

5. 高温ホットチャージのピレット冷却装置

- 1) 現状：ピレットの 60-70 パーセント (65 パーセント) が摂氏 300-600 度 (450 度) で加熱炉に装入され、1,100-1,150 度 (1,125 度) に加熱されている。
- 2) 改善後：ピレットの 60-70 パーセント (65 パーセント) を摂氏 690 度で加熱炉に装入し、1,100-1,150 度 (1,125 度) に加熱する。

燃料オイルの合理化： $((100.8 \text{ キロカロリー} - (58.1 \text{ キロカロリー})) \times 1,000 \text{ キログラム} / 10,000 \text{ キロカロリー} = \text{ピレットトン当り燃料 } 4.3 \text{ キログラム} / 0.5 = \text{ピレットトン当り燃料 } 8.5 \text{ キログラム} \times 0.65 = \text{ピレットトン当り燃料 } 5.6 \text{ キログラム}$   
ここで

100.8 キロカロリー：690 度におけるピレットキログラム当り熱含量

58.1 キロカロリー：450 度におけるピレットキログラム当り熱含量

1,000 キログラム：ピレット重量

10,000 キロカロリー：燃料の低発熱量

0.5：燃焼効率

0.65：ホットチャージ率

製造費の合理化：燃料ピレットトン当り 5.6 キログラム  $\times$  燃料キログラム当り 0.15 米ドル = ピレットトン当り 0.84 米ドル = 50,400 米ドル、月間生産量 60,000 トンのとき

改造費：21,300 米ドル

結論：投資金額は 1 ヶ月で回収

6. 残溶鋼温度低下を防ぐための早期通電開始

もし残溶鋼の温度が 10 度高ければ、熱精算上トン当り 2.4 キロワットの電力節約となる。

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

12-14 エネルギー合理化の指針

電気炉の熱精算作成に関する測定方法について述べる。

### 12-14-1 熱精算

熱精算表は入熱と出熱から成り立っている。

#### (1) 入熱項目

入熱項目は次のとおり。

1. 電力の熱量
2. 溶銑、残溶鋼および残スラグの保有熱
3. 原料の顕熱
4. 燃料の発熱量
5. 燃料の顕熱
6. 電極の酸化熱
7. 装入材の酸化
8. 添加材の酸化熱
9. スラグの生成熱

#### (2) 出熱項目

出熱項目は次のとおり。

10. 出鋼量と残溶鋼の保有熱
11. スラグの保有熱
12. 石灰石、鉄鉱石の分解反応熱
13. 全電氣的損失熱量
14. 冷却水の持ち去る熱量
15. 排ガスの持ち去る熱量
16. 炉体の放散熱
17. その他の損失熱－入熱（1項から9項）と出熱（10項から16項）の差

### 12-14-2 測定項目及び測定機器

#### (1) 測定項目

入熱および出熱の計算に必要な測定項目を Table 12-25 に示す。

#### (2) 測定機器

測定機器を Table 12-25 に示す。JICA が準備した機器は Table 12-26 に示す。

Table 12-25 Measuring Items and Method and Equipment/Instruments

Measuring Items	Measurement/ Estimation	Equipment/Instruments	Preparation of Equip./Instruments	Measuring/Estimation Interval	Remarks
1 Heat quantity of electric power	1) M 2) E	1) kWh meter	1) Existing, IDC	1) Each heat	
2) Output	2) E	2) -	2) -	2) Each heat	2) Calculation. See Note 1).
2 Potential heat of hot metal, hot heel of raw material and slag					
2-1 Potential heat of hot metal					Hot metal was not used in this study.
2-2 Potential heat of hot heel	1) E 2) E 3) E	1) - 2) - 3) -	1) - 2) - 3) -	1) Constant value 2) Constant value 3) Each heat	1) Amount of hot heel was estimated 10 v/heat in this study. 2) Hot heel temperature was estimated 1,550 °C in this study. 3) Calculation. See Note 1).
2-3 Potential heat of residual slag					Small amount of residual slag was not considered in this study.
3 Sensible heat of raw materials	1) M 2) M	1) Weigher	1) Existing, IDC	1) Each bucket	
2) Temperature of raw materials	2) M	2) Surface thermometer	2) JICA	2) At top, middle and bottom of each represented scrap bucket before charge	2) Surface temperature of bucket temperature in this study.

to EAF

4	Calorific power of fuel oil	1) Consumption of fuel oil	1) M	1) Integrator	1) Existing, IDC	1) Each heat
		2) Low heating value of fuel oil	2) E	2) -	2) -	2) Constant value
		3) Output	3) E	3) -	3) -	3) Each heat
5	Sensible heat of fuel oil	The small sensible heat of fuel oil was not considered in this study.				
6	Oxidation heat of electrode	1) Unit consumption of electrode	1) E	1) -	1) -	1) Unit consumption of electrode was statistically estimated in this study.
		2) C content of electrode	2) E	2) -	2) -	2) Constant value
		3) CO <sub>2</sub> and CO contents of exhaust gas	3) M	3) CO/CO <sub>2</sub> analyzer	3) JICA	3) Continuously
7	Oxidation heat of charge					
7-1	Oxidation heat of charged carbon	1) Consumption of scrap, pig iron and charged carbon powder	1) M	1) weigher	1) Existing, IDC	1) Each heat
		2) C content of scrap, pig iron and charged carbon powder	2) E	2) -	2) -	2) Constant value
		3) C content of molten steel before tapping	3) M	3) Analyzer	3) Existing, IDC	3) Each heat
		4) CO <sub>2</sub> and CO content of exhaust gas	4) M	4) CO/CO <sub>2</sub> analyzer	4) JICA	4) Continuously
		5) Output	5) E	5) -	5) -	5) Each heat

See Note 1).

7-2 Oxidation heat of charged silicon	1) Consumption of scrap and pig iron	M	1) Weigher	1) Existing, IDC	1) Each heat
	2) Si content of scrap and iron	E	2) -	2) -	2) Constant value
	3) Si content of molten steel before tapping	M	3) Analyzer	3) Existing, IDC	3) Each heat
	4) Output	E	4) -	4) -	4) Each heat
7-3 Oxidation heat of charged manganese					4) Calculation. See Note 1). Same as 7-2.
7-4 Oxidation heat of charged phosphorus					Same as 7-2.
7-5 Oxidation heat of charged chromium					Same as 7-2.
7-6 Oxidation heat of charged aluminum					Same as 7-2.
7-7 Oxidation heat of charged iron	1) Slag weight	E	1) -	1) -	1) Each heat
	2) FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and CaO content of slag	M	2) Slag analyzer	2) Existing, IDC	2) Each heat
	3) Consumption of burnt lime	M	3) Weigher	3) Existing, IDC	3) Each heat
	4) CaO contents of burnt lime	E	4) -	4) -	4) Constant value
	5) Output	E	5) -	5) -	5) Each heat
8 Oxidation heat of					4) IDC prepared standard value. 5) Calculation. See Note 1).

1) Calculation. See Note 2).  
2) Mean value of 7 heats was used in this study.

additives						
S-1 Oxidation heat of carbon of additives	1) Consumption of carbon injection, Si-Mn, Fe-Si and Fe-Mn	1) M	1) Weigher	1) Existing, IDC	1) Each heat	1) Fe-Si, Fe-Mn and Si-Mn were not used in this study.
	2) C content of carbon injection, Si-Mn, Fe-Si and Fe-Mn	2) E	2) -	2) -	2) Constant value	2) IDC prepared standard value.
	3) CO <sub>2</sub> and CO content of exhaust gas	3) M	3) CO/CO <sub>2</sub> -analyzer	3) JICA	3) Continuously	
S-2 Oxidation heat of silicon of additives	4) Output	4) E	4) -	4) -	4) Each heat	4) Calculation. See Note 1). Fe-Si, Fe-Mn and Si-Mn were not used in this study.
S-3 Oxidation heat of manganese of additives						
9 Heat of slag formation	1) Slag weight	1) E	1) -	1) -	1) Each heat	1) Calculation. See Note 2).
	2) CaO, SiO <sub>2</sub> and P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> content of slag	2) M	2) Slag analyzer	2) Existing, IDC	2) Each heat	2) Mean value of 7 heats was used in this study.
	3) Consumption of burnt lime	3) M	3) Weigher	3) Existing, IDC	3) Each heat	
	4) CaO content of burnt lime	4) E	4) -	4) -	4) Constant value	4) IDC prepared standard value.
10 Potential heat of Molten steel	5) Output	5) E	5) -	5) -	5) Each heat	5) Calculation. See Note 1).
12-99	10-1 Potential heat of Temperature of molten steel	1) M	1) Thermocouple	1) Existing, IDC	1) Each heat	

of output	steel before tapping								
10-2 Potential heat of hot heel of molten steel	1) Weight of hot heel 2) Temperature of hot heel 3) Output	1) E 2) M 3) E	1) - 2) Thermocouple 3) -	1) - 2) Existing, IDC 3) -	1) Constant value 2) Each heat 3) Each heat	1) Amount of hot heel was estimated 10 t/heat in this study. 2) Temperature of hot heel is same as that of molten steel before tapping. 3) Calculation. See Note 1).			
11 Potential heat of slag	1) Slag weight 2) CaO content of slag 3) Consumption of burnt lime 4) CaO content of burnt lime 5) Output	1) E 2) M 3) M 4) E 5) E	1) - 2) Slag analyzer 3) Weigher 4) - 5) -	1) - 2) Existing, IDC 3) Existing, IDC 4) - 5) -	1) Each heat 2) Each heat 3) Each heat 4) Constant value 5) Each heat	1) Calculation. See Note 2). 2) Mean value of 7 heats was used in this study. 4) IDC prepared standard value. 5) Calculation. See note 1).			
12 Heat of decomposition									
12-1 Heat of Limestone Decomposition	1) Consumption of limestone 2) CaO content of limestone 3) Output	1) E 2) E 3) E	1) - 2) - 3) -	1) - 2) - 3) -	1) Each heat 2) Constant value 3) Each heat	1) Limestone of 30 % was included in burnt lime in this study. 2) IDC prepared standard value. 3) Calculation. See Note 1).			
12-2 Heat of iron ore decomposition						Iron ore was not used in this study.			
13 Electrical heat loss						Electrical heat loss was not measured.			

13-1	Heat loss in secondary conductors									
13.2.	Heat loss of transformer									
14	Heat in cooling water									
14-1	Heat in cooling water for elbow	1) Flow rate of cooling water	1) M	1) Magnetic flow meter	1) Existing, IDC	1) At start of heat				
		2) Outlet temperature of cooling water	2) M	2) Thermocouple	2) JICA	2) Continuously				
		3) Inlet temperature of cooling water	3) M	3) Thermocouple	3) Existing, IDC	3) At start of heat				
		4) Power-on to power-off time	4) M	4) Clock	4) Existing, IDC	4) Each heat				
		5) Output	5) E	5) -	5) -	5) Each heat			5) Calculation. See Note 1).	
14-2	Heat in cooling water for roof								Same as 14-1.	
14-3	Heat in cooling water for EBT								Same as 14-1.	
14-4	Heat in cooling water for shell								Same as 14-1.	
15	Sensible heat of exhaust gas	1) CO <sub>2</sub> /CO content of exhaust gas	1) M	1) CO/CO <sub>2</sub> analyzer	1) JICA	1) Continuously				
		2) O <sub>2</sub> content of exhaust gas	2) M	2) O <sub>2</sub> analyzer	2) JICA	2) Continuously				



3) Temperature of exhaust gas	3) M	3) Thermocouple	3) JICA	3) Continuously
4) Dynamic and static pressure of exhaust gas	4) M	4) Digital manometer	4) JICA	4) Continuously
5) Power-on to power-off time	5) M	5) Clock	5) Existing, IDC	5) Each heat
6) Output	6) E	6) -	6) -	6) Each heat

6) Calculation. See Note 1).

16 Heat loss at furnace body

16-1 Heat loss at roof	1) M	1) Clock	1) Existing, IDC	1) Each heat
2) Surface area of roof	2) E	2) -	2) Constant value	2) IDC prepared standard value.
3) Output	3) E	3) -	3) -	3) Each heat
4) Surface temperature	4) M	4) Pyrometer	4) JICA	4) A few times a heat
5) Indoor temperature	5) M	5) Pyrometer	5) JICA	5) At start of heat

3) Calculation. See Note 1).  
4) Mean value of ten times measurement was used for each heat in this study.

16-2 Heat loss at shell

1) Power-on to power-off time	1) M	1) Clock	1) Existing, IDC	1) Each heat
2) Surface area of shell	2) E	2) -	2) -	2) Constant value
3) Output	3) E	3) -	3) -	3) Each heat
4) Surface temperature	4) M	4) Pyrometer	4) JICA	4) Continuously
5) Indoor temperature	5) M	5) Pyrometer	5) JICA	5) At start of heat

2) IDC prepared standard value.  
3) Calculation. See Note 1).

16-3 Heat loss at bottom

Same as 16-2.

Note 1) Output means molten steel tapped into the ladle. It consists of billets, crop and skulls in the ladle and tundish. These weights could not be actually weighed. Output is calculated as follows:

Output = Charged raw materials x steel yield

Steel yield is statistically determined.

Note 2) As generated slag could not be actually weighed, slag weight is calculated by mass balance of CaO as follows:

Amount of slag = Consumption of burnt lime x CaO content of burnt lime / CaO content of slag.

Table 12-26 Equipment/Instruments Prepared by JICA

ITEM		DESCRIPTION
a-1)	CO/CO <sub>2</sub> analyzer 1 set	To measure CO and CO <sub>2</sub> contents of the exhaust gas at C/C inlet
a-2)	CO/CO <sub>2</sub> analyzer 1 set	To measure CO and CO <sub>2</sub> contents of the exhaust gas at C/C outlet
b-1)	O <sub>2</sub> analyzer 1 set	To measure O <sub>2</sub> content of the exhaust gas at C/C inlet
b-2)	O <sub>2</sub> analyzer 1 set	To measure O <sub>2</sub> content of the exhaust gas at C/C outlet
c)	Pretreatment unit (filter, drain pot, cooler) 1 set	To remove dusts and moisture in the exhaust gas
d-1)	Data logger 2 sets	To input into the personal computer the output data (analog signals) from the measuring devices after being converted into the digital signals
d-2)	Data logger 1 set	Stand-by
e-1)	Personal computer 2 sets	To record and exhibit on the monitoring screen the output data after being converted to the digital signals by the data logger
e-2)	Personal computer 1 set	Stand-by. To be used in case of trouble of one of e-1). Actually this computer was used.
f-1)	Thermocouple PR type (JIS type R) 4 sets	To measure the temperature of the exhaust gas at C/C inlet
f-2)	Thermocouple CA type (JIS type K) 24 sets: 1 set for outlet, 16 sets for furnace, 7 sets for spare	To measure the temperature of the exhaust gas at C/C outlet and temperature of the furnace shell and bottom
f-3)	Thermocouple CC type (JIS type T) 10 sets (including 4 sets of spare )	To measure the temperature of the cooling water for the furnace
g-1)	Cable of 100 m for thermocouple for CA type	To connect the thermocouple to the data logger
g-2)	Cable of 1,000 m for thermocouple for CC type	To connect the thermocouple to the data logger
g-3)	Cable of 300 m for thermocouple for CA	To connect the thermocouple to the data

type	logger
h) Ultrasonic flow meter 1 set	To measure the flow rate of cooling water for the furnace. Not used. IDC's instrument was used.
i) Gas sampling unit 4 pieces	Sampler for the exhaust gas at C/C inlet. Water cooled. Stainless-steel-made for C/C outlet.
j-1) Digital manometer 2 sets	To measure the dynamic and static pressure of the exhaust gas for measurement of the flow rate at C/C outlet
j-2) Digital manometer 2 sets	Stand-by
k) Pitot' tube 4 sets	Used for measurement of the flow rate of the exhaust gas at C/C outlet
l) Surface thermometer 2 sets	To measure the surface temperature of the scrap bucket for scrap temperature
m) Printer 1 set	To print out the results of measurement
n-1) Transformer 3 sets	Step down transformer (200 V to 100V) and stabilizer for instruments
n-2) Transformer 1 set	Stand-by
o) Pyrometer (Thermometer) 2 sets	To measure the roof surface temperature and for back-up use for measurement of surface temperature of the furnace shell and bottom. One is for temperatures higher than 800°C and the other temperatures lower than 500 °C.
p) Equipment for moisture 1 set	To measure moisture in the exhaust gas.

### 12-14-3 熱精算作成のための計算式、参考数値および排ガスの熱含量計算式

アーク炉の熱勘定方式（JIS G 0703 日本規格協会）に準ずる。

(1) 熱精算作成のための計算式、参考数値  
熱精算作成のための計算式、参考数値を示す。

Figure 12-27 入熱計算式

Figure 12-28 出熱計算式

Figure 12-29 熱含量（鉄、鋼、スラグ）

Figure 12-30 反応熱

**Table 12-27 Calculation Formulas for Heat Input**

<b>(1) Heat Quantity of Electric Power, <math>Q_1</math> (kcal/t-output)</b>	$Q_1 = W_1 \times 860$ <p><math>W_1</math>: Unit consumption of electric power (kWh/t-output)</p> <p>860: Conversion factor (kcal/kWh)</p>
<b>(2) Potential Heat of Hot Metal, Hot Heel of Raw Materials and Slag, <math>Q_2</math> (kcal/t-output)</b>	$Q_2 = Q_{2a} + Q_{2b} + Q_{2c}$ <p><b>(a) Potential Heat of Hot Metal, <math>Q_{2a}</math> (kcal/t-output)</b></p> $Q_{2a} = M_{2a} \times H_{2a}$ <p><math>M_{2a}</math>: Unit consumption of hot metal (kg/t-output)</p> <p><math>H_{2a}</math>: Heat content of metal (kcal/kg)</p> <p>Note: Hot metal was not used in this study.</p> <p><b>(b) Potential Heat of Hot Heel, <math>Q_{2b}</math> (kcal/t-output)</b></p> $Q_{2b} = M_{2b} \times H_{2b}$ <p><math>M_{2b}</math>: Unit consumption of hot heel (kg/t-output)</p> <p><math>H_{2b}</math>: Heat content of hot heel (kcal/kg)</p> <p>Note: 1) Amount of hot heel was estimated 10 t/heat in this study.</p> <p>2) Heat content is depend on the hot heel temperature which was estimated 1,550 °C in this study.</p> <p><b>(c) Potential Heat of Residual Slag, <math>Q_{2c}</math> (kcal/t-output)</b></p> $Q_{2c} = M_{2c} \times H_{2c}$ <p><math>M_{2c}</math>: Unit consumption of residual slag (kg/t-output)</p> <p><math>H_{2c}</math>: Heat content of residual slag (kcal/kg)</p> <p>Note: Small amount of residual slag was not considered in this study.</p>
<b>(3) Sensible Heat of Raw Materials, <math>Q_3</math> (kcal/t-output)</b>	$Q_3 = M_3 \times (H_{3b} - H_{3a})$ <p><math>M_3</math>: Unit consumption of raw materials (kg/t-output)</p> <p><math>H_{3b}</math>: Heat content of raw materials at temperature after preheating (kcal/kg)</p> <p><math>H_{3a}</math>: Heat content of raw materials at indoor temperature (kcal/kg)</p> <p>Note: 1) <math>H_{3a}</math> was assumed 0 kcal/kg of heat content</p>

at 0 °C as basis in this study.

(4) Calorific Power of Fuel Oil,  
Q4 (kcal/t-output)

$$Q_4 = M_4 \times q_4$$

M<sub>4</sub>: Unit consumption of fuel oil (kg/t-output)

q<sub>4</sub>: Low heating value of fuel oil (kcal/kg)

(5) Sensible Heat of Fuel Oil,  
Q<sub>5</sub> (kcal/t-output)

$$Q_5 = M_5 \times C_5 \times (Z_{5f} - Z_{5a})$$

M<sub>5</sub>: Unit consumption of fuel oil (kg/t-output)

C<sub>5</sub>: Mean specific heat of fuel oil (kcal/kg)

Z<sub>5f</sub>: Temperature of fuel oil (°C)

Z<sub>5a</sub>: Indoor temperature (°C)

Note: Small sensible heat of fuel oil was not considered in this study.

(6) Oxidation Heat of Electrode,  
Q6 (kcal/t-output)

$$Q_6 = M_6 \times C_e \times 10^{-2} \times (q_{6CO_2} \times CO_2 / (CO_2 + CO) + q_{6CO} \times CO / (CO_2 + CO))$$

M<sub>6</sub>: Unit consumption of electrode (kg/t-output)

C<sub>e</sub>: Carbon content of electrode (%)

q<sub>6CO<sub>2</sub></sub>: Oxidation heat of electrode at CO<sub>2</sub> formation (kcal/kg)

q<sub>6CO</sub>: Oxidation heat of electrode at CO formation (kcal/kg)

CO<sub>2</sub>: CO<sub>2</sub> content of exhaust gas (%)

CO: CO content of exhaust gas (%)

Note: Unit consumption of electrode was estimated 1.9 kg/t-output.

(7) Oxidation Heat of Charge,  
Q7 (kcal/t-output)

$$Q_7 = Q_{7a} + Q_{7b} + Q_{7c} + Q_{7d} + Q_{7e} + Q_{7f} + Q_{7g}$$

(a) Oxidation Heat of Charged Carbon,

Q<sub>7a</sub> (kcal/t-output)

$$Q_{7a} = M_{7a} \times (q_{7CO_2} \times CO_2 / (CO_2 + CO) + q_{7CO} \times CO / (CO_2 + CO))$$

$$M_{7a} = M_{7aPig\ iron} + M_{7aScrap} + M_{7aCarbon\ powder} - 1,000 \times C_{Tap} \times 10^{-2}$$

$$M_{7aPig\ iron} = M_{7Pig\ iron\ Charge} \times C_{Pig\ iron} \times 10^{-2}$$

$$M_{7aScrap} = M_{7Scrap\ Charge} \times C_{Scrap} \times 10^{-2}$$

$$M_{7aCarbon\ powder} = M_{7Carbon\ powder\ Charge} \times C_{Carbon\ powder} \times 10^{-2}$$

M<sub>7a</sub>: Oxidation amount of charged carbon (kg/t-output)

M<sub>7aPig iron</sub>: Carbon in pig iron (kg/t-output)

---

$M_{7aScrap}$ : Carbon in scrap (kg/t-output)

$M_{7aCarbon\ powder}$ : Carbon in charged carbon powder  
(kg/t-output)

$M_{7Pig\ iron\ Charge}$ : Unit consumption of pig iron

$M_{7Scrap\ Charge}$ : Unit consumption of scrap (kg/t-output)

$M_{7Carbon\ powder\ Charge}$ : Unit consumption of charged  
carbon powder (kg/t-output)

$C_{Pig\ iron}$ : C content of pig iron (%)

$C_{Scrap}$ : C content of scrap (%)

$C_{Carbon\ powder}$ : C content of charged carbon powder (%)

$C_{Tap}$ : C content of molten steel before tapping (%)

1,000: Output (kg)

$q_{7CO_2}$ : Heat of carbon oxidation at  $CO_2$  formation  
(kcal/kg)

$q_{7CO}$ : Heat of carbon oxidation at CO formation  
(kcal/kg)

$CO_2$ :  $CO_2$  content of exhaust gas (%)

CO: CO content of exhaust gas (%)

Note: Charged carbon powder was not used in this  
study.

