hr)	720	737	713	711	710	830	792	786	743		749
Oil (kg/hr)	265	271	269	270	323	255	278	266	265		273
O ₂ /Oil (Nm ³ /kg)	2.72	2.72	2.65	2.63	2.19	3.25	2.84	2.96	2.83		2.76

(6) 電極の酸化熱

電極の酸化熱は約 2 パーセントで日本の炉に比べて小さい。この小さいということは熱精算上はよろしくないが、操業上の成績としては良いことを意味する。

(7) 装入材の酸化熱

装入材の比率は約 18 パーセントで、51 パーセントの電力の熱量に次いで二番目の大きさである。Table 12-21 は銑鉄とスクラップの酸化熱の比較を示す。計算は今回の測定と同じように行なった。銑鉄の酸化熱はスクラップよりトン当り 298,200 キロカロリー高い。このことは熱精算上銑鉄はスクラップに比べて、トン当り 14 米ドルの付加価値を持っていることを意味する。これは、原料調達において一つの指針となろう。

$((373,400 - 98,100) \text{ キロカロリー} \cdot (\text{出鋼量トン当り})) \div (860 \text{ キロカロリー} \cdot (\text{キロワット当り})) \times 0.044 \text{ 米ドル} \cdot (\text{キロワット当り}) = \text{出鋼量トン当り } 14.09 \text{ 米ドル}$

Table 12-21 Comparison of Oxidation Heat of Pig iron and Scrap

Kind of raw materials	pig iron	scrap
Mean CO ₂ content in exhaust gas (CO ₂) (%)	14.7	14.7
Mean CO content in exhaust gas (CO) (%)	4.7	4.7
(7) Oxidation heat of charge, Q ₇ (1000 x kcal/t-output)	373.4	98.1
(7a) Oxidation heat of charged C, Q _{7a} (1000 x kcal/t-output)	245.8	23.6
Unit consumption of scrap (kg/t-output)	0	1000
Unit consumption of pig iron (kg/t-output)	1000	0
C content (%)	3.65	0.35
C content of molten steel before tapping (%)	0.00	0.00
Oxidation amount of charged C, m _{7a} (kg/t-output)	36.5	3.5
Heat of C oxidation at CO ₂ formation, q _{7CCO₂} (kcal/kg)	8075	8075
Heat of C oxidation at CO formation, q _{7CCO} (kcal/kg)	2448	2448
(7b) Oxidation heat of charged Si, Q _{7b} (1000 x kcal/t-output)	78.3	17.2
Si content	1.05	0.23
Si content of molten steel before tapping (%)	0.00	0.00
Oxidation amount of charged Si, m _{7b} (kg/t-output)	10.50	2.30
Heat of Si, q _{7bSi} (kcal/kg)	7459	7459
(7c) Oxidation heat of charged Mn, Q _{7c} (1000 x kcal/t-output)	11.7	12.6
Mn content (%)	0.70	0.75
Mn content of molten steel before tapping (%)	0.00	0.00
Oxidation amount of Mn, m _{7c} (kg/t-output)	7.00	7.50
Heat of Mn, q _{7cMn} (kcal/kg)	1674	1674
(7d) Oxidation heat of charged P, Q _{7d} (1000 x kcal/t-output)	2.3	4.4
P content (%)	0.040	0.075
P content of molten steel before tapping (%)	0.000	0.000
Oxidation amount of P, m _{7d} (kg/t-output)	0.40	0.75

Heat of P, q_{7dP} (kcal/kg)	5811	5811
(7e) Oxidation heat of charged Cr, Q_{7c} (1000 x kcal/t-output)	0.0	3.9
Cr content of scrap (%)	0.000	0.150
Cr content of molten steel before tapping (%)	0.000	0.000
Oxidation amount of Cr, m_{7c} (kg/t-output)	0.00	1.50
Heat of Cr, q_{7cCr} (kcal/kg)	2620	2620
(7f) Oxidation heat of charged Al, Q_{7f} (1000 x kcal/t-output)	0.0	1.3
Al content (%)	0.000	0.017
Al content of molten steel before tapping (%)	0.0	0.0
Oxidation amount of Al, m_{7f} (kg/t-output)	0.00	0.17
Heat of Al, q_{7fAl} (kcal/kg)	7419	7419
(7g) Oxidation heat of charged Fe, Q_{7g} (1000 x kcal/t-output)	35.3	35.3
Unit weight of slag, m_{7g} (kg/t-output)	100	100
Heat of Fe oxidation at FeO formation, q_{7gFeO} (kcal/kg)	1151	1151
Heat of Fe oxidation at Fe ₂ O ₃ formation, $q_{7gFe2O3}$ (kcal/kg)	1756	1756
FeO content in slag, (FeO) (%)	9.01	9.01
Fe ₂ O ₃ content in slag (Fe ₂ O ₃) (%)	22.16	22.16