**(b) Oxidation Heat of Charged Silicon,**

$Q_{7b}$  (kcal/t-output)

$$Q_{7b} = M_{7b} \times q_{7b}$$

$$M_{7b} = M_{7bPig\ iron} + M_{7bScrap} - 1,000 \times Si_{Tap} \times 10^{-2}$$

$$M_{7bPig\ iron} = M_{7Pig\ iron\ Charge} \times Si_{Pig\ iron} \times 10^{-2}$$

$$M_{7bScrap} = M_{7Scrap\ Charge} \times Si_{Scrap} \times 10^{-2}$$

$M_{7b}$ : Oxidation amount of charged silicon (kg/t-output)

$M_{7bPig\ iron}$ : Silicon in pig iron (kg/t-output)

$M_{7bScrap}$ : Silicon in scrap (kg/t-output)

$M_{7Pig\ iron\ Charge}$ : Unit consumption of pig iron  
(kg/t-output)

$M_{7Scrap\ Charge}$ : Unit consumption of scrap (kg/t-output)

$Si_{Pig\ iron}$ : Si content of pig iron (%)

$Si_{Scrap}$ : Si content of scrap (%)

---



---

$Si_{Tap}$ : Si content of molten steel before tapping (%)

1,000: Output (kg)

$q_{7b}$ : Heat of silicon (kcal/kg)

(c) **Oxidation Heat of Charged Manganese,**

$Q_{7c}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

(d) **Oxidation Heat of Charged Phosphorus,**

$Q_{7d}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

(e) **Oxidation Heat of Charged Chromium,**

$Q_{7e}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

(f) **Oxidation Heat of Charged Aluminum,**

$Q_{7f}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

(g) **Oxidation heat of Charged Iron,**

$Q_{7g}$  (kcal/t-output)

$$Q_{7g} = M_{7g} \times (\text{FeO} \times 0.777 \times q_{7g\text{FeO}} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0.699 \times q_{7g\text{Fe}_2\text{O}_3}) \times 10^{-2}$$

$M_{7g}$ : Unit weight of slag (kg/t-output)

FeO: FeO content of slag (%)

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content of slag (%)

$q_{7g\text{FeO}}$ : Heat of iron oxidation at FeO formation  
(kcal/kg)

$q_{7g\text{Fe}_2\text{O}_3}$ : Heat of iron oxidation at  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  formation  
(kcal/kg)

0.777: Ratio of Fe in FeO

0.699: Ratio of Fe in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Note: Unit weight of slag was calculated as follows  
in this study.

$$M_{7g} = M_{7g\text{Line}} \times \text{CaO}_I / \text{CaO}_S$$

$M_{7g\text{Line}}$ : Unit consumption of burnt lime (kg/t-output)

$\text{CaO}_S$ : CaO content of slag (%)

$\text{CaO}_I$ : CaO content of burnt lime (%)

Note: Mean value of seven heats was used for slag

---

---

analysis in this study.

---

(8) Oxidation Heat of Additives,  
 $Q_s$  (kcal/t-output)

$$Q_s = Q_{sa} + Q_{sb} + Q_{sc}$$

(a) Oxidation Heat of Carbon of Additives,  
 $Q_{sa}$  (kcal/t-output)

$$Q_{sa} = M_{sa} \times (q_{sCO_2} \times CO_2 / (CO_2 + CO) + q_{sCO} \times CO / (CO_2 + CO))$$

$$M_s = M_{saCarbon\ injection} + M_{saSi-Mn} + M_{saFe-Si} + M_{saFe-Mn}$$

$$M_{saCarbon\ injection} = M_{sCarbon\ injection\ Additives} \times C_{Carbon\ injection} \times 10^{-2}$$

$$M_{saSi-Mn} = M_{sSi-Mn\ Additives} \times C_{Si-Mn} \times 10^{-2}$$

$$M_{saFe-Si} = M_{sFe-Si\ Additives} \times C_{Fe-Si} \times 10^{-2}$$

$$M_{saFe-Mn} = M_{sFe-Mn\ Additives} \times C_{Fe-Mn} \times 10^{-2}$$

$M_{sa}$ : Carbon of additives(kg/t-output)

$M_{saCarbon\ injection}$ : Carbon in carbon injection (kg/t-output)

$M_{saSi-Mn}$ : Carbon in Si-Mn (kg/t-output)

$M_{saFe-Si}$ : Carbon in Fe-Si (kg/t-output)

$M_{saFe-Mn}$ : Carbon in Fe-Mn (kg/t-output)

$M_{sCarbon\ injection\ Additives}$ : Unit consumption of carbon injection (kg/t-output)

$M_{sSi-Mn\ Additives}$ : Unit consumption of Si-Mn (kg/t-output)

$M_{sFe-Si\ Additives}$ : Unit consumption of Fe-Si (kg/t-output)

$M_{sFe-Mn\ Additives}$ : Unit consumption of Fe-Mn (kg/t-output)

$C_{Carbon\ injection}$ : C content of carbon injection (%)

$C_{Si-Mn}$ : C content of Si-Mn (%)

$C_{Fe-Si}$ : C content of Fe-Si (%)

$C_{Fe-Mn}$ : C content of Fe-Mn (%)

$q_{sCO_2}$ : Heat of carbon oxidation at  $CO_2$  formation (kcal/kg)

$q_{sCO}$ : Heat of carbon oxidation at CO formation (kcal/kg)

$CO_2$ :  $CO_2$  content of exhaust gas (%)

CO: CO content of exhaust gas (%)

Note: Si-Mn Fe-Si and Fe-Mn were not used in this study.

---

**(b) Oxidation Heat of Silicon of Additives,**

$$Q_{sb} = M_{sb} \times q_{sb}$$

$$M_{sb} = M_{sbSi-Mn} + M_{sbFe-Si} + M_{sbFe-Mn}$$

$$M_{sbSi-Mn} = M_{Si-Mn \text{ Additives}} \times Si_{Si-Mn} \times 10^{-2}$$

$$M_{sbFe-Si} = M_{Fe-Si \text{ Additives}} \times Si_{Fe-Si} \times 10^{-2}$$

$$M_{sbFe-Mn} = M_{Fe-Mn \text{ Additives}} \times Si_{Fe-Mn} \times 10^{-2}$$

$M_{sb}$ : Silicon of additives (kg/t-output)

$M_{sbSi-Mn}$ : Silicon in Si-Mn (kg/t-output)

$M_{sbFe-Si}$ : Silicon in Fe-Si (kg/t-output)

$M_{sbFe-Mn}$ : Silicon in Fe-Mn (kg/t-output)

$M_{Si-Mn \text{ Additives}}$ : Unit consumption of Si-Mn  
(kg/t-output)

$M_{Fe-Si \text{ Additives}}$ : Unit consumption of Fe-Si (kg/t-output)

$M_{Fe-Mn \text{ Additives}}$ : Unit consumption of Fe-Mn  
(kg/t-output)

$Si_{Si-Mn}$ : Si content of Si-Mn (%)

$Si_{Fe-Si}$ : Si content of Fe-Si (%)

$Si_{Fe-Mn}$ : Si content of Fe-Mn (%)

1,000: Output (kg)

$q_{sb}$ : Heat of silicon (kcal/kg)

Note: Si-Mn, Fe-Si and Fe-Mn were not used in this study.

**(c) Oxidation Heat of Manganese of Additives,**

$Q_{sc}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

---

**(9) Heat of Slag Formation,**

$Q_9$  (kcal/t-output)

$$Q_9 = M_9 \times (SiO_2 \times q_{9SiO_2} + P_2O_5 \times q_{9P_2O_5}) \times 10^{-2}$$

$M_9$ : Unit weight of slag (kg/t-output)

Note: See (7) (g).

$q_{9SiO_2}$ : Heat of  $SiO_2$  reaction at  $Ca_2SiO_4$  formation  
(kcal/kg)

$q_{9P_2O_5}$ : Heat of  $P_2O_5$  reaction at  $Ca_3P_2O_3$  formation  
(kcal/kg)

$SiO_2$ :  $SiO_2$  content of slag (%)

$P_2O_5$ :  $P_2O_5$  content of slag (%)

---

Note: Mean value of seven heats was used for slag analysis in this study.

---

Heat Input,	$Q_{\text{Heat Input}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$
$Q_{\text{Heat Input}}$ (kcal/t-output)	+ $Q_9$ (kcal/t-output)

---

Table 12-28 Calculation Formulas for Heat Output

<b>(10) Potential Heat of Molten Steel, <math>Q_{10}</math> (kcal/t-output)</b>	<p><math>Q_{10} = Q_{10a} + Q_{10b}</math></p> <p>(a) Potential Heat of Output (excluding hot heel), <math>Q_{10a}</math> (kcal/t-output)</p> <p><math>Q_{10a} = 1,000 \times H_{10a}</math></p> <p>1,000: Output (kg)</p> <p><math>H_{10a}</math>: Heat content of molten steel before tapping (kcal/g)</p> <p>Note: Heat content is dependent on temperature.</p> <p>(b) Potential Heat of Hot heel, <math>Q_{10b}</math> (kcal/t-output)</p> <p><math>Q_{10b} = M_{10b} \times H_{10b}</math></p> <p><math>M_{10b}</math>: Unit weight of hot heel (kg/t-output)</p> <p><math>H_{10b}</math>: Heat content of hot heel (kcal/g)</p> <p>Note: 1) Amount of hot heel was assumed 10 t/heat in this study.</p> <p>2) Heat content is dependent on temperature.</p>
<b>(11) Potential Heat of Slag, <math>Q_{11}</math> (kcal/t-output)</b>	<p><math>Q_{11} = M_{11} \times H_{11}</math></p> <p><math>M_{11}</math>: Unit weight of slag (kg/t-output)</p> <p><math>H_{11}</math>: Heat content of slag (kcal/g)</p> <p>Note: 1) Concerning unit weight of slag, see (7) (g) in Heat Input.</p> <p>2) Heat content is dependent on temperature which is same as that of molten steel in this study.</p>
<b>(12) Heat of Decomposition, <math>Q_{12}</math> (kcal/t-output)</b>	<p><math>Q_{12} = Q_{12a} + Q_{12b}</math></p> <p>(a) Heat of Limestone Decomposition, <math>Q_{12a}</math> (kcal/t-output)</p> <p><math>Q_{12a} = 10^{-2} \times M_{12a} \times \text{CaO} \times q_{12a\text{CaCO}_3}</math></p> <p><math>M_{12a}</math>: Unit consumption of limestone (kcal/t-output)</p> <p><math>q_{12a\text{CaCO}_3}</math>: Heat of decomposition of limestone (kcal/kg)</p> <p>CaO: CaO content of limestone (%)</p> <p>Note: 1) 30 % of limestone was included in burnt lime in this study.</p> <p>(b) Heat of Iron Ore Decomposition, <math>Q_{12b}</math> (kcal/t-output)</p>

---


$$Q_{12b} = 10^{-2} \times M_{12b} \times (\text{FeO} \times q_{12b\text{FeO}} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \times q_{12b\text{Fe}_2\text{O}_3})$$

$M_{12b}$ : Unit consumption of iron ore (kcal/t-output)

$q_{12b\text{FeO}}$ : Heat of decomposition of FeO in iron ore (kcal/kg)

$q_{12b\text{Fe}_2\text{O}_3}$ : Heat of decomposition of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in iron ore (kcal/kg)

FeO: FeO content in iron ore (%)

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content in iron ore (%)

Note: Iron ore was not used in this study.

---

(13) Electrical heat Loss,  
 $Q_{13}$  (kcal/t-output)

$$Q_{13} = Q_{13a} + Q_{13b}$$

(a) Heat Loss in Secondary Conductors,  
 $Q_{13a}$  (kcal/t-output)

$$Q_{13a} = (R_0 \times I_0^2 \times T \times 860) \times 3.6/T$$

$$R_0 = R_S + O \times (E_1 + E_2 + E_3)/S$$

$$I_0 = (W_0 \times 10,000)/(3^{1/2} V_0 \times \cos U)$$

$$W_0 = W_p/T$$

$$V_0 = V \times T/T$$

$$\cos U = W_p/(W_p^2 + W_0^2)^{1/2}$$

$R_0$ : Combined resistance of secondary conductor and electrode (Ohm)

$I_0$ : Mean current (A)

t: Output (ton)

$R_S$ : Combined resistance of secondary conductor resistance and contact resistance between electrode and holder (Ohm)

O: Specific resistance of electrode (Ohm-cm)

S: Sectional area of electrode ( $\text{cm}^2$ )

$E_1, E_2, E_3$ : Average length of electrode in each phase exposed from roof

$W_0$ : Mean electric power (kW)

$V_0$ : Mean voltage (V)

$\cos U$ : Mean power factor (-)

$W_p$ : Electric power consumed (kW)

$W_Q$ : Reactive energy (kVar)

---

---

V: Secondary voltage of transformer tap(V)

T': Conducting period of each tap in transformer (hr)

T: Power-on to power-off time (hr)

Note: Heat loss in secondary conductor was not measured.

(b) Heat Loss of Transformer,

$Q_{13b}$  (kcal/t-output)

$$Q_{13b} = (W_1 - W_2) \times 860/t$$

$W_1$  = Electric power on primary side of transformer (kWh)

$W_2$  = Electric power on secondary side of transformer (kWh)

Note: Heat loss in secondary conductor was not measured.

---

(14) Heat in Cooling Water,

$Q_{14}$  (kcal/t-output)

$$Q_{14} = Q_{14a} + Q_{14b} + Q_{14c} + Q_{14d}$$

(a) Heat in Cooling Water for Elbow,

$Q_{14a}$  (kcal/t-output)

$$Q_{14a} = M_{14a} \times C_{14} \times (t_{14a0} - t_{14a1})$$

$$M_{14a} = F_{14a} \times T/t$$

$M_{14a}$ : Average quantity of cooling water (kg/t-output)

$C_{14}$ : Specific heat of water (kcal.kg, °C) = 1

$t_{14a0}$ : Mean outlet temperature of cooling water (°C)

$t_{14a1}$ : Mean inlet temperature of cooling water (°C)

$F_{14a}$ : Flow rate of cooling water (kg/hr)

T: Power-on to power-off time (hr)

t: Output (ton)

(b) Heat in Cooling Water for Roof,

$Q_{14b}$  (kcal/t-output)

Same as (a).

(c) Heat in Cooling Water for EBT,

$Q_{14c}$  (kcal/t-output)

Same as (a).

(d) Heat in Cooling Water for Shell,

$Q_{14d}$  (kcal/t-output)

Same as (a).

---

---

**(15) Sensible Heat of Exhaust Gas,  $Q_{15} = H_{15} \times T \times 60/t$**

**$Q_{15}$  (kcal/t-output)**

$H_{15}$  = Heat in average flow of exhaust gas (kcal /min)

$T$  = Power-on to power-off time (hr)

$t$  = Output (ton)

Note: Heat in average flow of exhaust gas is described in another pages (3. Calculation of Heat Content of Exhaust Gas).

---

**(16) Heat Loss at Furnace Body,  $Q_{16} = Q_{16a} + Q_{16b} + Q_{16c}$**

**$Q_{16}$  (kcal/t-output)**

**(a) Heat Loss at Roof,  $Q_{16a}$  (kcal/t-output)**

$$Q_{16a} = T \times (q_{16aR} + q_{16aC}) \times A/t$$

$$q_{16aR} = 4.88 \times r \times [(T_0/100)^4 - (T_i/100)^4]$$

$$q_{16aC} = p \times (t_0 - t_i)^{1.25}$$

$q_{16aR}$ : Radiation heat loss at roof (kcal/m<sup>2</sup>, hr)

$q_{16aC}$ : Convection heat loss at roof (kcal/m<sup>2</sup>, hr)

$T$ : Power-on to power-off time (hr)

$A$ : Surface area of roof (m<sup>2</sup>)

$t$ : Output (ton)

$r$ : Degree of blackness on furnace surface due to radiation (0.8)

$T_0$ : Surface temperature of roof (°C)

$T_i$ : Indoor temperature (°C)

$p$ : 2.8 for horizontal wall facing upward, roof

2.2 for vertical wall facing sideways, shell

1.5 for horizontal wall facing downward, bottom

Note: Degree of blackness of 0.8 is based on "Heat Calculating Figures for Iron and Steel Making (1966)" by the Japan and Steel Association,

Society

of Japan Academic Development).

**(b) Heat Loss at Shell,  $Q_{16b}$  (kcal/t-output)**

Same as (a)

**(c) Heat Loss at Bottom,  $Q_{16c}$  (kcal/t-output)**

Same as (a)

---

**(17) Other Heat Loss,**

**$Q_{17}$  (kcal/t-output)**

$$Q_{17} = Q_{\text{heat Input}} - (Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16})$$

---



**Table 12-29 Heat Content (Iron, Steel and Slag)**

Unit: kcal/kg

Temperature (°C)	Pig iron	Pure iron	Mild steel	0.23 % C	0.4 % C	0.8 % C	1.2 % C	18 Cr - 8 Ni	13 Cr	Slag *
0	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
50	-	-	-	5.6	5.6	5.4	5.4	5.9	5.2	-
100	-	11.0	-	11.4	11.4	11.2	11.2	12.0	10.8	19.1
150	-	-	-	17.4	17.4	17.4	17.4	18.3	16.8	-
200	-	23.0	-	23.6	23.5	23.8	23.9	24.7	23.0	39.9
250	-	-	-	30.0	29.8	30.3	30.4	31.1	29.3	-
300	-	35.0	-	36.6	36.4	37.1	37.1	37.7	35.9	60.0
350	-	-	-	43.5	43.2	44.1	44.0	44.3	42.8	-
400	-	49.0	-	50.6	50.2	51.3	51.1	51.1	50.0	81.0
450	-	-	-	58.1	57.5	58.8	58.8	58.1	57.6	-
500	-	64.0	-	66.0	65.3	66.8	66.1	65.2	65.8	104.9
550	-	-	-	74.4	73.5	75.1	74.0	72.7	74.4	-
600	-	82.0	-	83.3	82.0	83.6	82.3	80.5	83.8	129.0
650	-	-	-	92.7	90.7	92.3	91.2	88.0	93.5	-
700	-	102.0	-	102.8	99.9	101.5	101.0	95.5	104.0	151.9
750	-	-	-	119.9	118.8	126.8	125.9	102.9	114.8	-
800	-	125.0	-	131.3	126.2	133.6	133.7	110.6	123.0	177.0
850	-	-	-	140.1	132.3	141.5	141.5	118.3	132.6	-
900	-	145.7	-	147.8	138.8	148.9	148.9	126.0	140.6	201.8
950	-	-	-	155.6	146.3	156.3	156.4	133.8	148.4	-
1000	-	163.0	-	163.3	153.7	163.9	163.8	141.5	156.1	227.9
1050	-	-	-	171.1	161.3	171.5	171.5	149.3	163.9	-
1100	-	178.0	-	178.8	168.8	179.3	179.1	157.2	171.7	254.8
1150	-	-	-	186.7	176.5	187.2	186.9	165.2	179.5	-
1200	264.9	194.0	-	194.6	184.3	195.2	194.7	173.2	187.2	286.9
1250	-	-	-	202.7	192.3	203.3	202.7	181.3	195.0	-
1300	280.9	209.0	-	210.9	200.5	211.4	210.7	189.4	202.8	321.7
1350	-	-	-	(219.2)	(208.9)	(219.5)	(218.7)	(197.5)	(210.6)	-
1400	301.9	231.0	-	(227.5)	(217.5)	(227.5)	(226.7)	(205.6)	(218.4)	365.7
1450	-	-	-	(236.1)	(226.3)	(235.6)	(234.7)	(213.6)	(226.2)	-
1500	322.0	247.9	(311.0)	-	-	-	-	-	-	406.8
1550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	431.6
1600	343.0	331.0	332.0	-	-	-	-	-	-	459.8
1650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	489.6
1700	364.0	349.9	353.0	-	-	-	-	-	-	519.7

\* Basic slag of steelmaking process; CaO = 43.55 %, SiO<sub>2</sub> = 34.22 %, FeO = 10.27 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3.68 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4.68 %, MgO = 11.84 % and MnO = 6.60 %

Table 12-30 Reaction Heat

Unit: kcal/kg

Item	Reaction Heat	Reaction
Oxidation Heat	Graphite carbon 7,829 (Graphite carbon)	$C + O_2 = CO_2$
	Graphite carbon 2,200 (Graphite carbon)	$C + 1/2 O_2 = CO$
	C 8,075 (C)	$C + O_2 = CO_2$
	C 2,448 (C)	$C + 1/2 O_2 = CO$
	Si 7,459 (Si)	$Si + O_2 = SiO_2$
	Mn 1,674 (Mn)	$Mn + 1/2 O_2 = MnO$
	P 5,811 (P)	$P + 5/4 O_2 = 1/2 P_2O_5$
	Cr 2,620 (Cr)	$Cr + 3/4 O_2 = 1/2 Cr_2O_3$
	Al 7,419 (Al)	$Al + 3/4 O_2 = 1/2 Al_2O_3$
	Fe 1,151 (Fe)	$Fe + 1/2 O_2 = FeO$
	Fe 1,756 (Fe)	$Fe + 3/4 O_2 = 1/2 Fe_2O_3$
Formation Heat	Slag 502 (SiO <sub>2</sub> )	$2 CaO + SiO_2 = CaSiO_4$
	Slag 1,070 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	$3 CaO + P_2O_5 = Ca_3P_2O_7$
Decomposition Heat	Iron ore 896 (FeO)	$FeO = Fe + 1/2 O_2$
	Iron ore 1,228 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	$Fe_2O_3 = 2 Fe + 3/2 O_2$
	Lime stone 757 (CaO)	$CaCO_3 = CaO + CO_2$

## (2) 排ガスの熱含量計算式

## 1) 排ガスの流速、流量、組成の測定

JIS Z 8808-7 (排ガス中のダスト濃度測定方法、7. 排ガスの流速、および流量の測定) に基づき、C/C (燃焼塔) 出側で排ガスの流速、流量を連続に測定し、ガス組成は、C/C 出側及び入り側で連続に測定する。

## 2) 排ガス熱含量の計算

C/C 入り側のガス流量は、C/C 入り側でのガス組成から C/C 出側でのガス組成の変化と C/C 出側でのガス流量により、マスバランスによりを求める。C/C 入り側での排ガスの計算には JIS G 0703 (アーク炉の熱測定方式) の比熱を参照する。

$$g_0 = \frac{[44 \times CO_{2OUT} + 32 \times O_{2OUT} + 28 \times (100 - CO_{2OUT} - O_{2OUT})] \times (1 - H / 100) + 18 \times H}{(22.4 \times 100)} \text{ (kg/Nm}^3\text{)} \text{----- (1)}$$

$$g = \{g_0 \times 273 / (273 + T_{OUT})\} \times \{(P_{Atm} \times 100 / 9.81 + SP_{OUT}) / (13.6 \times 760)\} \quad (\text{kg/m}^3) \text{ ----}$$

----- (2)

$$V = 0.854 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times DP_{OUT} / g} \quad (\text{m/s}) \text{ ----- (3)}$$

$$F_{OUT} = V \times \pi \times (1840 / 2000)^2 \times 60 \times \{273 / (273 + T_{OUT})\} \times (P_{Atm} \times 100 / 9.81 + SP_{OUT}) / (13.6 \times 760) \quad (\text{Nm}^3/\text{min}) \text{ ----- (4)}$$

$$F_{IN} = F_{OUT} \times (CO_{IN} + CO_{2IN}) / (CO_{OUT} + CO_{2OUT}) \quad (\text{Nm}^3/\text{min}) \text{ ----- (5)}$$

$$q_{IN} = F_{IN} \times T_{IN} \times \{q_{CO} \times CO_{IN} + q_{CO2} \times CO_{2IN} + q_{O2} \times O_{2IN} + q_{N2} \times (100 - CO_{IN} - CO_{2IN} - O_{2IN})\} / (4.186 \times 100)$$

$$q_{CO} = 0.00013 T \times T_{IN} + 1.28 \quad (\text{kJ} / \text{Nm}^3\text{C})$$

$$q_{CO2} = 0.000397 T \times T_{IN} + 1.826 \quad (\text{kJ} / \text{Nm}^3\text{C})$$

$$q_{O2} = 0.000148 T \times T_{IN} + 1.33 \quad (\text{kJ} / \text{Nm}^3\text{C})$$

$$q_{N2} = 0.000128 T \times T_{IN} + 1.271 \quad (\text{kJ} / \text{Nm}^3\text{C}) \quad (\text{kcal/min}) \text{ ----- (6)}$$

ここで;

$g_0$ : Gas density at 0°C and 1 atm. pressure. (kg/Nm<sup>3</sup>)

$g$ : Gas density at actual state. (kg/m<sup>3</sup>)

$V$ : Gas velocity at actual state. (m/s)

Note: Measurement was done using Pitot's tube, of which coefficient was 0.845.