(8) 炭分吹込みの酸化熱

炭分吹込みは、元来、操業技術の一つで、泡立ちスラグを形成してこれによりアークを包み、電力消費を節約するというものであるが、熱精算上は熱源として勘定される。その酸化熱は約 8 パーセントで日本の電気炉より低い。日本の電気炉では炭分吹込みの他に通常第 1 バケットで塊状コークスを使用しているためである。

(9) スラグの生成熱

鋼番 965752 と鋼番 965753 の石灰使用量、スラグ発生量、熱精算を例として Table 12-22 に示す。

Table 12-22 Consumption of Burnt Lime, Slag Generation and Heat Balance

Heat No.	965752	965753
Consumption of burnt lime (kg/heat)	1790	2150
Unit consumption of burnt lime (kg/t-output)	22.8	27.8
Slag generation (kg/heat)	6610	7939
Unit weight of slag (kg/t-output)	84	103
Heat of slag formation (1000 kcal/t-output), Heat Input	7.7	9.5
Potential heat of slag (1000 kcal/t-output), Heat Output	42.3	48.8

鋼番 965753 のスラグの保有熱は鋼番 965752 よりトン当り 6,500 キロカロリー多いが、

スラグ生成熱はわずか 1,800 キロカロリーー高いだけである。
したがって、石灰の使用量は溶鋼の P および S と共に熱精算も考慮して検討すべきである。

もし石灰の使用量がトン当り 38.4 キログラム (3,000 キログラム/ヒート。1995 年 1 月から 10 月の IDC 実績。1995 年 12 月現地調査時に採取) から 25.6 キログラムに減少するならば、Table 12-23 が結果として得られる。

Table 12-23 Improvement by Standardization of Consumption of Burnt Lime

	95/Jan. - Oct.	Improve- ment	Merit
Consumption of burnt lime (kg/heat)	3,000	2,000	+ 1,000
Unit consumption of burnt lime (kg/t-output)	38.4	25.6	+ 12.8
Slag generation (t/heat)	11.078	7.385	+ 3.693
Unit weight of slag (kg/t-output)	142	95	+ 47
Heat of slag formation (1000 kcal/t-output), Heat Input	13.1	8.7	- 4.4
Potential heat of slag (1000 kcal/t-output), Heat Output	67.0	44.8	+ 22.2

即ちトン当り 17,800 キロカロリーー (20.5 キロワットアワー) 熱精算上節約され、石灰の原単位もトン当り 12.8 キログラム減少する。

製造費節約: 石灰 出鋼量トン当り 12.8 キログラム x 0.043 米ドル/キログラム
= トン当り 0.55 米ドル

電力 出鋼量トン当り 20.7 キロワット x 0.044 米ドル/キログラム
= トン当り 0.91 米ドル

合計: トン当り 1.46 米ドル = 月間生産量 600,000 トンのとき 87,000 米ドル

(10) 溶鋼の保有熱

溶鋼の保有熱 (残溶鋼を含まない) は 56.0、58.3、51.8 パーセントで日本の電気炉の約 51 パーセントに比べ高い。IDC の操業は良いレベルにあるといえる。

(11) スラグの保有熱

12-9-4 (9)項参照。

(12) 石灰石の分解反応熱

IDCで使用している石灰は必ずしも品質が良いとはいえない。約30パーセントの焼けていないままの石灰石が残っている。もし現在と同じ価格で良質な石灰が購入できるならば、熱精算上トン当り3.4キロワットアワーの節約となろう。