$F_{OUT}$ : Gas flow rate at C/C-outlet. (Nm<sup>3</sup>/min)

Note: Duct diameter is 1840 mm.

$F_{IN}$ : Estimated gas flow rate at C/C-inlet. (Nm<sup>3</sup>/min)

$q_{IN}$ : Estimated gas heat content at C/C-inlet. (kcal/min)

$DP_{OUT}$ : Gas dynamic pressure at C/C-outlet. (mmAq)

$SP_{OUT}$ : Gas static pressure at C/C-outlet. (mmAq)

$P_{Atm}$ : Atmospheric pressure. (hPa)

$T_{OUT}$ : Gas temperature at C/C-outlet. (°C)

$CO_{OUT}$ : CO content of exhaust gas at C/C-outlet. (%)

$CO_{2OUT}$ : CO<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-outlet. (%)

$O_{2OUT}$ : O<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-outlet. (%)

$N_{2OUT}$ : N<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-outlet. (%)

$T_{IN}$ : Gas temperature at C.C. outlet. (°C)

**CO<sub>IN</sub>:** CO content of exhaust gas at C/C-inlet. (%)

**CO<sub>2IN</sub>:** CO<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-inlet. (%)

**O<sub>2IN</sub>:** O<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-inlet. (%)

**N<sub>2IN</sub>:** N<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-inlet. (%)

**p:** Pi, 3.14

**H:** Moisture (%)

#### 12-14-4 測定用のデータシート

排ガスの測定結果、冷却水の出側温度、炉体の表面温度はパソコンに自動的に記録されるが、その他のデータはデータシートに記録する。

データシートの見本を以下の Table 12-31、Table 12-32、Table 12-33、Table 12-34、Table 12-35 に示す。

**Table 12-31 Operational Data: Electric Power**

Date	
Heat No.	
Name	

Time		Voltage (V)	Electric power (kWh)	Remarks	
hr	min				
	0				
	5				
	10				
	15				
	20				
	25				

**Table 12-32 Operational Data: Manipulator and Additives**

Date	
Heat No.	
Name	

Time		O2 by lancing		Carbon injection		Additives - CaO		Additives - Kg	
hr	min	(Nm3)		(kg)		(kg)		(Kg)	
	0								
	5								
	10								
	15								
	20								
	25								

**Table 12-33 Operational Data: Oxy-Fuel Burner**

Date	
Heat No.	
Name	

Time hr min		No. 1 Furnace burner		No. 2 Furnace burner	
		O <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> )	Oil (kg)	O <sub>2</sub> (kg)	Oil Kg)
0					
5					
10					
15					
20					



**Table 12-34 Operational Data: Scrap**

Date	
Heat No.	
Name	

1st bucket		2nd bucket	
Bucket No.		Bucket No.	
Time		Time	
Temperature (°C)		Temperature (°C)	
Upper		Upper	
Middle		Middle	
Lower		Lower	
Raw materials (kg)		Raw materials (kg)	
Scrap		Scrap	
Pig iron		Pig iron	
Total		Total	

3 rd bucket			
Bucket No.		-	-
Time		-	-
Temperature (°C)		-	
Upper		-	-
Middle		-	-
Lower		-	-
Raw materials (kg)		Raw materials (kg)	
Scrap		Scrap	
Pig iron		Pig iron	
Total		Total	

**Table 12-35 Operational Data: Cooling Water**

Date	
Heat No.	
Name	

Time	
Flow rate (m <sup>3</sup> /hr)	
EBT	
Elbow	
Roof	
Shell-1	
Shell-2	
Total	
Inlet temperature (°C)	

#### 12-14-5 測定結果

次のデータを記録すること。

1. 測定対象設備概要
2. 長期操業実績：熱精算ぜんごの同一鋼種各5ヒートの操業実績を記入する。
3. 測定関係者
4. 熱精算対象3ヒートの操業実績
5. 熱精算対象3ヒートの測定結果

見本を Table 12-36、Table 12-37、Table 12-38、Table 12-39、Table 12-40 に示す。

**Table 12-36 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)	
Molten steel	Bath diameter (mm)	
	Bath area (m <sup>2</sup> )	
	Bath depth (mm)	
	Distance between sill level and roof (mm)	
Roof	Thickness (mm)	
	Radius (mm)	
	Diameter of electrode hole (mm)	
	Pitch circle diameter (mm)	
	Ratio of water cooling area (%)	
Shell	Inside diameter (mm)	
	Thickness (mm)	
	Height (mm)	
	Height from bottom to roof (mm)	
	Ratio of water cooling area (%)	
Hearth	Diameter (mm)	
	Thickness (mm)	
	Height of bank (mm)	
Working door	Width (mm)	
	Height (mm)	
Tapping hole (EBT)	Diameter (mm)	
	Depth (mm)	

Transformer	Capacity (MVA)
	Primary voltage (kV)
	Secondary voltage (V)
	Connection
Reactor	Capacity (kVA)
	Reactance (Ohm)
Electrode	Diameter (mm)
Oxygen injection	Type and number
	Capacity (Nm <sup>3</sup> /hr)
Burner	Type, number and capacity
	Kind of fuel and capacity (kg/hr)
Carbon injection	Capacity and number (kg/hr)

Table 12-37 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	965756	965757 965758
1. Charged raw material (excluding hot									
1.1. 1st bucket (t) Scrap									
1.2. 2nd bucket (t) Scrap									
1.3. 3rd bucket (t) Scrap									
2. Output (Production) (t)									
2.1. Good billet (t)									
2.2. Crop end, skull (t)									
3. Steel yield (%)									
3.1. Molten steel yield									
3.2. Good billet yield									
4. Operation time (min.)									
4.1. Tap-to-tap time									
4.2. Power on-to-power off time									
5. Consumption									
5.1. Electric power (kWh/t-output)									
5.2. Fuel oil (kg/t-output)									
5.3. Oxygen gas (Nm <sup>3</sup> /t-output) Burner									
Lancing									
5.4. Burnt lime (kg/heat)									
5.5. Carbon injection (kg/heat)									
6. Composition and temperature of molten steel before tapping									
6.1. C (%)									
6.2. Si (%)									

- 6.3. Mn (%)
- 6.4. P (%)
- 6.5. S (%)
- 6.6. Cr (%)

6.7. Temperature (deg. C)

7. Weight of hot heel (t)

8. Composition of billet (%)

- 8.1. C (%)
- 8.2. Si (%)
- 8.3. Mn (%)
- 8.4. P (%)
- 8.5. S (%)
- 8.6. Cu
- 8.7. Ni
- 8.8. Cr
- 8.9. Mo
- 8.10. Sn
- 8.11. Al

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

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

**Table 12-38 Concerned Personnel for Measurement**

Date	August 14, 1996		
Heat No.	965751, 965752, 965753		
Company	Study team	EIE	IDC
Staff	- T. Kawakami - H. Tokano	- Hediye Yillikci - Bora Omurtay - Mehmet Sezer - Birgul Duman	- Suleyman Eldem - Necati Unsal
<b>Measuring person</b>			
Flow rate, temperature and composition of exhaust gas	- I. Kawai - S. Kinoshita	- (Bora Omurtay) - (Birgul Duman)	- (Mehmet Yalcin)
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.



**Table 12-39 Operation Results of Sampled Three Heats**

Date	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14
Heat No.	965751	965752	965753
1. Charged raw material (excluding hot heel)			
(t)			
1.1.	1st bucket (t)	Scrap	
1.2.	2nd bucket (t)	Scrap	
		Pig iron	
1.3.	3rd bucket (t)	Scrap	
2. Output (Production) (t)			
2.1.	Good billet (t)		
2.2.	Crop end, skull (t)		
3. Steel yield (%)			
3.1.	Molten steel yield		
3.2.	Good billet yield		
4. Operation time (min.)			
4.1.	Tap-to-tap time		
4.2.	Power-on-to-power-off time		
5. Unit consumption			
5.1.	Electric power (kWh/output)		
5.2.	Fuel oil (kg/t-output)		
5.3.	Oxygen gas (Nm <sup>3</sup> /t-output)		
		Burner	
		Lancing	
5.4.	Burnt lime (kg/t-output)		
5.5.	Carbon injection (kg/t-output)		
6. Composition and temperature of molten steel before tapping			
6.1.	C (%)		
6.2.	Si (%)		
6.3.	Mn (%)		
6.4.	P (%)		
6.5.	S (%)		
6.6.	Cr (%)		
6.7.	Temperature (°C)		
7. Weight of hot heel (t)			
8. Composition of billet (%)			
8.1.	C (%)		
8.2.	Si (%)		
8.3.	Mn (%)		
8.4.	P (%)		
8.5.	S (%)		
8.6.	Cu (%)		

- 8.7. Ni (%)
  - 8.8. Cr (%)
  - 8.9. Mo (%)
  - 8.10. Sn (%)
  - 8.11. Al (%)
-

Table 12-40 Results of Measurement

Date	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14
Heat No.	965751	965752	965753
Amount of raw materials of 1st bucket (t)			
Amount of scrap of 2nd bucket (t)			
Amount of pig iron of 2nd bucket (t)			
Amount of raw materials of 2nd bucket (t)			
Amount of raw materials of 3rd bucket (t)			
Charged raw material (excluding hot heel) (t)			
Amount of scrap (t)			
Amount of pig iron (t)			
Output (excluding hot heel) (t)			
Consumption of electric power (kWh)			
Unit consumption of electric power, $w_1$ (kWh/t-output)			
Hot heel of raw material (t)			
Unit weight of hot heel of raw material, $m_2$ (kg/t-output)			
Temperature of hot heel, $m_2$ (°C)			
Unit consumption of scrap, (kg/t-output)			
Unit consumption of pig iron, (kg/t-output)			
Unit consumption of raw materials, $m_3$ (kg/t-output)			
Temperature of top of 1st bucket (°C)			
Temperature of middle of 1st bucket (°C)			
Temperature of bottom of 1st bucket (°C)			
Mean temperature of 1st bucket (°C)			
Temperature of top of 2nd bucket (°C)			
Temperature of middle of 2nd bucket (°C)			
Temperature of bottom of 2nd bucket (°C)			
Mean temperature of 2nd bucket (°C)			
Temperature of top of 3rd bucket (°C)			
Temperature of middle of 3rd bucket (°C)			
Temperature of bottom of 3rd bucket (°C)			
Mean temperature of 3rd bucket (°C)			
Mean temperature of raw materials after SPH (°C)			
Consumption of fuel oil at No. 1 burner (kg)			
Consumption of fuel oil at No. 2 burner (kg)			
Consumption of fuel oil at No. 3 burner (kg)			
Consumption of fuel oil at No. 4 burner (kg)			
Consumption of fuel oil at door burner (kg)			
Consumption of fuel oil (kg)			
Unit consumption of fuel oil, $m_4$ (kg/t-output)			
Mean CO <sub>2</sub> content in exhaust gas at elbow (CO <sub>2</sub> ) (%)			
Mean CO content in exhaust gas at elbow (CO) (%)			
C content of molten steel before tapping (%)			
Si content of molten steel before tapping (%)			

Mn content of molten steel before tapping (%)
P content of molten steel before tapping (%)
Cr content of molten steel before tapping (%)
Al content of molten steel before tapping (%)
CaO content of slag (%)
Consumption of burnt lime (kg)
Amount of slag (kg)
Unit weight of slag, $m_{11}$ (kg/t-output)
FeO content of slag (FeO) (%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> content of slag (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (%)
Consumption of carbon injection (kg)
Unit consumption of carbon injection (kg/t-output)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> content of slag (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%)
SiO <sub>2</sub> content of slag (SiO <sub>2</sub> ) (%)
Temperature of molten steel before tapping (°C)
Weight of hot heel of molten steel (t)
Unit weight of hot heel of molten steel (kg/t-output)
Power-on-to-power-off time (hr)
Flow rate of cooling water for roof (m <sup>3</sup> /hr)
Average quantity of cooling water of roof, $m_{14b}$ (kg/t-output)
Mean outlet temperature of cooling water for roof (°C)
Mean outlet temperature of cooling water for roof-1 (°C)
Mean outlet temperature of cooling water for roof-2 (°C)
Inlet temperature of cooling water for roof (°C)
Flow rate of cooling water for EBT (m <sup>3</sup> /hr)
Average quantity of cooling water for EBT, $m_{14c}$ (kg/t-output)
Mean outlet temperature of cooling water for EBT (°C)
Inlet temperature of cooling water for EBT (°C)
Flow rate of cooling water for elbow (m <sup>3</sup> /hr)
Average quantity of cooling water for elbow, $m_{14d}$ (kg/t-output)
Mean outlet temperature of cooling water for elbow (°C)
Inlet temperature of cooling water for elbow (°C)
Flow rate of cooling water for shell-1 (m <sup>3</sup> /hr)
Average quantity of cooling water for shell-1, $m_{14d}$ (kg/t-output)
Mean outlet temperature of cooling water for shell-1 (°C)
Inlet temperature of cooling water for shell-1 (°C)
Flow rate of cooling water for shell-2 (m <sup>3</sup> /hr)
Average quantity of cooling water for shall-2, $m_{14d}$ (kg/t-output)
Mean outlet temperature of cooling water for shell-2 (°C)
Inlet temperature of cooling water for shell-2 (°C)
Indoor temperature (°C)
Surface area of roof (m <sup>2</sup> )
Mean surface temperature of roof (°C)
Surface area of shell (m <sup>2</sup> )
Mean surface temperature of shell (°C)
Mean surface temperature of shell-1 (°C)

Mean surface temperature of shell-2 (°C)
Surface area of furnace bottom (m <sup>2</sup> )
Mean Surface temperature of furnace bottom (°C)
Heat in average flow of exhaust gas (1,000 kcal/min)
Consumption of limestone, m <sub>12</sub> (kg/t-output)

## 12-14-6 計算結果

入熱、出熱の計算例を Table 12-41、Table 12-42 に示す。

Table 12-41 Calculation Results of Heat Input

Date	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14
Heat No.	965751	965752	965753
<b>(1) Heat quantity of electric power, <math>Q_1</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Ratio of heat quantity of electric power in heat input (%)			
Unit consumption of electric power, $w_1$ (kWh/t-output)			
<b>(2) Potential heat of hot heel, <math>Q_2</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Ratio of potential heat of hot heel in heat input (%)			
Unit weight of hot heel of raw materials, $m_2$ (kg/t-output)			
Temperature of hot heel (°C)			
Heat content of hot heel, $h_2$ (kcal/kg)			
<b>(3) Sensible heat of raw materials, <math>Q_3</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Ratio of sensible heat of raw materials in heat input (%)			
Unit consumption of raw materials, $m_3$ (kg/t-output)			
Mean temperature of raw materials after SPH (°C)			
Heat content of raw materials after SPH $h_{3h}$ (kcal/kg)			
<b>(4) Calorific power of fuel oil, <math>Q_4</math> (kcal/t-output)</b>			
Ratio of calorific power of fuel oil in heat input (%)			
Unit consumption of fuel oil, $m_4$ (kg/t-output)			
Low heating value of fuel oil, $q_4$ (kcal/kg)			
<b>(6) Oxidation heat of electrode, <math>Q_6</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Ratio of oxidation heat of electrode in heat input (%)			
Unit consumption of electrode, $m_6$ (kg/t-output)			
C content of electrode (%)			
Amount of C oxidation of electrode (kg/t-output)			
Oxidation heat of electrode at $CO_2$ formation, $q_{6CO_2}$ (kcal/kg)			
Oxidation heat of electrode at CO formation, $q_{6CO}$ (kcal/kg)			
Mean $CO_2$ content in exhaust gas ( $CO_2$ ) (%)			
Mean CO content in exhaust gas (CO) (%)			
<b>(7) Oxidation heat of charge, <math>Q_7</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Ratio of oxidation heat of charge in heat input (%)			
<b>(7a) Oxidation heat of charged C, <math>Q_{7a}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Unit consumption of scrap (kg/t-output)			
Unit consumption of pig iron (kg/t-output)			
C content of scrap (%)			
C content of pig iron (%)			
C content of molten steel before tapping (%)			
Oxidation amount of charged C, $m_{7a}$ (kg/t-output)			
Heat of C oxidation at $CO_2$ formation, $q_{7CO_2}$ (kcal/kg)			

Heat of C oxidation at CO formation, $q_{7cCo}$ (kcal/kg)
<b>(7b) Oxidation heat of charged Si, <math>Q_{7b}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Si content of scrap (%)
Si content of pig iron (%)
Si content of molten steel before tapping (%)
Oxidation amount of charged Si, $m_{7b}$ (kg/t-output)
Heat of Si, $q_{7bSi}$ (kcal/kg)
<b>(7c) Oxidation heat of charged Mn, <math>Q_{7c}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Mn content of scrap (%)
Mn content of pig iron (%)
Mn content of molten steel before tapping (%)
Oxidation amount of Mn $m_{7c}$ (kg/t-output)
Heat of Mn, $q_{7cMn}$ (kcal/kg)
<b>(7d) Oxidation heat of charged P, <math>Q_{7d}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
P content of scrap (%)
P content of pig iron (%)
P content of molten steel before tapping (%)
Oxidation amount of P, $m_{7d}$ (kg/t-output)
Heat of P, $q_{7dP}$ (kcal/kg)
<b>(7e) Oxidation heat of charged Cr, <math>Q_{7e}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Cr content of scrap (%)
Cr content of pig iron (%)
Cr content of molten steel before tapping (%)
Oxidation amount of Cr, $m_{7e}$ (kg/t-output)
Heat of Cr, $q_{7eCr}$ (kcal/kg)
<b>(7f) Oxidation heat of charged Al, <math>Q_{7f}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Al content of scrap (%)
Al content of pig iron (%)
Al content of molten steel before tapping (%)
Oxidation amount of Al, $m_{7f}$ (kg/t-output)
Heat of Al, $q_{7fAl}$ (kcal/kg)
<b>(7g) Oxidation heat of charged Fe, <math>Q_{7g}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Unit weight of slag, $m_{7g}$ (kg/t-output)
Heat of Fe oxidation at FeO formation, $q_{7gFeO}$ (kcal/kg)
Heat of Fe oxidation at Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> formation, $q_{7gFe2O3}$ (kcal/kg)
FeO content in slag, (FeO) (%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> content in slag (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (%)
<b>(8) Oxidation heat of carbon injection, <math>Q_8</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Ratio of oxidation heat of carbon injection (%)
Unit consumption of carbon injection (kg/t-output)
C content in carbon injection (%)
Oxidation amount of carbon injection, $m_{8c}$ (kg/t-output)
<b>(9) Heat of slag formation, <math>Q_9</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Ratio of heat of slag formation in heat input (%)
Heat of SiO <sub>2</sub> reaction at Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> formation, $q_{9SiO2}$ (kcal/kg)

Heat of  $P_2O_5$  reaction at  $Ca_3P_2O_3$  formation,  $q_{P_2O_5}$  (kcal/kg)

$SiO_2$  content in slag (%)

$P_2O_5$  content in slag (%)

---

Heat Input,

$Q_{Input}$  (1000 x kcal/t-output)

---



Table 12-42 Calculation Results of Heat Output

Date	Aug. 14	Aug. 14	Aug. 14
Heat No.	965751	965752	965753
<b>(10) Potential heat of molten steel, <math>Q_{10}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Ratio of potential heat of molten steel (%)			
<b>(10a) Potential heat of output, <math>q_{10a}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Temperature of molten steel before tapping (°C)			
Heat content of molten steel before tapping, $h_{10a}$ (kcal/kg)			
<b>(10b) Potential heat of hot heel, <math>q_{10b}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Unit weight of hot heel of molten steel, $m_2$ (kg/t-output)			
<b>(11) Potential heat of slag, <math>Q_{11}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Ratio of potential heat of slag in output (%)			
Unit weight of slag, $m_{11}$ (kg/t-output)			
Temperature of slag (°C)			
Heat content of slag, $h_{11}$ (kcal/kg)			
<b>(12) Heat of limestone decomposition, <math>Q_{12}</math> (1000 kcal/t-output)</b>			
Ratio of heat of limestone decomposition (%)			
Unit consumption of limestone, $m_{12}$ (kg/t-output)			
Heat of decomposition of limestone, $q_{12CaCO_3}$ (kcal/kg)			
CaO content in limestone (%)			
<b>(14) Heat in cooling water, <math>Q_{14}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Ratio of heat in cooling water (%)			
<b>(14a) Heat in cooling water for elbow, <math>Q_{14a}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Average quantity of cooling water for elbow, $m_{14a}$ (kg/t-output)			
Mean outlet temperature of cooling water for elbow (°C)			
Inlet temperature of cooling water for elbow (°C)			
<b>(14b) Heat in cooling for roof, <math>Q_{14b}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Average quantity of cooling water for roof, $m_{14b}$ (kg/t-output)			
Mean outlet temperature of cooling water for roof (°C)			
Inlet cooling water for roof (°C)			
<b>(14c) Heat in cooling water for EBT, <math>Q_{14c}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Average quantity of cooling water for EBT, $m_{14c}$ (kg/t-output)			
Mean outlet temperature of cooling water for EBT (°C)			
Inlet temperature of cooling water for EBT (°C)			
<b>(14d) Heat in cooling water for shell-1, <math>Q_{14d}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Average quantity of cooling water for shell-1, $m_{14d}$ (kg/t-output)			
Mean outlet temperature of cooling water for shell-1 (°C)			
Inlet temperature of cooling water for shell-1 (°C)			
<b>(14e) Heat in cooling water for shell-2, <math>Q_{14e}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>			
Average quantity of cooling water for shell-2, $m_{14d}$ (kg/t-output)			

Mean outlet temperature of cooling water for shell-2 (°C)
Inlet temperature of cooling water for shell-2 (°C)
<b>(15) Sensible heat of exhaust gas, <math>Q_{15}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Ratio of sensible heat in exhaust gas (%)
Heat in average flow of exhaust gas (kcal/min.)
Power on-to-power off time, $t_h$ (hr)
Output (t/heat)
<b>(16) Heat loss at furnace body, <math>Q_{16}</math> (1000 kcal/t-output)</b>
Ratio of heat loss at furnace body in heat input (%)
Indoor temperature, $T_{ia}$ (°K)
Indoor temperature (°C)
<b>(16a) Heat loss at roof, <math>Q_{16a}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Surface area of furnace roof, $A_a$ (m <sup>2</sup> )
(16a1) Radiation heat loss at roof, $q_{ra}$ (kcal/m <sup>2</sup> , hr)
Surface temperature of roof, $T_{0aa}$ (°K)
Surface temperature of roof (°C)
(16a2) Convection heat loss at roof, $q_{ca}$ (kcal/m <sup>2</sup> , hr)
<b>(16b) Heat loss at shell, <math>Q_{16b}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Surface area of shell, $A_s$ (m <sup>2</sup> )
(16b1) Radiation heat loss at shell, $q_{rb}$ (kcal/m <sup>2</sup> , hr)
Mean surface temperature of shell $T_{0sa}$ (°K)
Mean surface temperature of shell, $t_{ob}$ (°C)
(16b2) Convection heat loss at shell, $q_{cb}$ (kcal/m <sup>2</sup> , hr)
<b>(16c) Heat loss at bottom, <math>Q_{16c}</math> (1000 x kcal/t-output)</b>
Surface area of furnace bottom, $A_c$ (m <sup>2</sup> )
(16c1) Radiation heat loss at bottom, $q_{rc}$ (kcal/m <sup>2</sup> , hr)
Mean surface temperature of bottom, $T_{0ca}$ (°K)
Surface temperature of bottom, $t_{oc}$ (°C)
(16c2) Convection heat loss at bottom, $q_{cc}$ (kcal/m <sup>2</sup> , hr)
<b>(17) Other heat losses (1000 kcal/t-output)</b>
Ratio of other heat losses (%)
<b>Heat output,</b>
<b><math>Q_{output}</math> (1,000 kcal/t-output)</b>

12-14-7 熱精算

見本を Figure 12-38 に示す。

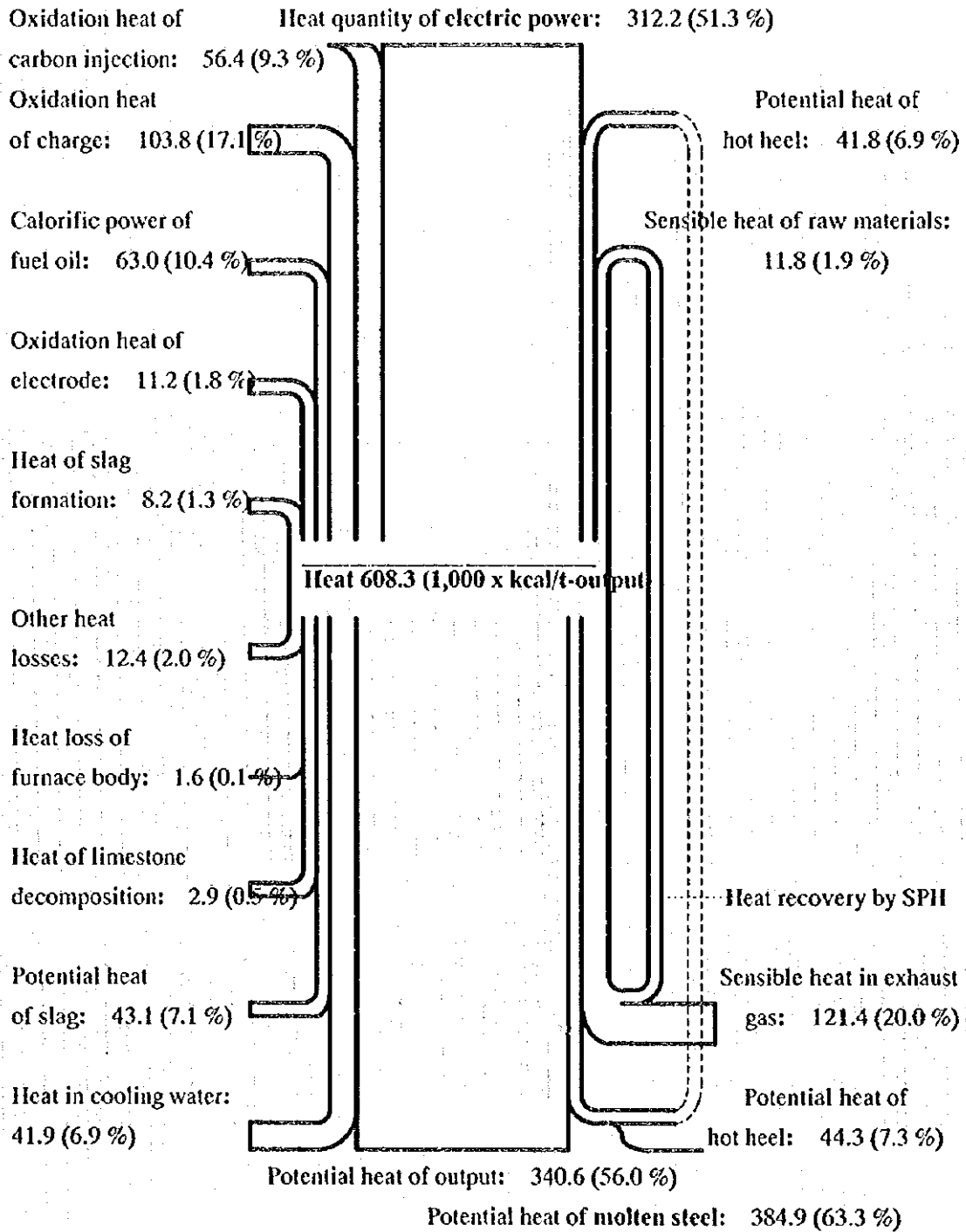


Figure 12-38 Heat Balance of Heat No. 965751

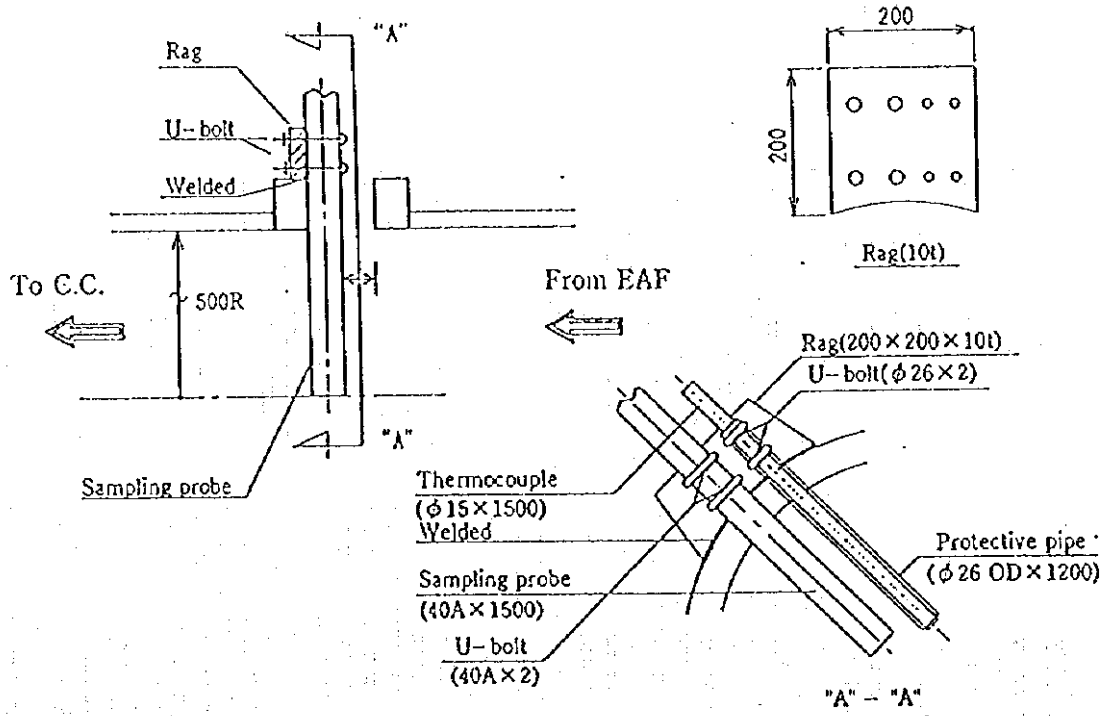
#### 12-14-8 排ガス、冷却水の出側温度、炉体表面温度測定の詳細

##### (1) 測定機器の配置

Figure 12-39、Figure 12-40 に採取管の取り付け図、測定機器の配置図を見本として示す。

## 1. C.C. INLET

(fitting rag for gas sampling probe and thermocouple)



## 2. C.C. OUTLET

(fitting nozzles for Pitot's tube and sampling probe)

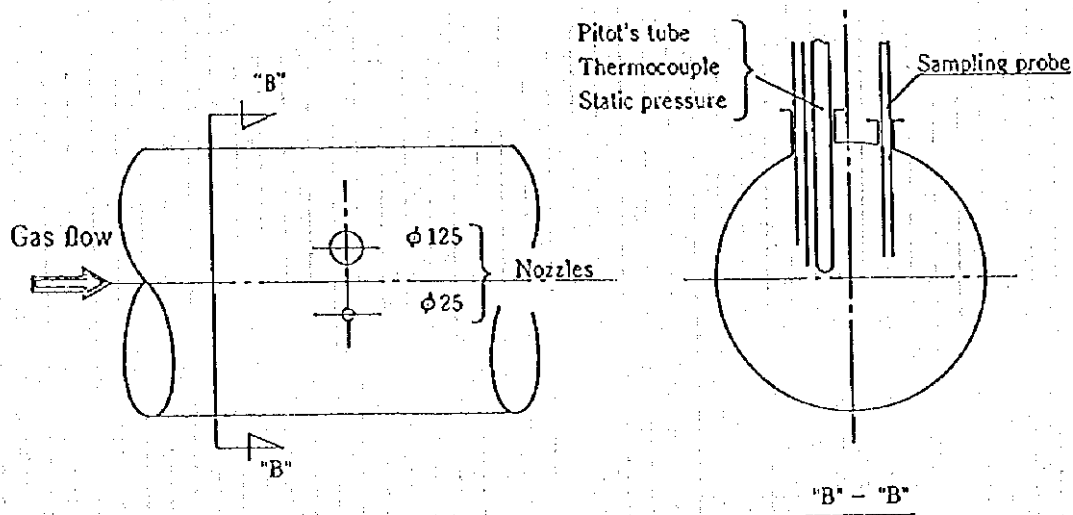


Figure 12-39 Layout of Equipment for measurement of Exhaust Gas, Outlet Temperature of Cooling Water and Surface Temperature of Furnace Body

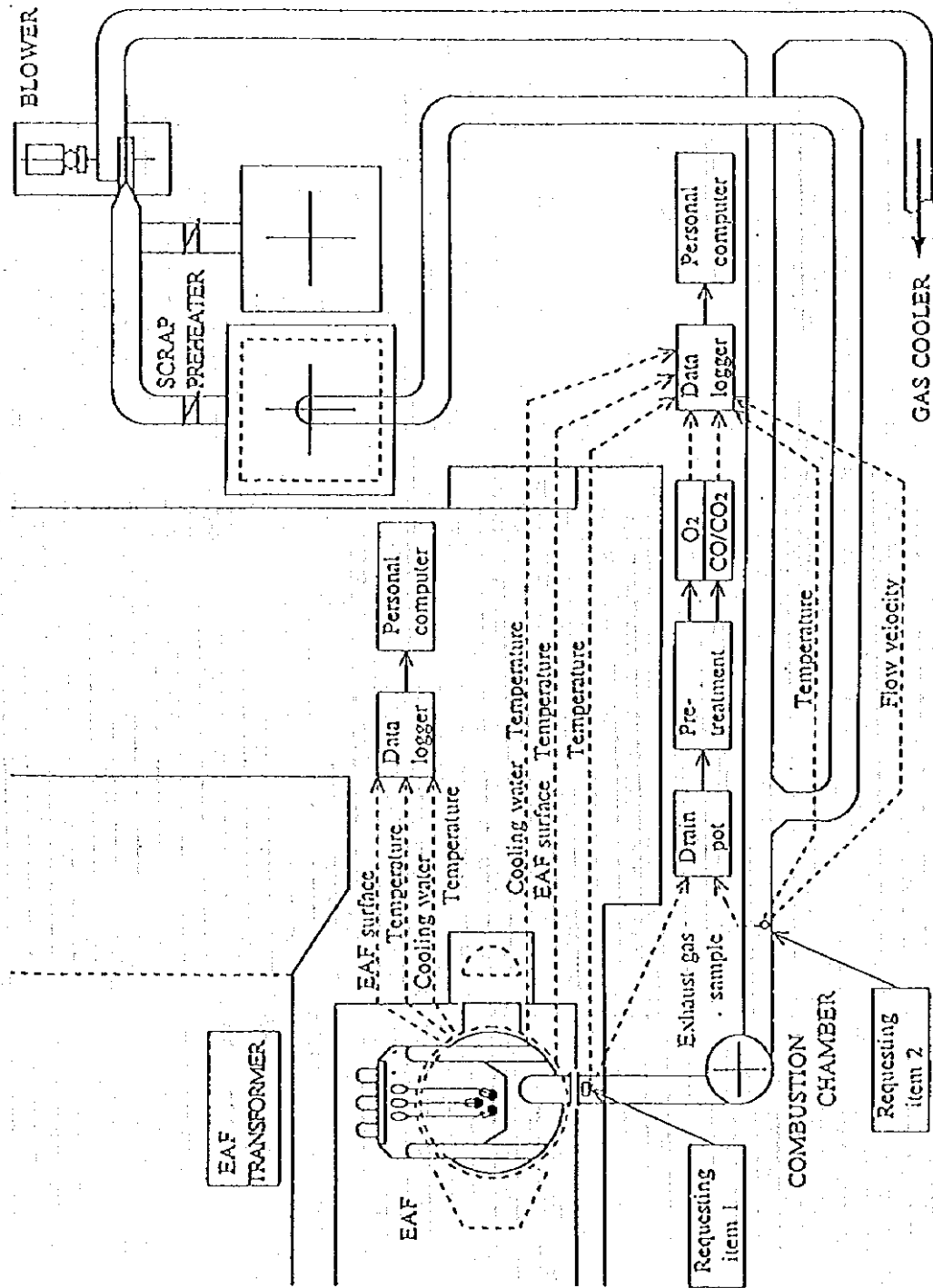


Figure 12-40 Layout of Measuring Equipment of Exhaust Gas, Outlet Temperature of Cooling Water and Surface Temperature of Furnace Body

(2) 排ガスの流量、温度の測定

1) 測定点

(a) 温度

C/C (燃焼塔) 入り側

C/C (燃焼塔) 出側

(b) 流量

C/C (燃焼塔)

2) 測定間隔

連続に測定し 10 秒間隔でパソコンに入力し、1 分間平均値処理とする。

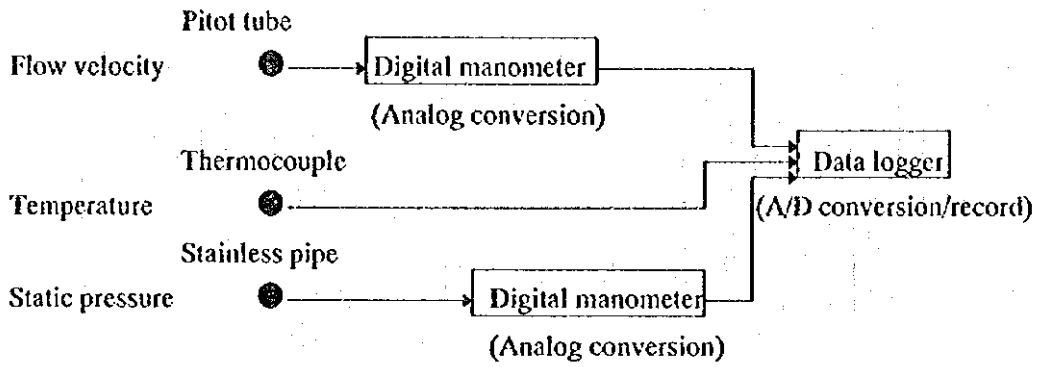
3) 機器

1. ピトー管：流速測定のための動圧測定用。特殊双頭ピトー管
2. 測定管：流速測定のための静圧測定用。10 ミリメートル内径のステンレス管
3. デジタルマノメーター：動圧測定用
4. デジタルマノメーター：静圧測定用
5. 熱電対：JIS K、PR、B 型

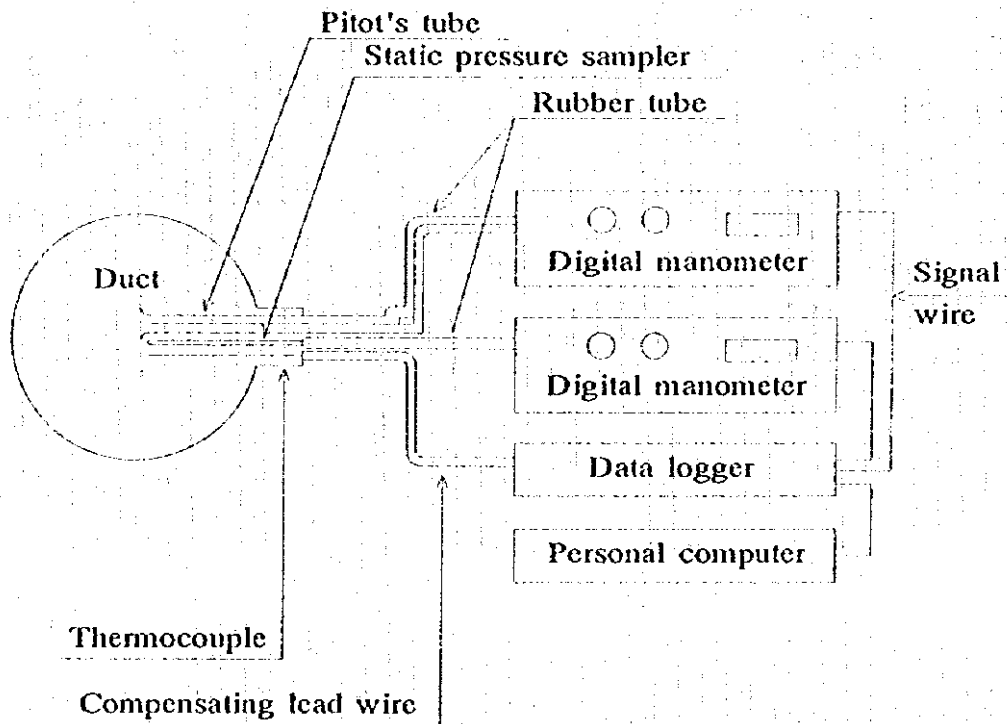
4) 測定方法

1. ピトー管、測定管、熱電対を取り付ける。
2. 動圧指示値をデジタルマノメーターでアナログ信号に変換し、データロガーに記録する。
3. 熱電対により温度を測定し、補償導線を通じてデータロガーに記録する。
4. 静圧指示値をデジタルマノメーターでアナログ信号に変換し、データロガーに記録する

5) 測定の流れ



6) 測定概念図



(3) 排ガスの CO、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>成分測定

1) 測定点

C/C (燃焼塔) 入り側

C/C (燃焼塔) 入り側



## 2) 測定間隔

連続に測定して 10 秒間隔でパソコンに入力し、1 分間平均値処理とする。

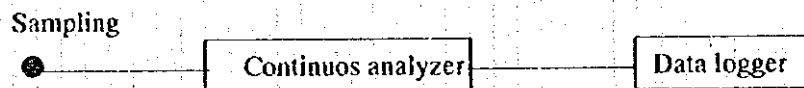
## 3) 機器

1. CO メーター：非分散型赤外線式連続分析器
2. CO<sub>2</sub> メーター：非分散型赤外線式連続分析器
3. O<sub>2</sub> メーター：磁力線式連続分析器
4. 前処理装置

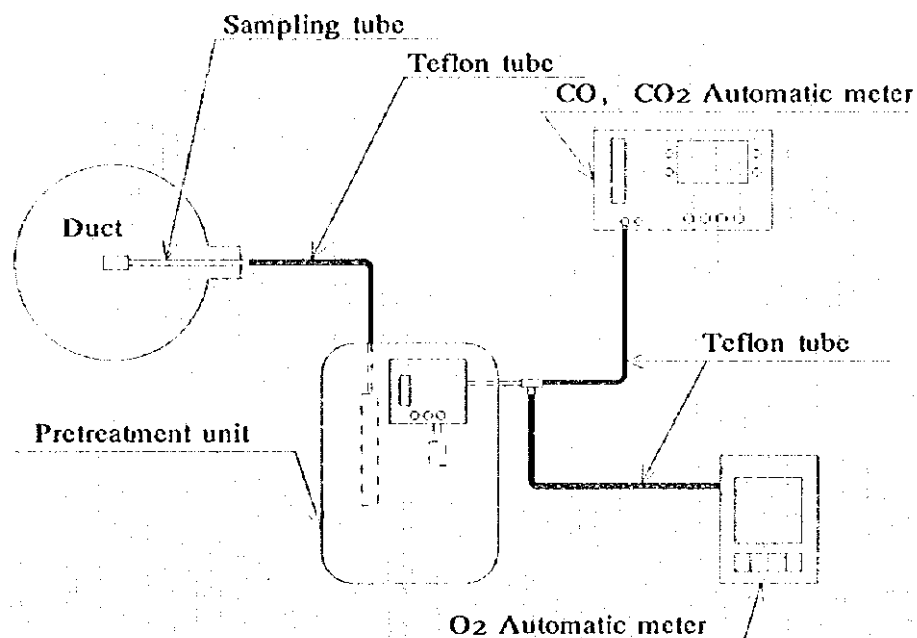
## 4) 測定方法

1. 連続分析器により CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 成分を測定。
2. 採取管を測定点に取り付ける。
3. 採取管とガス導管の接続部にダスト分離用のダストポットを取り付ける。
4. 前以って標準ガスにより検定した連続分析器に試料ガスを流す。
5. 1 分当たり 1-2 リッターの試料ガスを流し、連続分析器により成分を分析する。
6. 測定値はデータロガーに入力され、記録される。
7. N<sub>2</sub> 成分は CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 成分を差し引いた残りとして計算により求める。

## 5) 測定のフロー



## 6) 測定の概念図



### (4) 冷却水の出側温度測定

#### 1) 測定点

EBT、エルポー、炉蓋1、炉蓋2、炉殻1、炉殻2の冷却排水管

#### 2) 測定間隔

連続に測定して10秒間隔でパソコンに入力し、1分間平均値処理とする。

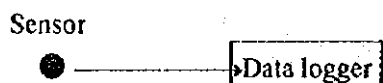
#### 3) 機器

熱電対 (JIS T型)

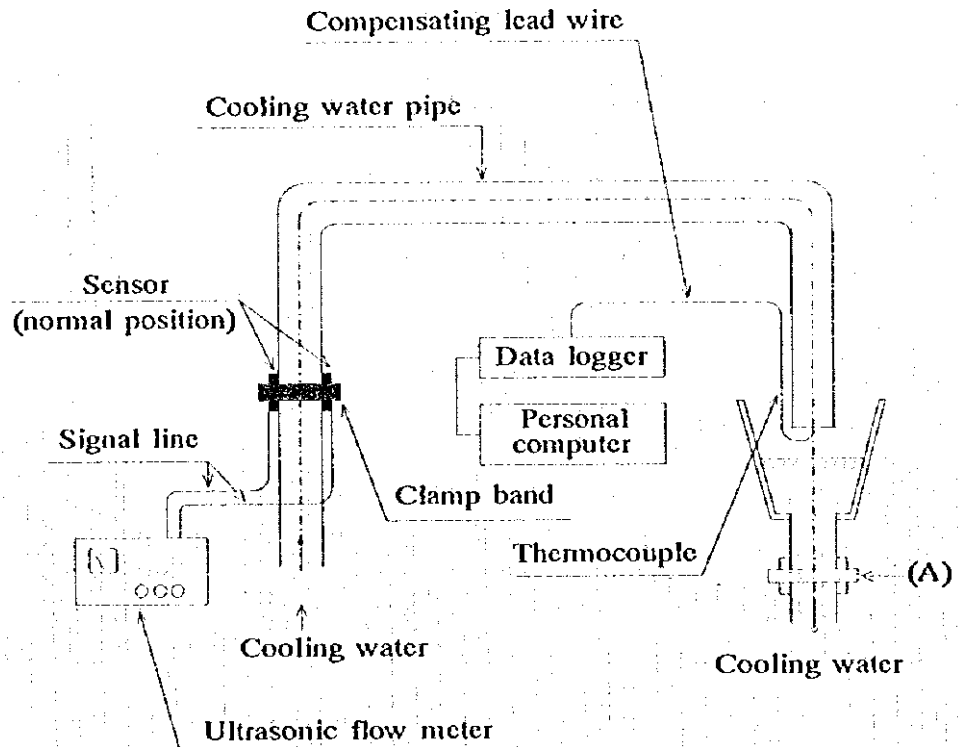
#### 4) 測定点

1. JIS T型熱電対で温度測定。
2. 熱電対を冷却排水管に取り付け。
3. 測定値はデータロガーに入力され、記録される。

#### 5) 測定のフロー



## 6) 測定の概念図



### (5) 炉体表面温度の測定

#### 1) 測定点

炉殻及び炉底

#### 2) 測定間隔

連続に測定して 10 秒間隔でパソコンに入力し、1 分間平均値処理とする。

#### 3) 機器

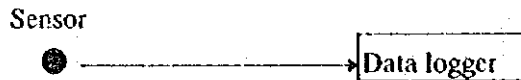
熱電対 (JIS K 型)