出鋼量トン当り分解反応熱 2,900 キロカロリー (860 キロカロリー/キロワットアワー)
= トン当り 3.4 キロワットアワー。石灰原単位トン当り 23.3 キログラムのとき

(13) 冷却水の持ち去る熱

冷却水の持ち去る熱の入熱に占める割合は 6.9、9.1、6.3 パーセントといくらか高いようである。

Table 12-24 に示すように入り側と出側の温度差はエルポーで 9.7 度、炉蓋で 5.0 度、EBT で 2.6 度、炉殻 1 で 2.3 度、炉殻 2 で 2.5 度と非常に小さい。また、平均最高出側温度はエルポーで 49.8 度、炉蓋で 38.7 度、EBT で 38.3 度、炉殻 1 で 38.3 度、炉殻 2 で 38.1 度である。もし、入り側の温度が 35 度のとき、この平均最高出側温度を 58 度とするならば（管冷却方式における入り側と出側の冷却水温度の差は、設計上 23 度とする）、熱精算上は冷却水はトン当り 7.7 立方メートル（時間当り 800 立方メートル）少なくすむ。

製造費の節約：出鋼量トン当り冷却水使用量の差 (10,159 - 2,442) キログラム x
0.014 米ドル/トン = トン当り 0.108 米ドル = 月間生産量 60,000 トンのとき
6,500 米ドル

冷却水量の節約：(1,053 - 254) = 毎時 799 立方メートル

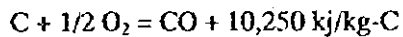
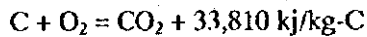
この場合、水冷パネルが露出してアークにさらされないように現在の優れた操業技術が守られねばならない。実施にあたっては、結果をみながら徐々に冷却水を減らしていくことを薦める。

(14) 排ガスの持ち去る顕熱

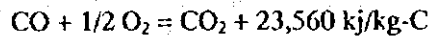
排ガスの持ち去る顕熱の入熱に占める割合は、20.0、14.5、25.7パーセントと大きく、日本の電気炉に比べるとやや大きいようである。

Table 12-17によると排ガス中に残存するCOガスは1.5から7.1パーセントである。このCOガスは現在は燃焼塔で燃焼して冷却水に吸収されている。この残存COガスが電気炉内で酸素により燃焼され熱に変換されるとすれば、より良い熱効率が得られるであろう。この方法は、いわゆるポストコンパッション（後燃え）技術である。

COガスの反応熱とCOガスの燃焼に必要な酸素ガスの量は次の式から求める。



従って



COの燃焼熱は1キログラム当たり13,015キロジュールである。この値は、Cの1キログラム当りの燃焼熱量23,560キロジュールから計算により得られた。

IDCにおける測定資料に基づき各ヒートの残存COガスの燃焼熱を計算すると次の通りである。

Heat No.	CO _{IN} (%)	F _{IN} (Nm ³ /min)	Time (min)	Cb-Ht _{IN} (kcal/min)	T-Cb-Ht _{IN} (kcal/heat)	F-CbO ₂ (Nm ³ /min)	T-CbO ₂ (Nm ³ /heat)
965751	7.1	555	43	111,600	4,800,000	18.5	796
965752	3.5	401	43	40,400	1,730,000	6.7	288
965753	1.5	657	57	29,900	1,700,000	5.0	285
Average	4.0				2,743,000		456

注：

Cb-Ht_{IN}: Calculated combustion heat flow rate (kcal/min)

$$Cb-Ht_{IN} = (CO_{IN}/100) \times F_{IN} \times 3,015$$

T-Cb-Ht_{IN}: Total calculated combustion heat (kcal/heat)

$$T-Cb-Ht_{IN} = Cb-Ht_{IN} \times \text{Time}$$

Time: Power-on to power-off time (min)

F-CbO₂: Calculated combustion O₂ gas flow rate to burn CO gas (Nm³/min)

$$F-CbO_2 = F_{IN} \times (CO_{IN}/100) \times 1/2$$

T-CbO₂: Total calculated combustion O₂ gas quantity to burn CO gas (Nm³/heat)

$$T-CbO_2 = F-CbO_2 \times \text{Time}$$

計算結果によると、酸素をヒート当たり 456 立方メートル（トン当たり 5.9 立方メートル）使用しての CO ガスの燃焼熱は、ヒート当たり 2,743,000 キロカロリー（トン当たり 41.1 キロワット）発生することになる。即ち、溶鋼の含熱量が入熱に占める割合が 62.5 パーセントとすると（Table 12-19、溶鋼の含熱量が入熱に占める割合参照）、トン当たり 26.6 キロワットが溶鋼に付加されるように見える。

しかし、次の理由からこの 26.6 キロワットが全て省エネルギーにはつながらない。

1. 熱の性格として、主に電力、装入物の酸化熱、ホットヒールからなる入熱と排ガス中の CO ガスが燃えて発生する熱には大きな差がある。前者は溶鋼を直接加熱するのに対し、後者は間接的加熱である。後者の場合、熱輻射で効率は小さい。従って溶鋼の含熱量が入熱に占める割合は 62.5 パーセントよりはるかに小さいものになるであろう。
2. 電気炉内の溶鋼の上で発生する熱は溶鋼のみならず炉殻と炉蓋に吸収される。炉殻と炉蓋の熱吸収面積が溶鋼の表面積よりも大きいことを考えると、溶鋼への熱吸収は小さい。

上記の表では、残存 CO ガス 4 パーセントが 5.9 立方メートルの酸素により全て燃焼するとして計算した。しかし実際の操業では、Figure 12-20 に示すように溶解時間帯により CO ガスの発生は変動しており、CO ガスの発生に追従して酸素の流量をコントロールすることはできない。したがって、発生 CO ガスを全て燃焼させるには 5.9 立方メートルの数倍の酸素を必要としよう。

以上の考察からポストコンバッションの効果は疑わしい。なお、日本の電気炉で採用している工場の例は聞かない。

(15) 炉体の放射熱

炉体の放射熱の入熱に占める割合は非常に小さい。

(16) その他の損失熱

12-9-4(1)参照。

12-10 工場のエネルギーの流れとエネルギーの主要消費設備

IDCにおけるエネルギーの流れを Figure 12-36 に示す。

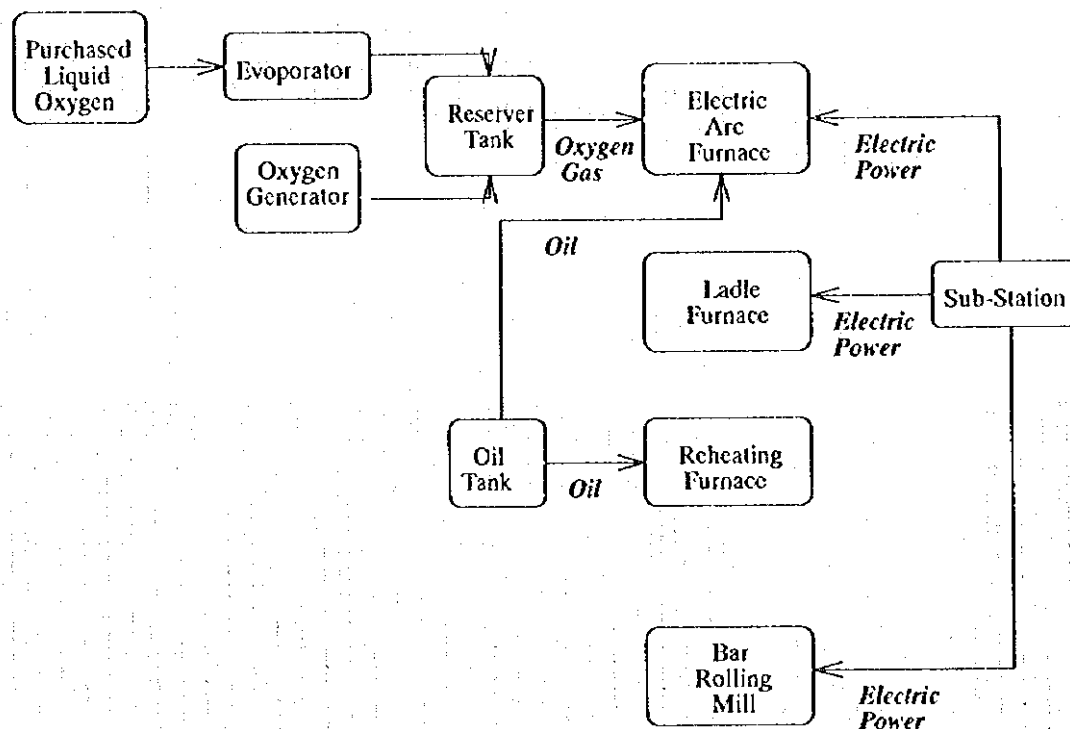


Figure 12-36 Energy Flowchart in IDC

エネルギーの主要消費設備については、12-6-1 項を参照。

12-11 省エネルギーのための対策と推奨

12-11-1 設備・操業の改善

電気炉の熱精算のための測定および解析により、次の合理化を推奨する。加えて、NKKの経験に基づく、加熱炉への高温におけるピレットのホットチャージについて推奨する。項目1-5は、金額に換算できる合理化対策であり、項目6-8は電気炉操業の指針となるものである。

1. 第3バケットも予熱できるような SPH（スクラップ予熱装置）の改造
第2フード、既設第2槽へのダンパー付きガス導入管、既設第2槽からのダンパー付きガス排出管、既設第1槽及び新設第2槽からのガス排出管へのブロワー、電気設備の新設
2. 燃料に対する酸素比（キログラム当たり標準立米）を一定にするための電気炉酸素・燃料バーナーの保全
3. 電気炉石灰使用基準の標準化
4. 電気炉炉体冷却水の減量
5. 加熱炉への高温におけるピレットのホットチャージを行うためのピレット冷却装置