#### 4) 測定方法

1. 熱電対 JIS K 型で温度測定。
2. 熱電対を炉殻及び炉底に溶接取り付け。
3. 取り付けした熱電対とデータロガを補償導線で接続する。

4. 測定値はデータロガーに入力され、記録される。

#### 5) 測定フロー



### 12-14-9 現地事前調査及び準備作業

#### (I) 現地事前調査

##### 1) 全般

測定方法を詳細に策定するにあたり、事前調査を行う。この事前調査は測定対象電気炉技術者への説明並びに打合せで、工場の操業、現場状況、測定方法、測定への協力体制に関するものである。

専門家による調査対象は、次の通り。

1. 測定機器の設置場所及び安全確保場所
2. 測定機器に必要な動力（電気、水）
3. 既設の測定機器（種類、場所）

##### 2) 現場チェック

###### (a) 測定場所

1. エルボー（C/C—燃焼塔—入り側）
  - ：採取管設置
  - ：採取管設置場所への行き方
  - ：採取管の準備、補修場所
  - ：採取管への給水方法
  - ：採取管からの排水方法
2. ダクト（C/C 出側）
  - ：採取管挿入口
  - ：採取管設置場所への行き方
3. 炉体冷却水
  - ：測定場所
  - ：採取管設置場所への行き方

4. 炉壁
  - : 熱電対設置場所
  - : 採取管設置場所への行き方
5. スクラップバケット
  - : 移動熱電対を持つてのバケットへの近づき方
6. 測定機器
  - : 排ガス及び炉体冷却水用測定機器 2 式の設置場所
7. その他

(b) 現場での動力

1. 電気：2-3 箇所。200 ボルト、20-30 アンペア
2. 冷却水：採取管用。3/4 インチ径
3. 支持棒：バケット温度測定移動型熱電対用。2-3 メートル長さ
4. その他

(c) 測定のための改造

1. 取り付け板：U ボルトによる採取管設置のための取り付け板を摺動管へ溶接
2. 熱電対：炉壁、炉底への熱電対の溶接
3. 水の取り出し口：採取管冷却水の取り出し口の準備
4. 踏み台：測定及び補修用踏台
5. その他：必要に応じて

(d) 既設機器によるデータ採取

1. 操作室：時計、電力計、スクラップ秤量、溶鋼秤量、その他
2. 入力エネルギー：酸素メーター、燃料メーター、その他
3. その他：必要に応じて

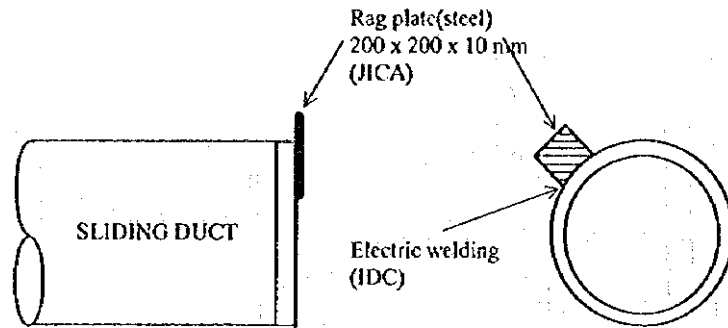
(2) 準備作業

測定前の準備作業の一例を示す。

1) 摺動管への取付板の溶接 (C/C 入り側)

取付板を、電気炉の摺動管 (C/C-燃焼塔-入り側) 端に溶接する。

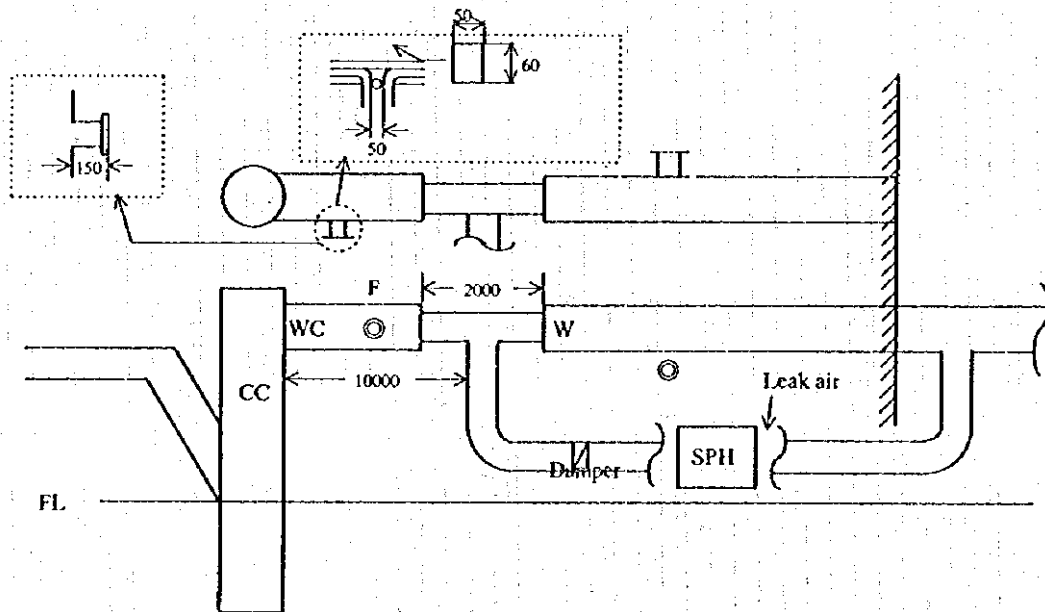
注：U ボルト付き取り付け板とは、排ガス組成分析用試料の採取管及び排ガス温度測定熱電対を設置するためのものである。



## 2) 孔開け (C/C 出側)

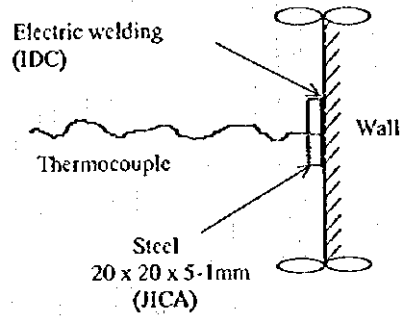
C/C (燃焼塔) の先の管状冷却管に 50 x 60 ミリメートルの開孔を行う。

注：50 x 60 ミリメートル孔は排ガスの流速、組成、温度測定用である。



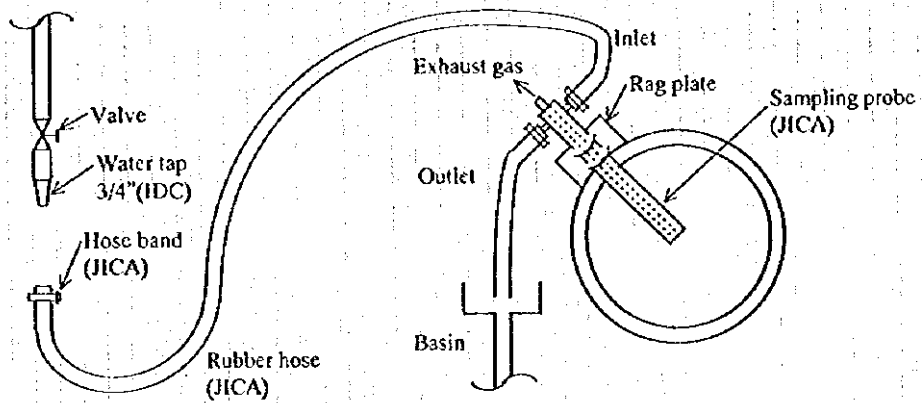
3) 熱電対の炉殻、炉底への溶接  
 熱電対付鉄片を炉殻と炉底に溶接する。

注：炉体温度測定用の熱電対である。



4) 給水

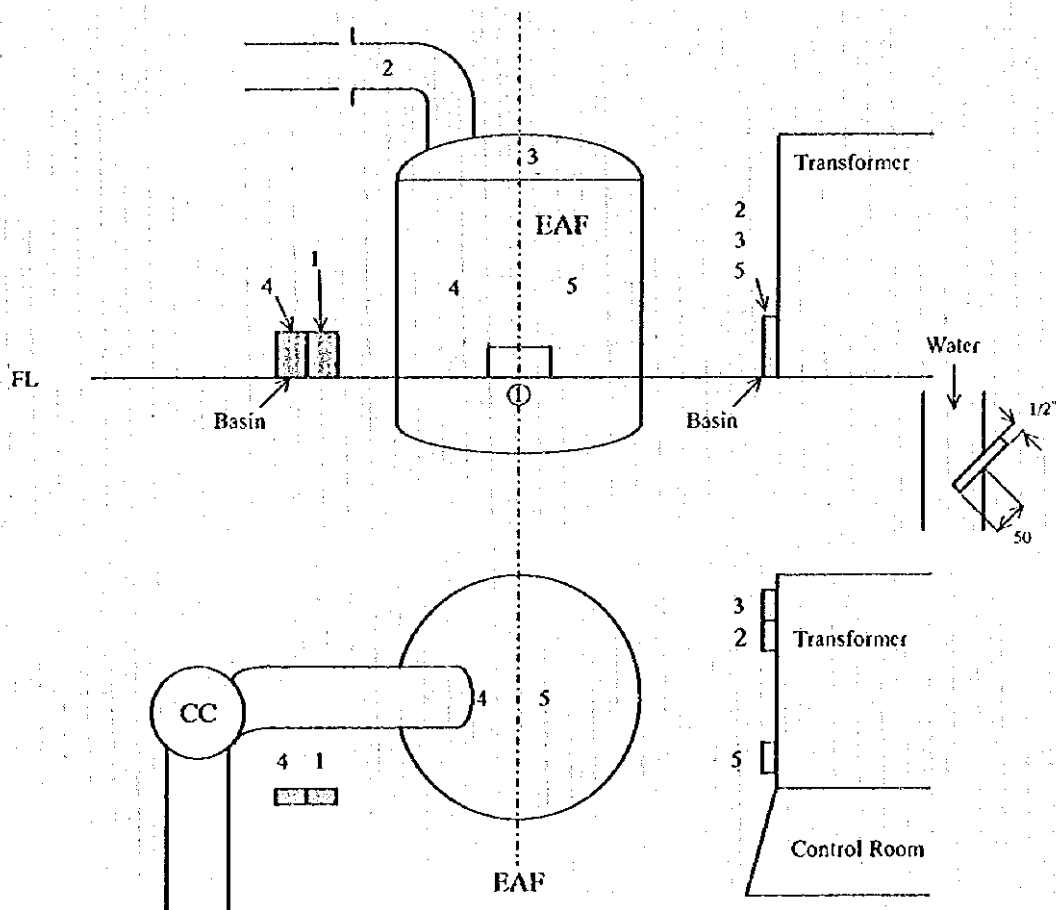
給水器具および排水槽を C/C (燃焼塔) 近辺へ設置する。



5) 冷却水出側温度用保持器設置  
配水管への取り付け管の設置を行う。

注：炉体冷却水の出側温度測定用熱電対を保持する取り付け管である。

1. EBT 排水系
2. エルボー排水系
3. 炉蓋排水系
4. 炉殻 1 排水系
5. 炉殻 2 排水系





## Annex

### Annex-1: 排ガス、冷却水温度、炉体温度測定マニュアル

1. 排ガス測定
2. 冷却水出側温度測定
3. 炉体表面温度測定

### Annex-2: 排ガスの熱含量、流量、温度、組成

### Annex-3: ピレットのホットチャージ

### Annex-4: 熱精算作成のための計算式、参考数値

1. 入熱計算式
2. 出熱計算式
3. 熱含量 (鉄、鋼、スラグ)
4. 反応熱

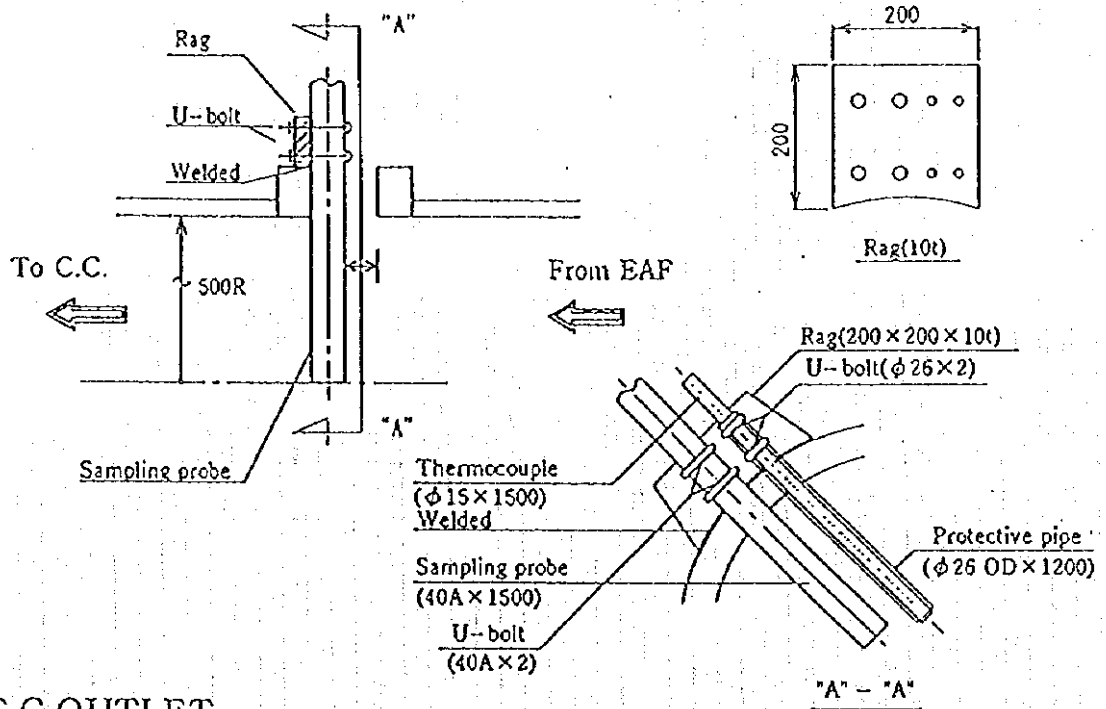
### Annex-5: 省エネルギー活動の日本での例

Annex-1 排ガス、冷却水温度、炉体温度測定マニュアル

1 排ガスの測定

1. C.C. INLET

(fitting rag for gas sampling probe and thermocouple)



2. C.C. OUTLET

(fitting nozzles for Pitot's tube and sampling probe)

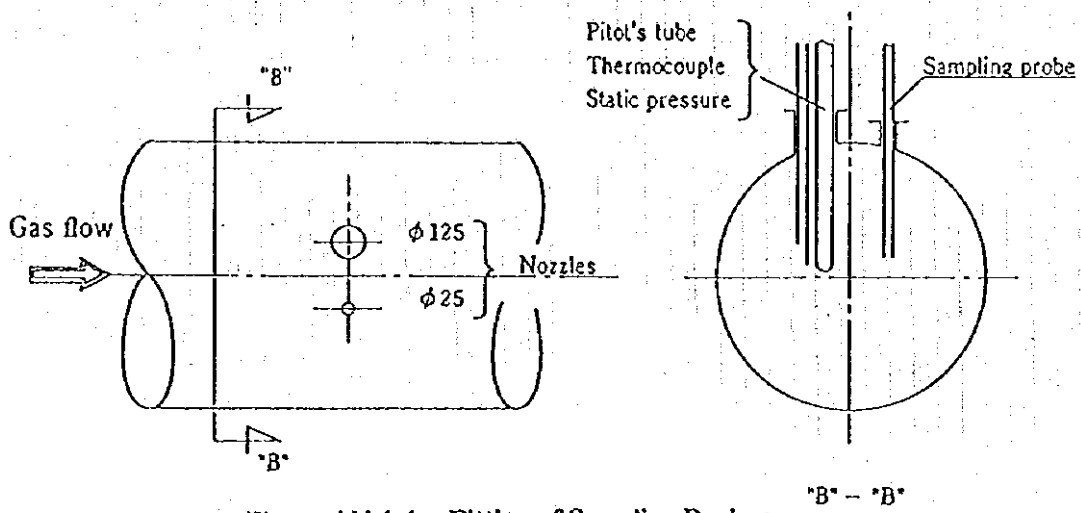


Figure AN-1-1 Fitting of Sampling Devices

## 1-1 排ガスの流量、温度の測定

### (1) 測定点

#### 1) 温度

C/C (燃焼塔) 入り側

C/C (燃焼塔) 出側

#### 2) 流量

C/C (燃焼塔) 出側

### (2) 測定間隔

連続に測定し 10 秒間隔でパソコンに入力し、1 分間平均値処理とする。

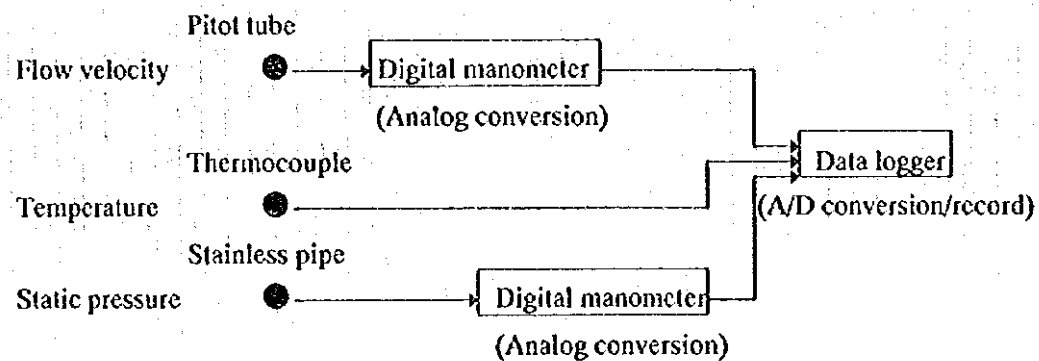
### (3) 機器

1. ピトー管：流速測定のための動圧測定用。特殊双頭ピトー管
2. 測定管：流速測定のための静圧測定用。10 ミリメートル内径のステンレス管
3. デジタルマンオメーター：動圧測定用
4. デジタルマンオメーター：静圧測定用
5. 熱電対：JIS 型 K、PR、B

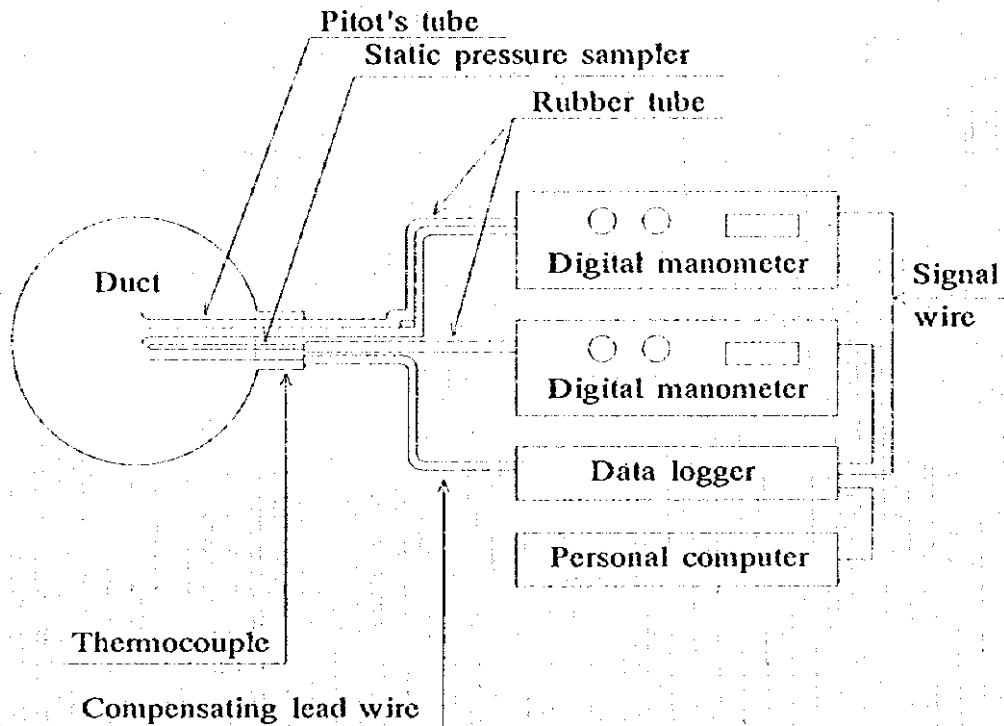
### (4) 測定方法

1. ピトー管、測定管、熱電対を取り付ける。
2. 動圧指示値をデジタルマンオメーターでアナログ信号に変換し、データロガーに記録する。
3. 熱電対により温度を測定し、補償導線を通じてデータロガーに記録する。
4. 静圧指示値をデジタルマンオメーターでアナログ信号に変換し、データロガーに記録する

### (5) 測定のフロー



(6) 測定の概念図



1-2 排ガスの CO、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 成分測定

(1) 測定点

C/C (燃焼塔) 入り側

C/C (燃焼塔) 入り側

(2) 測定間隔

連続に測定して 10 秒間隔でパソコンに入力し、1 分間平均値処理とする。

(3) 機器

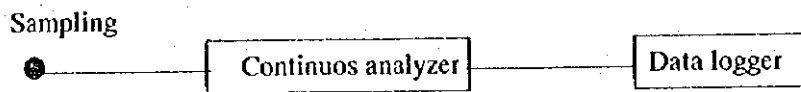
1. CO メーター：非拡散赤外線連続分析器
2. CO<sub>2</sub> メーター：非拡散赤外線連続分析器
3. O<sub>2</sub> メーター：磁力型連続分析器
4. 前処理装置

(4) 測定方法

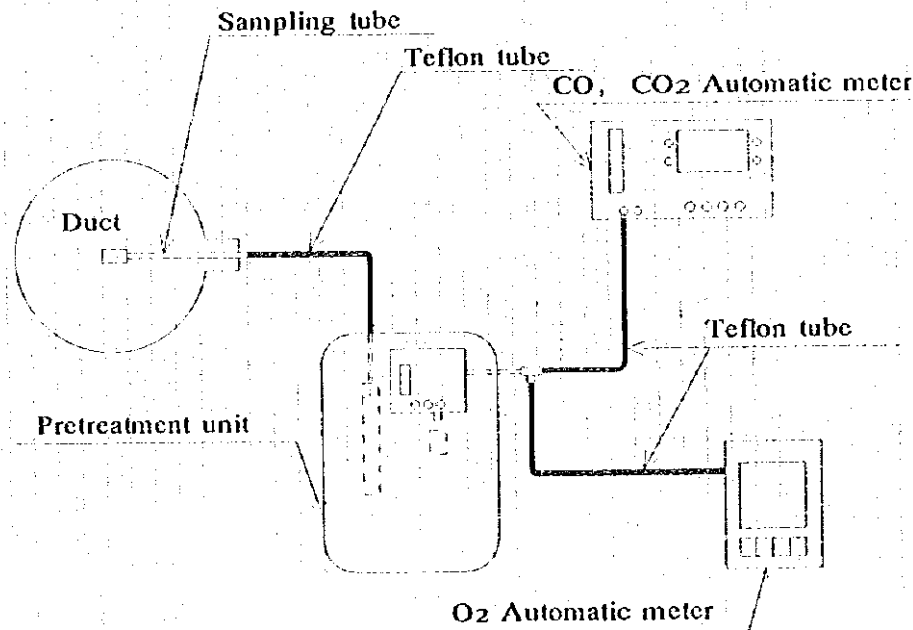
1. 連続分析器により CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 成分を測定。