ポンプ、水配管、スプレイノズル、制御システムの新設（詳細は、Annex-3 HOT CHARGE OF BILLET 参照）
6. 残溶鋼温度低下を防ぐための早期通電開始
7. 装入物顕熱を高めるための長時間スクラップ予熱
8. 石灰石分解反応熱を防ぐための良く焼成された石灰の使用

12-11-2 モラルの向上

エネルギー利用の合理化を達成するには、経営者、スタッフ及び作業員まで含めたあらゆる階層の人々がそれぞれの役目を果たす必要がある。

(1) 経営者レベルでの省エネルギーの取り組み

経営者は活動のための基盤を作る必要がある。以下の項目が全社を通じての省エネルギーを活発化するための基本となる。

1. 方針の決定（トップの姿勢）
 - (1) 省エネルギーへの断固たる決断の表明
 - (2) 定量的目標の設定
 - (3) 制約条件及び評価基準の明示（投資限界、ROI/PBP）
 - (4) その他
2. 省エネルギー活動のための組織作り（省エネルギー委員会）
 - (1) エネルギー消費量、コスト等の調査
 - (2) 活動の計画及び実行のフォロー
 - (3) スタッフ及び作業員からの提案募集
 - (4) 予算化
 - (5) 教育、PR

- (6) その他
- 3. 小集団活動の推進（作業員チームの活動推進及び提案の収集）
 - (1) チーム編成
 - (2) 支援体制の導入
 - (3) 成果発表会及び実績フォロー
 - (4) 表彰制度
 - (5) その他

以上の事柄は、成果の測定と省エネルギームードの高揚のために非常に重要な基盤である。

(2) スタッフレベルでの省エネルギー活動

このレベルでの省エネルギー活動も極めて大切である。このレベルで技術的検討がなされるからである。

1. 入熱の削減

(1) 熱源の変更

- 1) 補助燃焼（酸素・燃料バーナー）
- 2) 酸素吹込み
- 3) 燃料によるスクラップ予熱

(2) 排熱の利用

- 1) スクラップ予熱
- 2) ホット自家発生スクラップの利用
- 3) ホットヒール（残溶鋼）操業
- 4) ピレットのホットチャージ（高温装入）

(3) 溶鋼の温度低減

- 1) 取鍋温度の上昇
- 2) 取鍋へのカバー取付

2. 熱ロスの減少

(1) 設備改良

- 1) 炉の容量アップ
- 2) トランスの大容量化
- 3) 自動電極制御装置の利用
- 4) 二次導体及び電極の抵抗減少
- 5) 炉蓋開閉頻度減少

(2) 操業改善

- 1) 溶鋼分析の迅速化
- 2) スクラップ配合の改善
- 3) スクラップ装入時間の減少
- 4) 電力使用方法の最適化
- 5) 精練及び補修時間の減少
- 6) 排気設備の効率的運転
- 7) 電極折損の減少
- 8) 連鑄の待ち時間減少
- 9) 不均一溶解の防止
- 10) 泡立ちスラグのためのカーボン吹込み
- 11) その他