2. 採取管を測定点に取り付ける。
3. 採取管とガス導管の接続部にダスト分離用のフィルターを取り付ける。
4. まえもって、標準ガスにより検定した連続分析器に試料ガスを流す。
5. 1分当り1-2リッターの試料ガスを流し、連続分析器により成分を分析する。
6. 測定値はデータロガーに入力され、記録される。
7.  $N_2$ 成分は  $CO$ 、 $CO_2$ 、 $O_2$ 成分を差し引いた残りとして計算により求める。

(5) 測定の流れ



(6) 測定概念図



2 冷却水の出側温度測定

(1) 測定点

EBT、エルボ-、炉蓋1、炉蓋2、炉殻1、炉殻2の冷却排水管

(2) 測定間隔

連続に測定して10秒間隔でパソコンに入力し、1分間平均値処理とする。

(3) 機器

熱電対 (JIS T型)

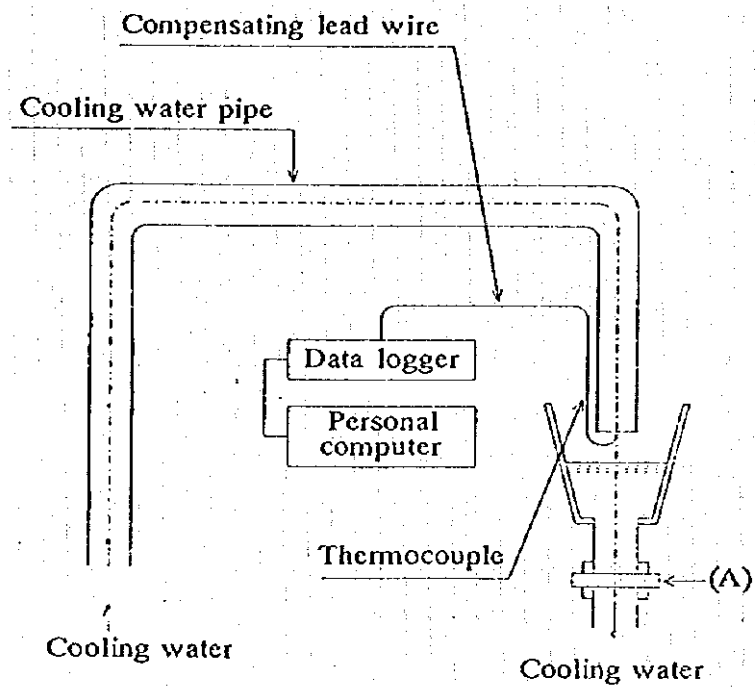
(4) 測定点

1. JIS T型熱電対で温度測定。
2. 熱電対を冷却排水管に取り付け。
3. 測定値はデータロガに入力され、記録される。

(5) 測定の流れ



(6) 測定概念図



### 3 炉体表面温度の測定

#### (1) 測定点

炉殻及び炉底

#### (2) 測定間隔

連続に測定して 10 秒間隔でパソコンに入力し、1 分間平均値処理とする。

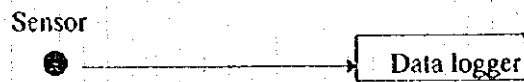
#### (3) 機器

熱電対 (JIS K 型)

#### (4) 測定方法

1. 熱電対 JIS K 型で温度測定。
2. 熱電対を炉殻及び炉底に溶接取り付け。
3. 取り付けた熱電対とパソコンを補償導線で接続する。
4. 測定値はデータロガーに入力され、記録される。

#### (5) 測定フロー



## Annex-2: 排ガスの熱含量、流量、温度、組成

排ガスの熱含量、流量、温度、組成を以下にします。

Figure 12-18 鋼番 965751 の C/C 入り側における排ガスの熱含量と流量

Figure 12-19 鋼番 965751 の C/C 入り側と出側における排ガスの温度

Figure 12-20 鋼番 965751 の C/C 入り側における排ガスの組成

Figure 12-21 鋼番 965751 の C/C 出側における排ガスの組成

Figure 12-22 鋼番 965752 の C/C 入り側における排ガスの熱含量と流量

Figure 12-23 鋼番 965752 の C/C 入り側と出側における排ガスの温度

Figure 12-24 鋼番 965752 の C/C 入り側における排ガスの組成

Figure 12-25 鋼番 965752 の C/C 出側における排ガスの組成

Figure 12-26 鋼番 965753 の C/C 入り側における排ガスの熱含量と流量

Figure 12-27 鋼番 965753 の C/C 入り側と出側における排ガスの温度

Figure 12-28 鋼番 965753 の C/C 入り側における排ガスの組成

Figure 12-29 鋼番 965753 の C/C 出側における排ガスの組成



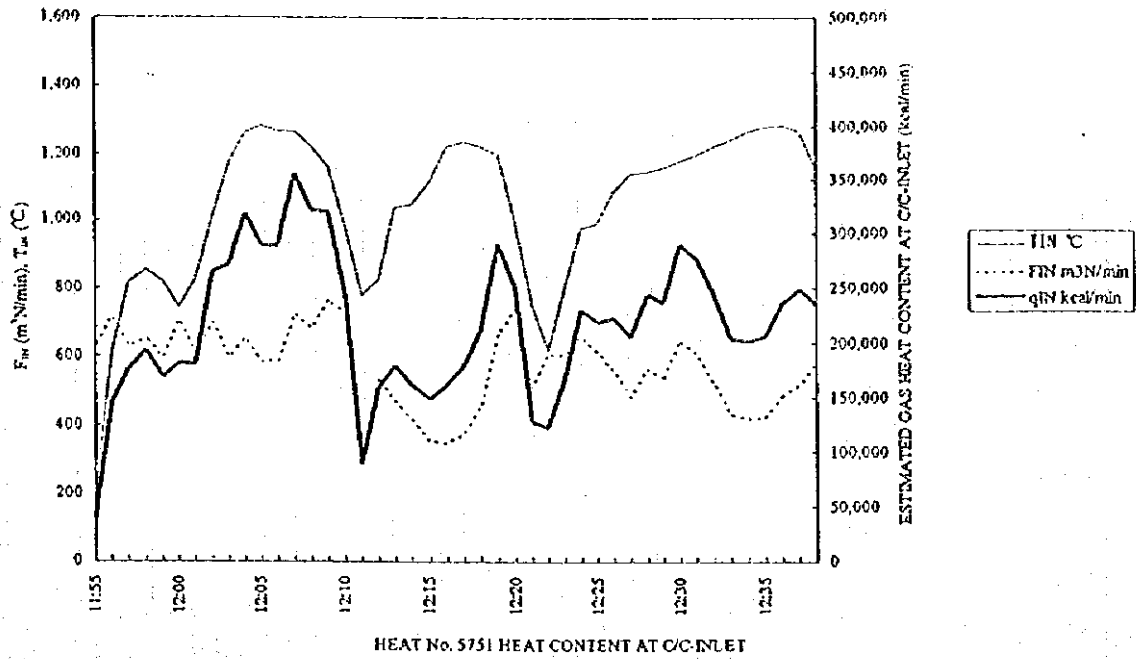


Figure 12-18 Heat Content and Flow Rate of Exhaust Gas at C/C-Inlet, Heat No. 965751

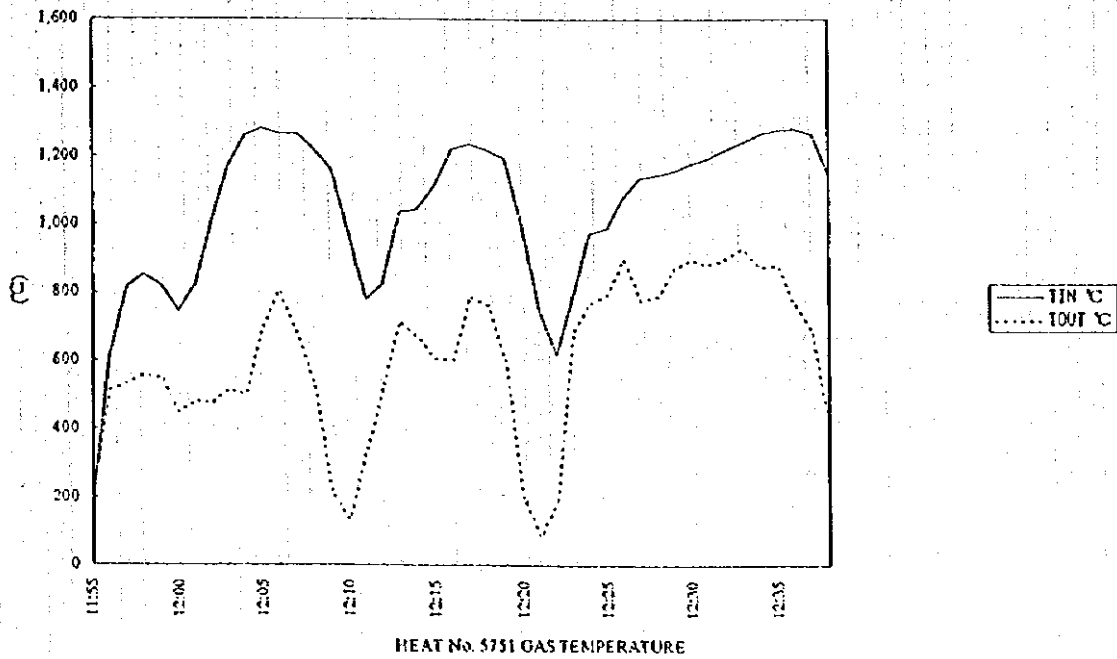


Figure 12-19 Temperature of Exhaust Gas at C/C-Inlet and Outlet, Heat No. 965751

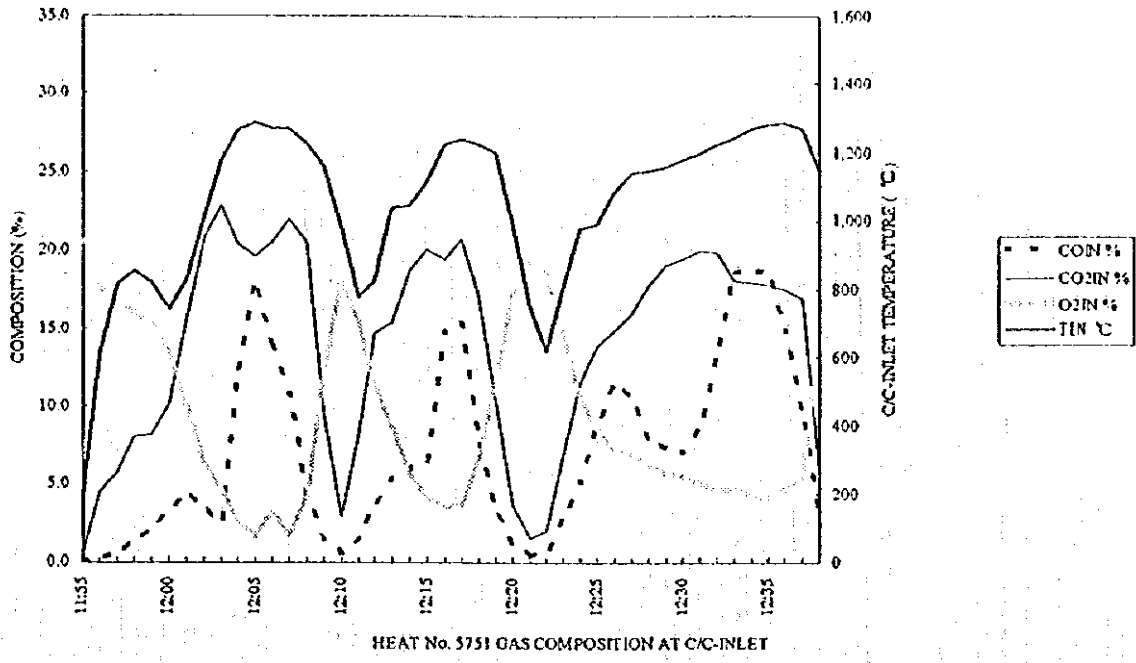


Figure 12-20 Composition of Exhaust Gas at C/C-Inlet, Heat No. 965751

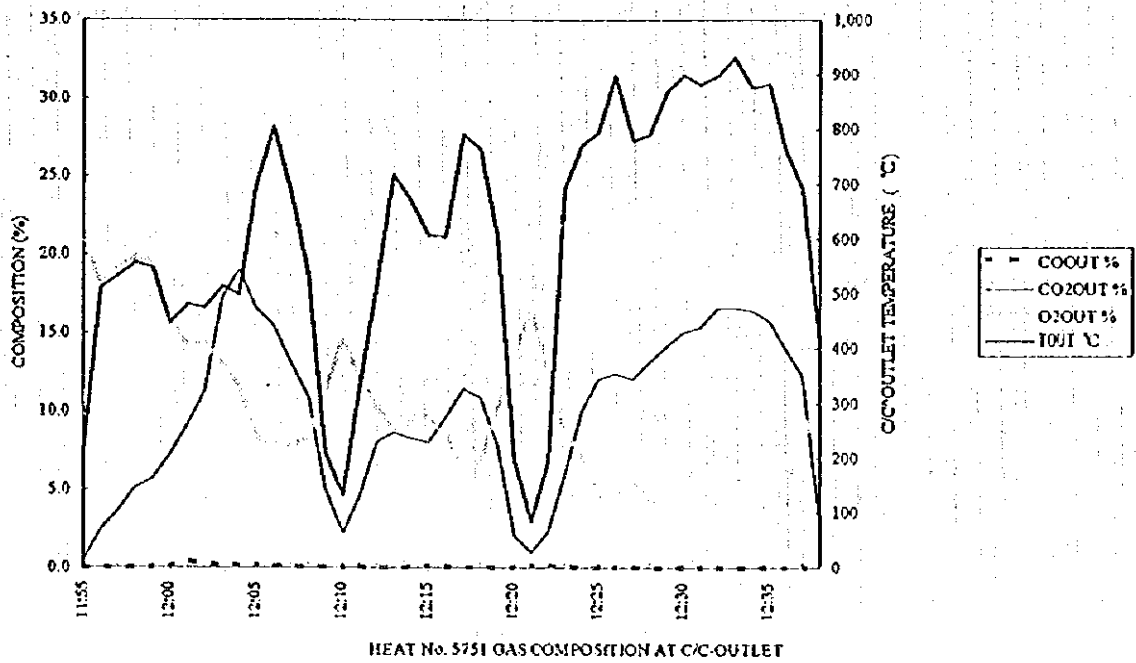


Figure 12-21 Composition of Exhaust Gas at C/C-Outlet, Heat No. 965751

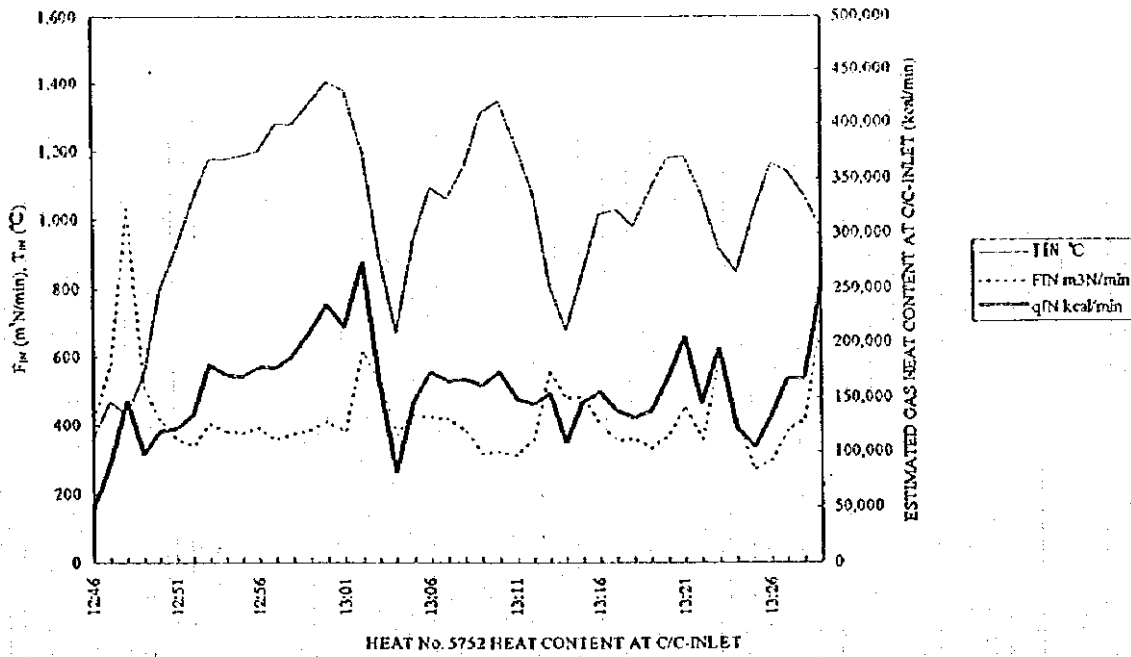


Figure 12-22 Heat Content and Flow Rate of Exhaust Gas at C/C-Inlet, Heat No. 965752

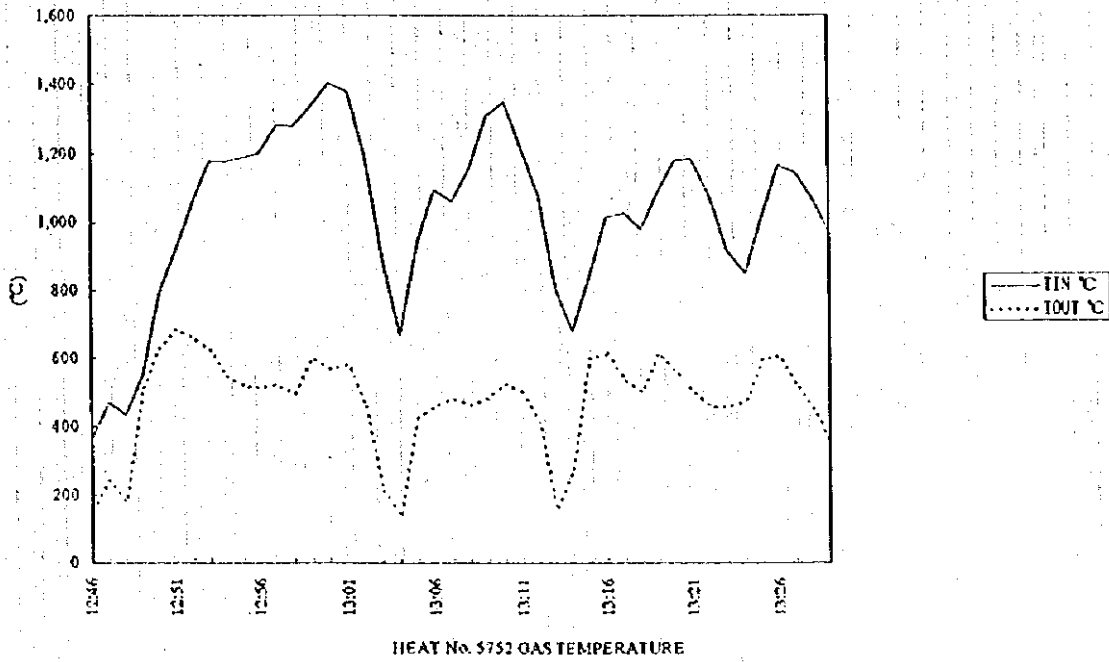


Figure 12-23 Temperature of Exhaust Gas at C/C-Inlet and Outlet, Heat No. 965752

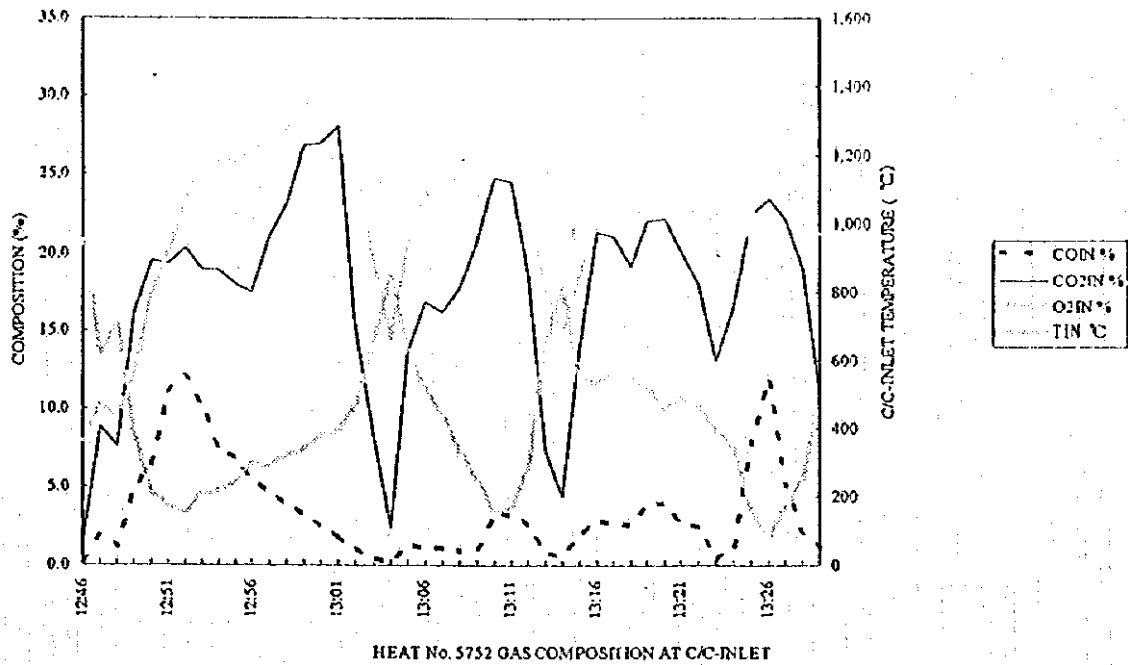


Figure 12-24, Composition of Exhaust Gas at C/C-Inlet, Heat No. 965752

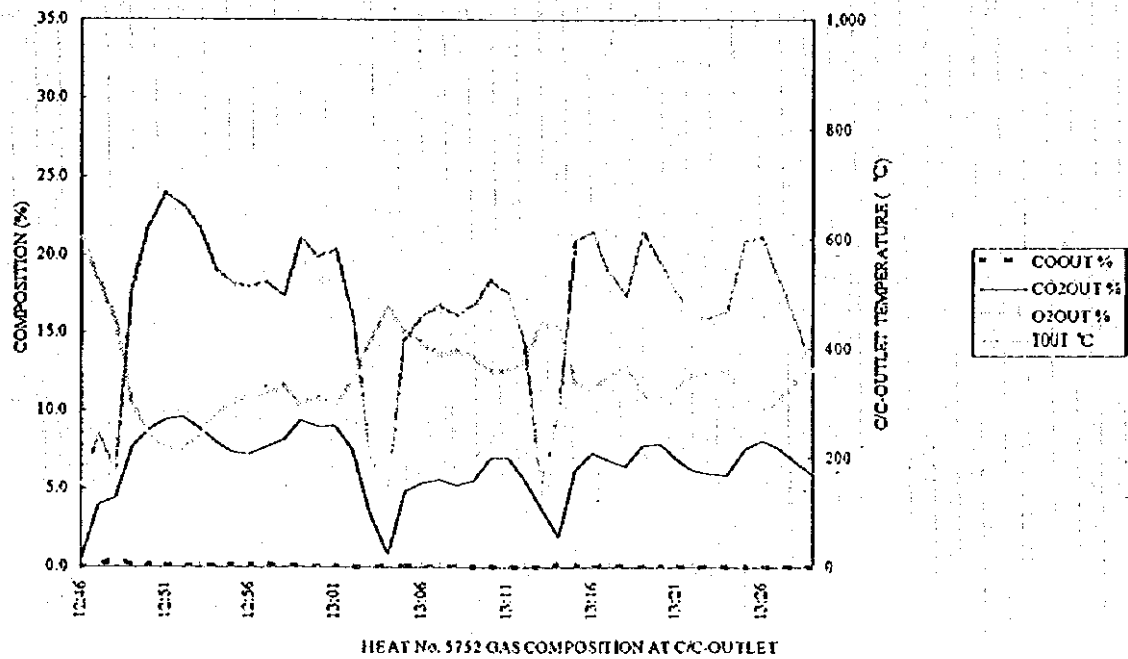


Figure 12-25 Composition of Exhaust Gas at C/C-Outlet, Heat No. 965752

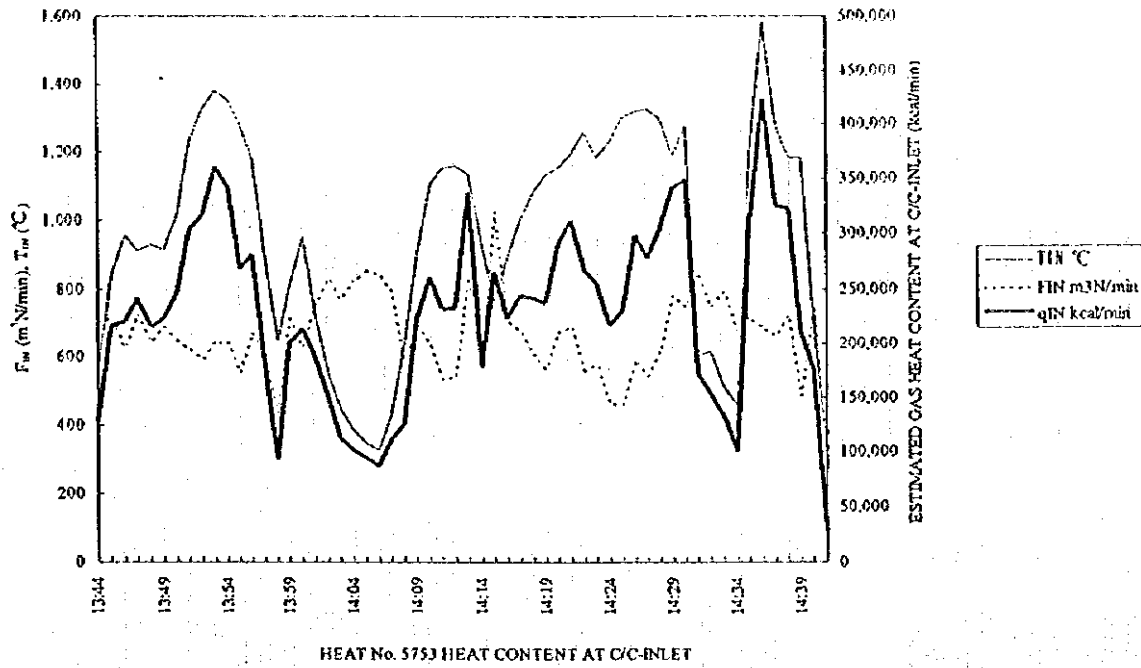


Figure 12-26 Heat Content and Flow Rate of Exhaust Gas at C/C-Inlet, Heat No. 965753