3. 歩留改善

- (1) 連鑄の操業ミスの減少
- (2) 残鋼の減少

4. 排熱の活用

- (1) 排温水の利用（空調、ボイラー用水プリヒータ）
- (2) 排ガス利用（蒸気、電力発生）
- (3) スラグ潜熱の利用（蒸気、電力発生）
- (4) 溶鋼潜熱の利用（蒸気、電力発生）

(3) 作業員レベルでの省エネ活動

このレベルでの省エネルギー活動は、現場作業員のためにも非常に重要である。と同時に、彼らの持つ現場知識あるいは運転経験に基づくアイデアを、単に省エネルギーだけでなく安全面や環境保全面でも実行に供することができる。

1. 省熱エネルギー

(1) 小改良

- 1) スラグドアの断熱カバー
- 2) 炉蓋と炉殻の隙間の砂によるシール
- 3) その他

(2) 操業の標準化

- 1) バーナー操作
- 2) スクラップ予熱
- 3) スラグドアの開閉
- 4) スクラップの水分の除去

- 5) その他
2. 省電力エネルギー（回転体：ポンプ、コンプレッサー）
 - (1) 回転数変更
 - 1) プーリー変更
 - 2) モーター極数変更
 - 3) VVVF 設置（周波数/電圧可変器）
 - 4) その他
 - (2) 装置の変更
 - 1) インペラーカット
 - 2) ポンプ変更
 - 3) ポンプ配列の変更
 - 4) その他
 - (3) エネルギー回収
 - 1) ポンプ停止（自圧移送の利用）
 - 2) プロア停止（煙突効果の利用）
 - 3) 水力タービン、膨張タービンの利用
 - 4) 減圧タービンの利用
 - 5) サーマコンプレッサ/ヒートパイプの活用
 - 6) その他

以上の活動を効果的に進めるには、技術スタッフは作業員をサポートする立場にあるが、教科書の準備をし、彼らを詳細に指導しなければならない。

活動の一例を Annex-5 に示す。

12-12 対策に要する費用

12-12-1 SPH（スクラップ予熱装置）の改造

1. 第2フード
2. 既設第2槽へのダンパー付きガス導入管
3. 既設第2槽からのダンパー付きガス排出管
4. 既設第1槽及び新設第2槽からのガス排出管へのブロワー
5. 電気設備
6. 据え付け

建設費見積：200,000米ドル

Figure 12-37 に模式的にレイアウトを示す。

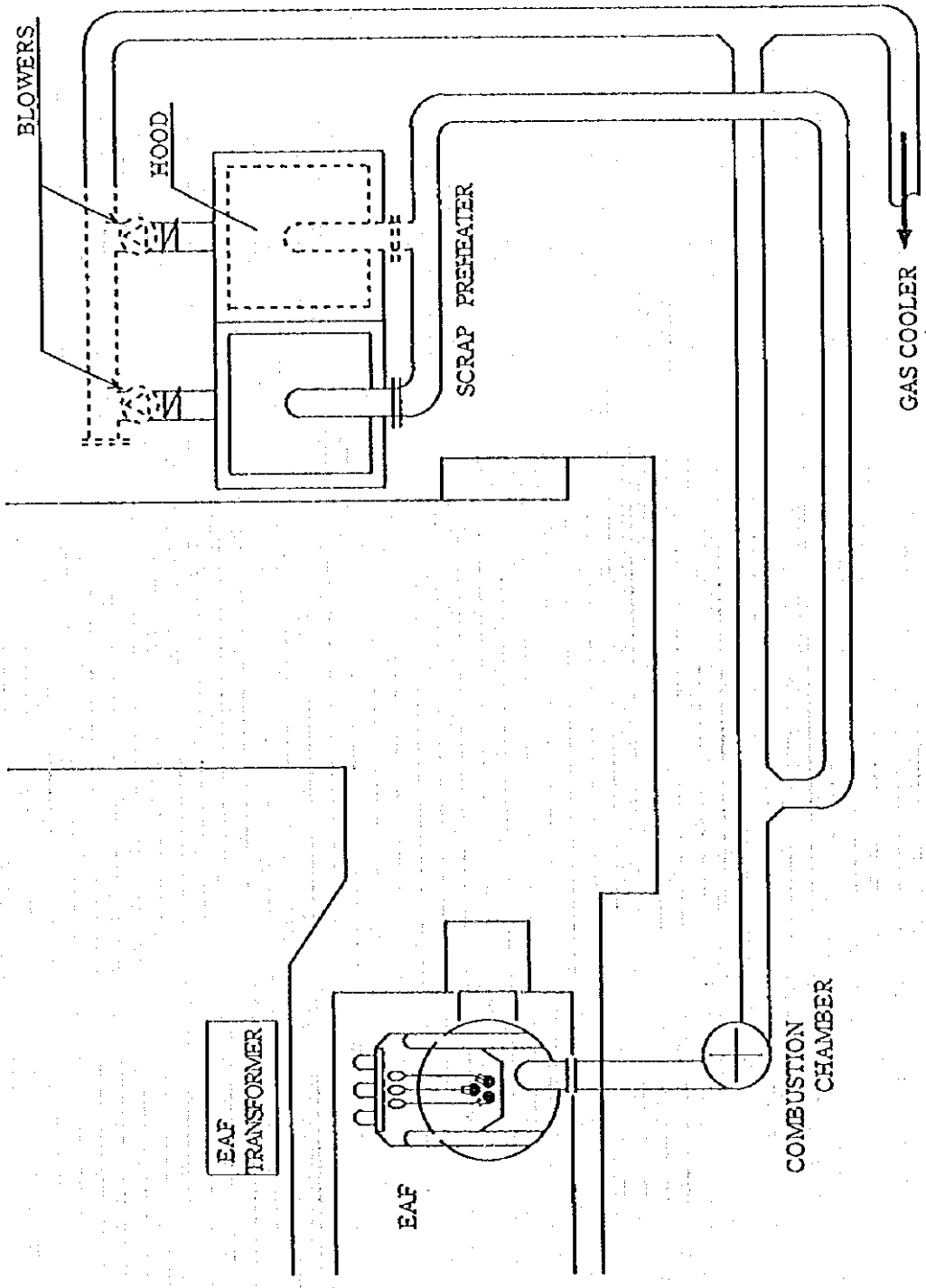


Figure 12-37 Schematic Layout of SPH Modification

12-12-2 ピレット冷却方式の導入

1. ポンプ：冷却水スプレイ用、毎時 300 立方メートル
2. 水配管、バルブ、つなぎ管
3. スプレイノズル：144 個
4. 電気設備
5. 据え付け

建設費見積：21,300 米ドル

12-13 エネルギー合理化の総合評価

1. 第3バケット予熱のための SPII（スクラップ予熱装置）の改造
12-9-4(4)参照。
電力の合理化：トン当たり 6.8 キロワット
製造費の合理化：トン当たり 0.299 米ドル=17,900 米ドル、月間生産量 60,000 トンのとき
改造費：200,000 米ドル
結論：投資金額は 12 ヶ月で回収
2. 燃料に対する酸素比（キログラム当たり標準立米）を一定にするための電気炉
酸素・燃料バーナーの保全
12-9-4(5)参照。
電力の合理化：トン当たり 5.2 キロワット
製造費の合理化：トン当たり 0.161 米ドル=9,700 米ドル、月間生産量 60,000 トンのとき
3. 電気炉石灰使用基準の標準化
12-9-4(9)参照。
石灰の合理化：1995 年前半期に比べ、トン当たり 12.8 キログラム
電力の合理化：トン当たり 20.7 キロワット
製造費の合理化：87,000 米ドル、月間生産量 60,000 トンのとき
4. 電気炉炉体冷却水の減量
12-9-4(13)参照。
冷却水の減量：毎時 800 立方メートル
製造費の合理化：6,500 米ドル、月間生産量 60,000 トンのとき