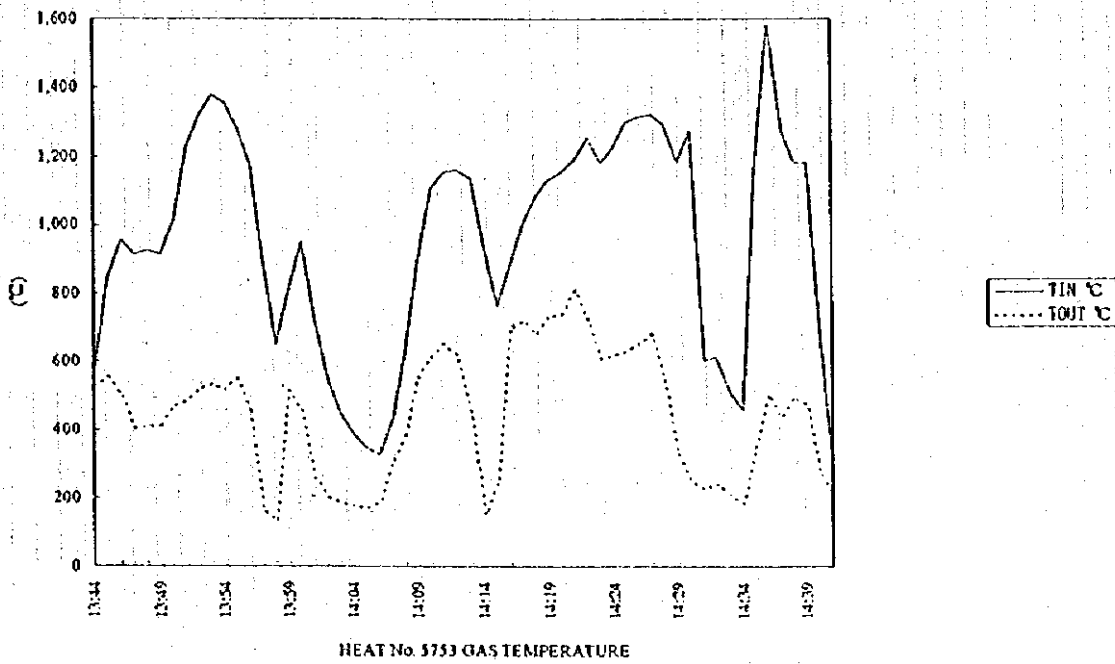


Figure 12-27 Temperature of Exhaust Gas at C/C-Inlet and Outlet, Heat No. 965753

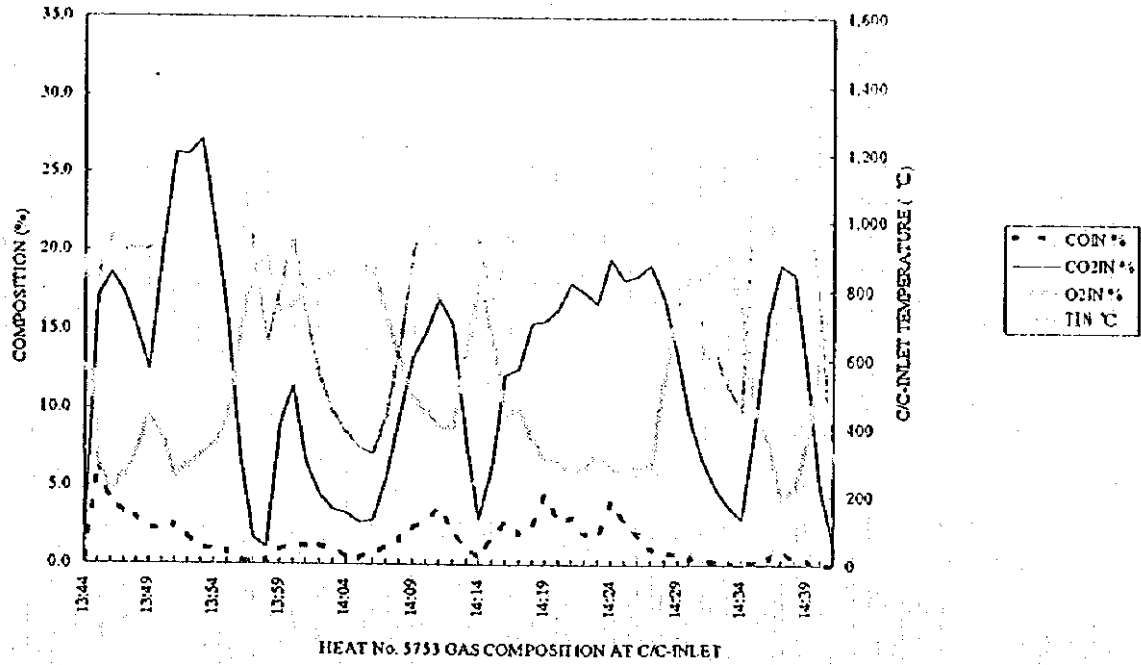


Figure 12-28 Composition of Exhaust Gas at C/C-Inlet, Heat No. 965753

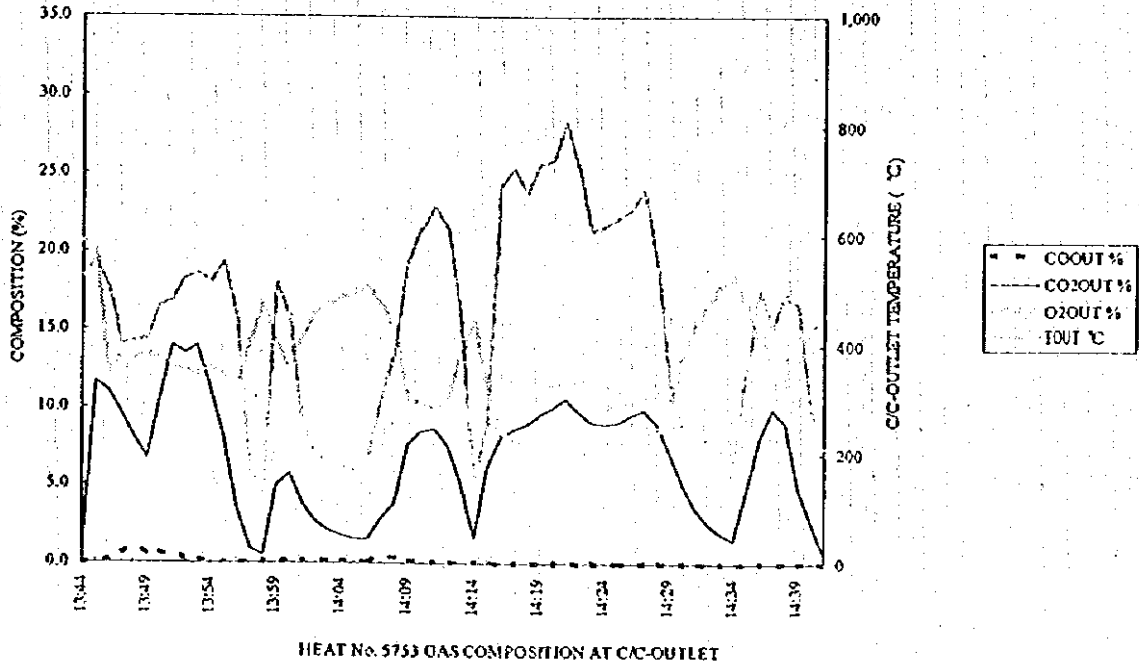


Figure 12-29 Composition of Exhaust Gas at C/C-Outlet, Heat No. 965753

### Annex-3: ピレットのホットチャージ

件名：ピレットのホットチャージ

#### 1 まえがき

ピレットは、連铸機の冷却床からオイルバーナ燃焼のウォーキングビームタイプの加熱炉に装入されるが、現在、ピレットの60-70パーセントが摂氏300-600度でのホットチャージ操作が行われている。加熱炉で1,100-1,150度に加熱されたピレットは、8-50ミリメートル径の丸棒と異形棒鋼に圧延されている。

加熱炉に装入するとき、ピレットの表面温度が高ければ、燃料消費量は少なくてすむ。しかし現在は、製品の表面欠陥のため高い温度でのホットチャージは実施していない。ここに高温でのホットチャージの実施と省エネルギーに関し、NKKの経験の基づき、表面欠陥の発生機構とその防止策について紹介する。

#### 2 欠陥の発生

加熱炉の燃料原単位低減を目的に、400 x 520 ミリメートルの連铸鋳片（ブルーム）のトラックタイム短縮テストを行ったところ、Figure AN-3-1 に示すようにトラックタイムが2時間以下になると圧延した鋼片の表面疵が急激に増加することが判った。

注：トラックタイムとは、铸造から加熱炉へ装入するまでの時間。トラックタイムが長いと鋳片の温度が低く、短いと温度は高い。

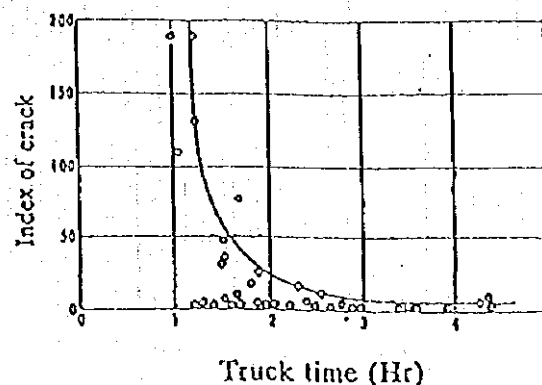
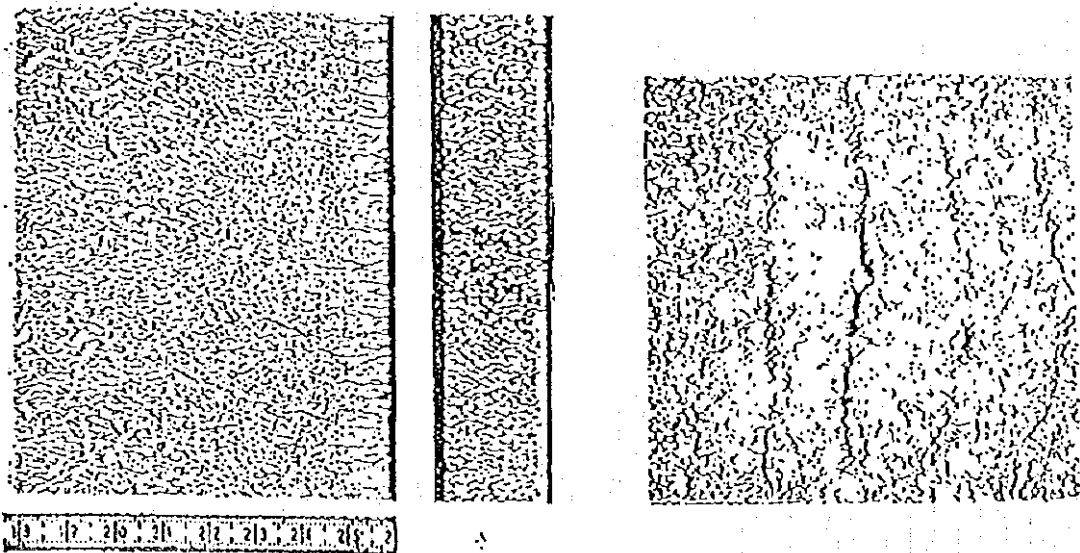


Figure AN-3-1 Relationship between Truck Time and Product Surface Deffects

加熱後の鋳片のマクロ写真では、表面には疵が認められないが、表面から 10 ミリメートル削った面にひび割れが認められた (Photo AN-3-1)。Photo AN-3-2 は粗圧延した後の表面に認められた割れで、割れを検鏡した結果サブスケールはなく、脱炭も軽微なことから圧延で開口した割れと考えられる。



Layer 10 mm below the surface .

Photo. AN-3-1 Macrophoto of Cast Piece after Heating

Photo. AN-3-2 Surface Defects on Cast Piece after Rough Rolling

### 3 粒界割れの発生機構

鋳片が冷却され再加熱される熱履歴とその鋳片表層の組織変化および析出物を模式図 (Figure AN-3-2) に示す。

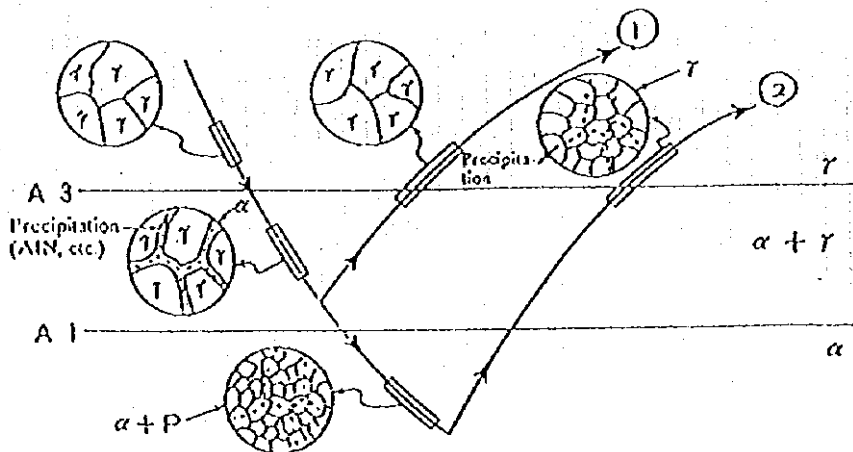


Figure AN-3-2 Model Illustration of Heating Histories, and Structure Change and Precipitation



トタックタイムが長い場合、鋳片表層下は Figure AN-3-2 のケース 2 で示すようにアルファ相領域から再加熱されるが、このときは粒界割れは見られない。旧オーステナイト粒界に析出した析出物が粒内に分散されたためである。一方トタックタイムが短い場合、再加熱は（アルファ+ガンマ）二相領域から始まり、粒界に析出する初析フェライトと粒界析出物とにより脆化が促進される。

一般的に鋼の引張り強さは高温側で著しく低下する。トタックタイム短縮材の場合、粒界脆化と相俟って引張り強さは更に低下し、加熱直後の引張り強さが破断強度を越えた場合、割れが生ずると考えられる。以上のことから、Figure AN-3-3 に示すような機構で割れが発生すると考える。

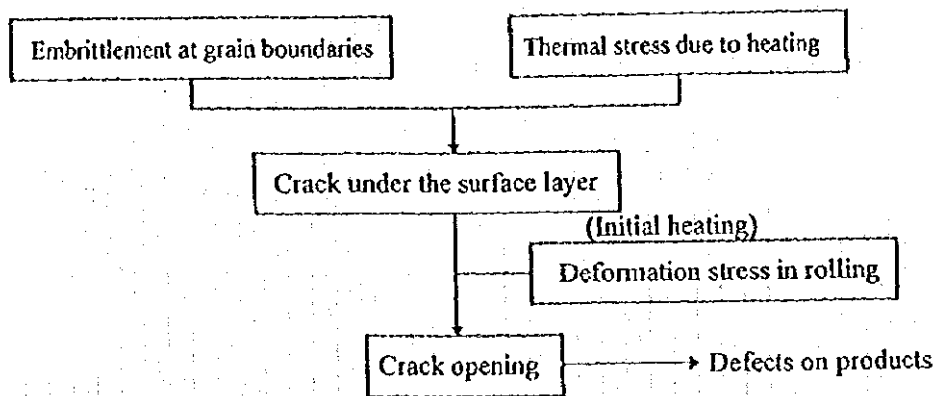


Figure AN-3-3 Mechanism of Crack Generation

## 4 割れ防止法

### 4-1 考え方

Figure AN-3-4のケース3の熱履歴で示すように二相領域になっている鋳片表面を急冷することによりフェライト領域に変態させるという考えで、鋳片を再加熱直前の高温域で水冷することにより割れの発生はできるとした。

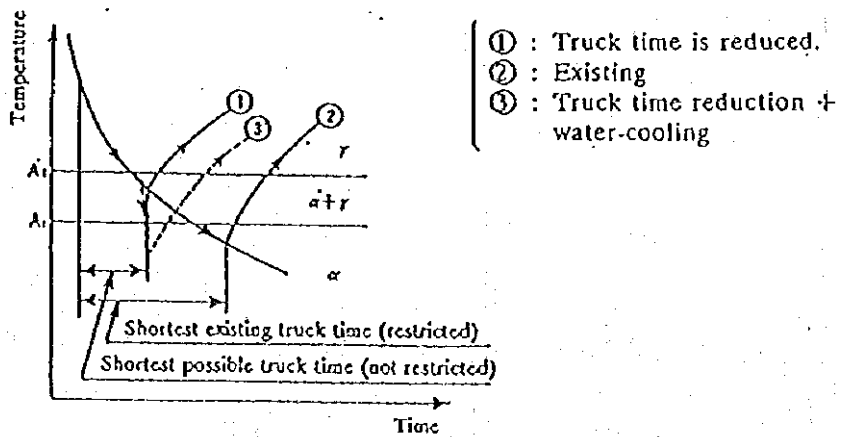


Figure AN-3-4 Heating History of Surface Layer of CC Bloom

### 4-2 予備試験における水冷効果

Figure AN-3-5は、連铸ブルーム水冷の予備試験をしたときの水冷ありと無しとを、トラックタイムと割れの発生程度との関係で比較した結果を示す。水冷した連铸ブルームの場合、1時間のトラックタイムでも割れは皆無であった。

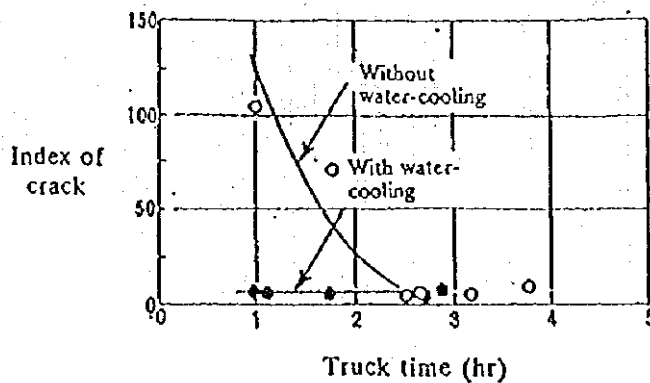


Figure AN-3-5 Relationship between truck time and billet surface defects

## 5 連铸ブルーム水冷装置

連铸ブルームを再加熱前の水冷により粒界割れを防止することで、トラックタイムの短縮が可能であることが確認されたので、加熱炉前に連铸ブルーム用水冷装置を設置した。設置位置を Figure AN-3-6 に、装置の概念を Figure AN-3-7 に示す。

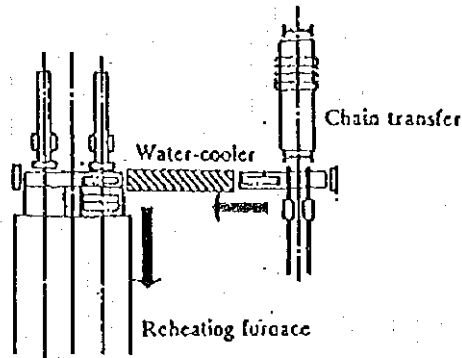


Figure AN-3-6 Installation layout of water cooling equipment

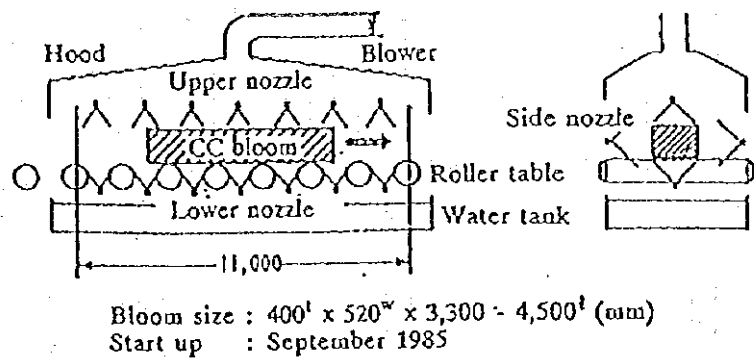
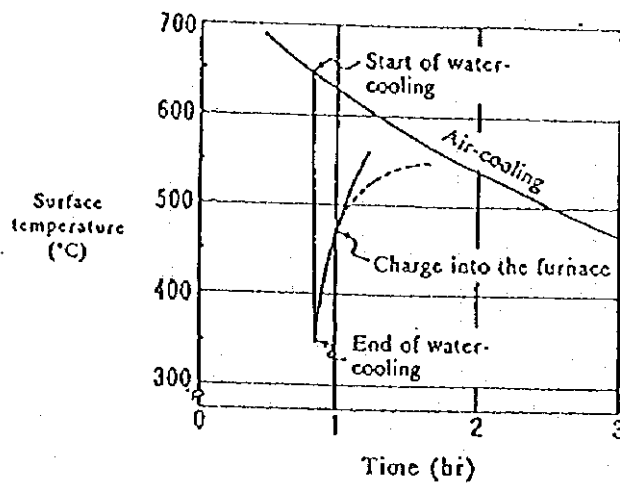


Figure AN-3-7 Concept of bloom water cooling equipment

## 6 水冷条件

1. 対象材：表面温度摂氏 500 度以上の連铸ブルーム
2. 水量：1 平方メートル 1 分当たり 170 リットル
3. 水冷時間：40 秒

上記条件でトラックタイム 1 時間のときの連铸ブルーム表面温度の推移を Figure AN-3-8 に示す。図中の破線は水冷後放置し復熱のピークを確認したときの温度推移で、約 50 分後に 550 度まで復熱した。



FigureAN-3-8 Surface Temperature Transition of Water Cooled Cast Piece

## 7 結論

NKK は、再加熱前に連铸ブルームを水冷することにより、製品の表面傷を発生させることなくトラックタイムを短縮し、加熱炉の燃料原単位を 13 パーセント低減することができた。

IDC は上記を参考にして、予備テストにより水冷ピレットの温度と表面欠陥の関係を調査し、最適操業条件を見出せるものと確信する。

#### Annex-4: 熱精算作成のための計算式、参考数値

アーク炉の熱勘定方式 (JIS G 0703) に準拠する。

1. 入熱計算式
2. 出熱計算式
3. 熱含量 (鉄、鋼、スラグ)
4. 反応熱

## 1 入熱計算式

(1) Heat Quantity of Electric Power, $Q_1$ (kcal/t-output)	$Q_1 = W_1 \times 860$ $W_1: \text{Unit consumption of electric power (kWh/t-output)}$ $860: \text{Conversion factor (kcal/kWh)}$
(2) Potential Heat of Hot Metal, Hot Heel of Raw Materials and Slag, $Q_2$ (kcal/t-output)	$Q_2 = Q_3 + Q_{2b} + Q_{2c}$ <p>(a) Potential Heat of Hot Metal, <math>Q_{2a}</math> (kcal/t-output)</p> $Q_{2a} = M_{2a} \times H_{2a}$ $M_{2a}: \text{Unit consumption of hot metal (kg/t-output)}$ $H_{2a}: \text{Heat content of metal (kcal/kg)}$ <p>Note: Hot metal was not used in this study.</p> <p>(b) Potential Heat of Hot Heel, <math>Q_{2b}</math> (kcal/t-output)</p> $Q_{2b} = M_{2b} \times H_{2b}$ $M_{2b}: \text{Unit consumption of hot heel (kg/t-output)}$ $H_{2b}: \text{Heat content of hot heel (kcal/kg)}$ <p>Note: 1) Amount of hot heel was estimated 10 t/heat in this study. 2) Heat content is depend on the hot heel temperature which was estimated 1,550 °C in this study.</p> <p>(c) Potential Heat of Residual Slag, <math>Q_{2c}</math> (kcal/t-output)</p> $Q_{2c} = M_{2c} \times H_{2c}$ $M_{2c}: \text{Unit consumption of residual slag (kg/t-output)}$ $H_{2c}: \text{Heat content of residual slag (kcal/kg)}$ <p>Note: Small amount of residual slag was not considered in this study.</p>
(3) Sensible Heat of Raw Materials, $Q_3$ (kcal/t-output)	$Q_3 = M_3 \times (H_{3b} - H_{3a})$ $M_3: \text{Unit consumption of raw materials (kg/t-output)}$ $H_{3b}: \text{Heat content of raw materials at temperature after preheating (kcal/kg)}$ $H_{3a}: \text{Heat content of raw materials at indoor temperature (kcal/kg)}$ <p>Note: 1) <math>H_{3a}</math> was assumed 0 kcal/kg of heat content</p>

at 0 °C as basis in this study.

(4) Calorific Power of Fuel Oil,  
Q4 (kcal/t-output)

$$Q_4 = M_4 \times q_4$$

$M_4$ : Unit consumption of fuel oil (kg/t-output)  
 $q_4$ : Low heating value of fuel oil (kcal/kg)

(5) Sensible Heat of Fuel Oil,  
Q5 (kcal/t-output)

$$Q_5 = M_5 \times C_5 \times (Z_{5f} - Z_{5a})$$

$M_5$ : Unit consumption of fuel oil (kg/t-output)  
 $C_5$ : Mean specific heat of fuel oil (kcal/kg)  
 $Z_{5f}$ : Temperature of fuel oil (°C)  
 $Z_{5a}$ : Indoor temperature (°C)

Note: Small sensible heat of fuel oil was not considered in this study.

(6) Oxidation Heat of Electrode,  
Q6 (kcal/t-output)

$$Q_6 = M_6 \times C_c \times 10^{-2} \times (q_{6CO_2} \times CO_2 / (CO_2 + CO) + q_{6CO} \times CO / (CO_2 + CO))$$

$M_6$ : Unit consumption of electrode (kg/t-output)  
 $C_c$ : Carbon content of electrode (%)  
 $q_{6CO_2}$ : Oxidation heat of electrode at CO<sub>2</sub> formation (kcal/kg)  
 $q_{6CO}$ : Oxidation heat of electrode at CO formation (kcal/kg)  
 $CO_2$ : CO<sub>2</sub> content of exhaust gas (%)  
 $CO$ : CO content of exhaust gas (%)

Note: Unit consumption of electrode was estimated 1.9 kg/t-output.

(7) Oxidation Heat of Charge,  
Q7 (kcal/t-output)

$$Q_7 = Q_{7a} + Q_{7b} + Q_{7c} + Q_{7d} + Q_{7e} + Q_{7f} + Q_{7g}$$

(a) Oxidation Heat of Charged Carbon,  
Q7a (kcal/t-output)

$$Q_{7a} = M_{7a} \times (q_{7CO_2} \times CO_2 / (CO_2 + CO) + q_{7CO} \times CO / (CO_2 + CO))$$

$$M_{7a} = M_{7aPig\ iron} + M_{7aScrap} + M_{7aCarbon\ powder} - 1,000 \times C_{Tap} \times 10^{-2}$$

$$M_{7aPig\ iron} = M_{7Pig\ iron\ Charge} \times C_{Pig\ iron} \times 10^{-2}$$

$$M_{7aScrap} = M_{7Scrap\ Charge} \times C_{Scrap} \times 10^{-2}$$

$$M_{7aCarbon\ powder} = M_{7Carbon\ powder\ Charge} \times C_{Carbon\ powder} \times 10^{-2}$$

$M_{7a}$ : Oxidation amount of charged carbon (kg/t-output)

$M_{7aPig\ iron}$ : Carbon in pig iron (kg/t-output)

---

$M_{7aScrap}$ : Carbon in scrap (kg/t-output)

$M_{7aCarbon\ powder}$ : Carbon in charged carbon powder  
(kg/t-output)

$M_{7Pig\ iron\ Charge}$ : Unit consumption of pig iron  
(kg/t-output)

$M_{7Scrap\ Charge}$ : Unit consumption of scrap (kg/t-output)

$M_{7Carbon\ powder\ Charge}$ : Unit consumption of charged  
carbon powder (kg/t-output)

$C_{Pig\ iron}$ : C content of pig iron (%)

$C_{Scrap}$ : C content of scrap (%)

$C_{Carbon\ powder}$ : C content of charged carbon powder (%)

$C_{Tap}$ : C content of molten steel before tapping (%)

1,000: Output (kg)

$q_{7CO_2}$ : Heat of carbon oxidation at  $CO_2$  formation  
(kcal/kg)

$q_{7CO}$ : Heat of carbon oxidation at CO formation  
(kcal/kg)

$CO_2$ :  $CO_2$  content of exhaust gas (%)

CO: CO content of exhaust gas (%)

Note: Charged carbon powder was not used in this  
study.

(b) Oxidation Heat of Charged Silicon,

$Q_{7b}$  (kcal/t-output)

$$Q_{7b} = M_{7b} \times q_{7b}$$

$$M_{7b} = M_{7bPig\ iron} + M_{7bScrap} - 1,000 \times Si_{Tap} \times 10^{-2}$$

$$M_{7bPig\ iron} = M_{7Pig\ iron\ Charge} \times Si_{Pig\ iron} \times 10^{-2}$$

$$M_{7bScrap} = M_{7Scrap\ Charge} \times Si_{Scrap} \times 10^{-2}$$

$M_{7b}$ : Oxidation amount of charged silicon (kg/t-output)

$M_{7bPig\ iron}$ : Silicon in pig iron (kg/t-output)

$M_{7bScrap}$ : Silicon in scrap (kg/t-output)

$M_{7Pig\ iron\ Charge}$ : Unit consumption of pig iron  
(kg/t-output)

$M_{7Scrap\ Charge}$ : Unit consumption of scrap (kg/t-output)

$Si_{Pig\ iron}$ : Si content of pig iron (%)

$Si_{Scrap}$ : Si content of scrap (%)

---



---

$Si_{Tap}$ : Si content of molten steel before tapping (%)

1,000: Output (kg)

$q_{7b}$  : Heat of silicon (kcal/kg)

(c) Oxidation Heat of Charged Manganese,

$Q_{7c}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

(d) Oxidation Heat of Charged Phosphorus,

$Q_{7d}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

(e) Oxidation Heat of Charged Chromium,

$Q_{7e}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

(f) Oxidation Heat of Charged Aluminum,

$Q_{7f}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

(g) Oxidation heat of Charged Iron,

$Q_{7g}$  (kcal/t-output)

$$Q_{7g} = M_{7g} \times (\text{FeO} \times 0.777 \times q_{7g\text{FeO}} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0.699 \times q_{7g\text{Fe}_2\text{O}_3}) \times 10^{-2}$$

$M_{7g}$ : Unit weight of slag (kg/t-output)

FeO: FeO content of slag (%)

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content of slag (%)

$q_{7g\text{FeO}}$ : Heat of iron oxidation at FeO formation  
(kcal/kg)

$q_{7g\text{Fe}_2\text{O}_3}$ : Heat of iron oxidation at  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  formation  
(kcal/kg)

0.777: Ratio of Fe in FeO

0.699: Ratio of Fe in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Note: Unit weight of slag was calculated as follows  
in this study.

$$M_{7g} = M_{7g\text{lime}} \times \text{CaO}_L / \text{CaO}_S$$

$M_{7g\text{lime}}$ : Unit consumption of burnt lime (kg/t-output)

$\text{CaO}_S$ : CaO content of slag (%)

$\text{CaO}_L$ : CaO content of burnt lime (%)

Note: Mean value of seven heats was used for slag

---

---

analysis in this study.

---

(8) Oxidation Heat of Additives,  
 $Q_8$  (kcal/t-output)

$$Q_8 = Q_{8a} + Q_{8b} + Q_{8c}$$

(a) Oxidation Heat of Carbon of Additives,

$Q_{8a}$  (kcal/t-output)

$$Q_{8a} = M_{8a} \times (q_{8CO_2} \times CO_2 / (CO_2 + CO) + q_{8CO} \times CO / (CO_2 + CO))$$

$$M_8 = M_{8a \text{ Carbon injection}} + M_{8a \text{ Si-Mn}} + M_{8a \text{ Fe-Si}} + M_{8a \text{ Fe-Mn}}$$

$$M_{8a \text{ Carbon injection}} = M_{8 \text{ Carbon injection Additives}} \times C_{\text{Carbon injection}} \times 10^{-2}$$

$$M_{8a \text{ Si-Mn}} = M_{8 \text{ Si-Mn Additives}} \times C_{\text{Si-Mn}} \times 10^{-2}$$

$$M_{8a \text{ Fe-Si}} = M_{8 \text{ Fe-Si Additives}} \times C_{\text{Fe-Si}} \times 10^{-2}$$

$$M_{8a \text{ Fe-Mn}} = M_{8 \text{ Fe-Mn Additives}} \times C_{\text{Fe-Mn}} \times 10^{-2}$$

$M_{8a}$ : Carbon of additives (kg/t-output)

$M_{8a \text{ Carbon injection}}$ : Carbon in carbon injection (kg/t-output)

$M_{8a \text{ Si-Mn}}$ : Carbon in Si-Mn (kg/t-output)

$M_{8a \text{ Fe-Si}}$ : Carbon in Fe-Si (kg/t-output)

$M_{8a \text{ Fe-Mn}}$ : Carbon in Fe-Mn (kg/t-output)

$M_{8 \text{ Carbon injection Additives}}$ : Unit consumption of carbon injection (kg/t-output)

$M_{8 \text{ Si-Mn Additives}}$ : Unit consumption of Si-Mn (kg/t-output)

$M_{8 \text{ Fe-Si Additives}}$ : Unit consumption of Fe-Si (kg/t-output)

$M_{8 \text{ Fe-Mn Additives}}$ : Unit consumption of Fe-Mn (kg/t-output)

$C_{\text{Carbon injection}}$ : C content of carbon injection (%)

$C_{\text{Si-Mn}}$ : C content of Si-Mn (%)

$C_{\text{Fe-Si}}$ : C content of Fe-Si (%)

$C_{\text{Fe-Mn}}$ : C content of Fe-Mn (%)

$q_{8CO_2}$ : Heat of carbon oxidation at  $CO_2$  formation (kcal/kg)

$q_{8CO}$ : Heat of carbon oxidation at CO formation (kcal/kg)

$CO_2$ :  $CO_2$  content of exhaust gas (%)

CO: CO content of exhaust gas (%)

Note: Si-Mn Fe-Si and Fe-Mn were not used in this study.

---

---

(b) Oxidation Heat of Silicon of Additives,

$Q_{sb}$  (kcal/t-output)

$$Q_{sb} = M_{sb} \times q_{sb}$$

$$M_{sb} = M_{sbSi-Mn} + M_{sbFe-Si} + M_{sbFe-Mn}$$

$$M_{sbSi-Mn} = M_{Si-Mn\text{ Additives}} \times Si_{Si-Mn} \times 10^{-2}$$

$$M_{sbFe-Si} = M_{Fe-Si\text{ Additives}} \times Si_{Fe-Si} \times 10^{-2}$$

$$M_{sbFe-Mn} = M_{Fe-Mn\text{ Additives}} \times Si_{Fe-Mn} \times 10^{-2}$$

$M_{sb}$ : Silicon of additives (kg/t-output)

$M_{sbSi-Mn}$ : Silicon in Si-Mn (kg/t-output)

$M_{sbFe-Si}$ : Silicon in Fe-Si (kg/t-output)

$M_{sbFe-Mn}$ : Silicon in Fe-Mn (kg/t-output)

$M_{Si-Mn\text{ Additives}}$ : Unit consumption of Si-Mn  
(kg/t-output)

$M_{Fe-Si\text{ Additives}}$ : Unit consumption of Fe-Si (kg/t-output)

$M_{Fe-Mn\text{ Additives}}$ : Unit consumption of Fe-Mn  
(kg/t-output)

$Si_{Si-Mn}$ : Si content of Si-Mn (%)

$Si_{Fe-Si}$ : Si content of Fe-Si (%)

$Si_{Fe-Mn}$ : Si content of Fe-Mn (%)

1,000: Output (kg)

$q_{sb}$ : Heat of silicon (kcal/kg)

Note: Si-Mn, Fe-Si and Fe-Mn were not used in  
this study.

(c) Oxidation Heat of Manganese of Additives,

$Q_{sc}$  (kcal/t-output)

Same as (b).

---

(9) Heat of Slag Formation,

$Q_9$  (kcal/t-output)

$$Q_9 = M_9 \times (SiO_2 \times q_{9SiO_2} + P_2O_5 \times q_{9P_2O_5}) \times 10^{-2}$$

$M_9$ : Unit weight of slag (kg/t-output)

Note: See (7) (g).

$q_{9SiO_2}$ : Heat of  $SiO_2$  reaction at  $Ca_2SiO_4$  formation  
(kcal/kg)

$q_{9P_2O_5}$ : Heat of  $P_2O_5$  reaction at  $Ca_3P_2O_3$  formation  
(kcal/kg)

$SiO_2$ :  $SiO_2$  content of slag (%)

$P_2O_5$ :  $P_2O_5$  content of slag (%)

---

---

Note: Mean value of seven heats was used for slag analysis in this study.

---

Heat Input,

$Q_{\text{Heat Input}}$  (kcal/t-output)

$$Q_{\text{Heat Input}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \text{ (kcal/t-output)}$$

---

## 2 出熱計算式

(10) Potential Heat of Molten Steel, $Q_{10}$ (kcal/t-output)	$Q_{10} = Q_{10a} + Q_{10b}$ <p>(a) Potential Heat of Output (excluding hot heel), <math>Q_{10a}</math> (kcal/t-output)</p> $Q_{10a} = 1,000 \times H_{10a}$ <p>1,000: Output (kg)</p> <p><math>H_{10a}</math>: Heat content of molten steel before tapping (kcal/g)</p> <p>Note: Heat content is dependent on temperature.</p> <p>(b) Potential Heat of Hot heel, <math>Q_{10b}</math> (kcal/t-output)</p> $Q_{10b} = M_{10b} \times H_{10b}$ <p><math>M_{10b}</math>: Unit weight of hot heel (kg/t-output)</p> <p><math>H_{10b}</math>: Heat content of hot heel (kcal/g)</p> <p>Note: 1) Amount of hot heel was assumed 10 t/heat in this study.</p> <p>2) Heat content is dependent on temperature.</p>
(11) Potential Heat of Slag, $Q_{11}$ (kcal/t-output)	$Q_{11} = M_{11} \times H_{11}$ <p><math>M_{11}</math>: Unit weight of slag (kg/t-output)</p> <p><math>H_{11}</math>: Heat content of slag (kcal/g)</p> <p>Note: 1) Concerning unit weight of slag, see (7) (g) in Heat Input.</p> <p>2) Heat content is dependent on temperature which is same as that of molten steel in this study.</p>
(12) Heat of Decomposition, $Q_{12}$ (kcal/t-output)	$Q_{12} = Q_{12a} + Q_{12b}$ <p>(a) Heat of Limestone Decomposition, <math>Q_{12a}</math> (kcal/t-output)</p> $Q_{12a} = 10^{-2} \times M_{12a} \times \text{CaO} \times q_{12a\text{CaCO}_3}$ <p><math>M_{12a}</math>: Unit consumption of limestone (kcal/t-output)</p> <p><math>q_{12a\text{CaCO}_3}</math>: Heat of decomposition of limestone (kcal/kg)</p> <p>CaO: CaO content of limestone (%)</p> <p>Note: 1) 30 % of limestone was included in burnt lime in this study.</p> <p>(b) Heat of Iron Ore Decomposition, <math>Q_{12b}</math> (kcal/t-output)</p>

$$Q_{12b} = 10^2 \times M_{12b} \times (\text{FeO} \times q_{12b\text{FeO}} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \times q_{12b\text{Fe}_2\text{O}_3})$$

$M_{12b}$ : Unit consumption of iron ore (kcal/t-output)

$q_{12b\text{FeO}}$ : Heat of decomposition of FeO in iron ore (kcal/kg)

$q_{12b\text{Fe}_2\text{O}_3}$ : Heat of decomposition of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  in iron ore (kcal/kg)

FeO: FeO content in iron ore (%)

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content in iron ore (%)

Note: Iron ore was not used in this study.

(13) Electrical heat Loss,

$Q_{13}$  (kcal/t-output)

$$Q_{13} = Q_{13a} + Q_{13b}$$

(a) Heat Loss in Secondary Conductors,

$Q_{13a}$  (kcal/t-output)

$$Q_{13a} = (R_0 \times I_0^2 \times T \times 860) \times 3.6/T$$

$$R_0 = R_S + O \times (E_1 + E_2 + E_3)/S$$

$$I_0 = (W_0 \times 10,000)/(3^{1/2} V_0 \times \cos U)$$

$$W_0 = W_p/T$$

$$V_0 = V \times T'/T$$

$$\cos U = W_p/(W_p^2 + W_Q^2)^{1/2}$$

$R_0$ : Combined resistance of secondary conductor and electrode (Ohm)

$I_0$ : Mean current (A)

$t$ : Output (ton)

$R_S$ : Combined resistance of secondary conductor resistance and contact resistance between electrode and holder (Ohm)

$O$ : Specific resistance of electrode (Ohm-cm)

$S$ : Sectional area of electrode ( $\text{cm}^2$ )

$E_1, E_2, E_3$ : Average length of electrode in each phase exposed from roof

$W_0$ : Mean electric power (kW)

$V_0$ : Mean voltage (V)

$\cos U$ : Mean power factor (-)

$W_p$ : Electric power consumed (kW)

$W_Q$ : Reactive energy (kVar)

---

V: Secondary voltage of transformer tap(V)

T': Conducting period of each tap in transformer (hr)

T: Power-on to power-off time (hr)

Note: Heat loss in secondary conductor was not measured.

(b) Heat Loss of Transformer,

$Q_{13b}$  (kcal/t-output)

$$Q_{13b} = (W_1 - W_2) \times 860/t$$

$W_1$  = Electric power on primary side of transformer  
(kWh)

$W_2$  = Electric power on secondary side of transformer  
(kWh)

Note: Heat loss in secondary conductor was not measured.

---

(14) Heat in Cooling Water,

$Q_{14}$  (kcal/t-output)

$$Q_{14} = Q_{14a} + Q_{14b} + Q_{14c} + Q_{14d}$$

(a) Heat in Cooling Water for Elbow,

$Q_{14a}$  (kcal/t-output)

$$Q_{14a} = M_{14a} \times C_{14} \times (t_{14a0} - t_{14a1})$$

$$M_{14a} = F_{14a} \times T/t$$

$M_{14a}$ : Average quantity of cooling water (kg/t-output)

$C_{14}$ : Specific heat of water (kcal.kg, °C) = 1

$t_{14a0}$ : Mean outlet temperature of cooling water (°C)

$t_{14a1}$ : Mean inlet temperature of cooling water (°C)

$F_{14a}$ : Flow rate of cooling water (kg/hr)

T: Power-on to power-off time (hr)

t: Output (ton)

(b) Heat in Cooling Water for Roof,

$Q_{14b}$  (kcal/t-output)

Same as (a).

(c) Heat in Cooling Water for EBT,

$Q_{14c}$  (kcal/t-output)

Same as (a).

(d) Heat in Cooling Water for Shell,

$Q_{14d}$  (kcal/t-output)

Same as (a).

---

---

(15) Sensible Heat of Exhaust Gas,  $Q_{15} = H_{15} \times T \times 60/t$   
 $Q_{15}$  (kcal/t-output)  $H_{15} =$  Heat in average flow of exhaust gas (kcal/min)  
 $T =$  Power-on to power-off time (hr)  
 $t =$  Output (ton)  
 Note: Heat in average flow of exhaust gas is described in another pages (3. Calculation of Heat Content of Exhaust Gas).

---

(16) Heat Loss at Furnace Body,  $Q_{16} = Q_{16a} + Q_{16b} + Q_{16c}$   
 $Q_{16}$  (kcal/t-output)

(a) Heat Loss at Roof,  $Q_{16a}$  (kcal/t-output)  
 $Q_{16a} = T \times (q_{16aR} + q_{16aC}) \times A/t$   
 $q_{16aR} = 4.88 \times r \times [(T_0/100)^4 - (T_a/100)^4]$   
 $q_{16aC} = p \times (t_0 - t_a)^{1.25}$   
 $q_{16aR}$ : Radiation heat loss at roof (kcal/m<sup>2</sup>, hr)  
 $q_{16aC}$ : Convection heat loss at roof (kcal/m<sup>2</sup>, hr)  
 $T$ : Power-on to power-off time (hr)  
 $A$ : Surface area of roof (m<sup>2</sup>)  
 $t$ : Output (ton)  
 $r$ : Degree of blackness on furnace surface due to radiation (0.8)  
 $T_0$ : Surface temperature of roof (°C)  
 $T_a$ : Indoor temperature (°C)  
 $p$ : 2.8 for horizontal wall facing upward, roof  
 2.2 for vertical wall facing sideways, shell  
 1.5 for horizontal wall facing downward, bottom  
 Note: Degree of blackness of 0.8 is based on "Heat Calculating Figures for Iron and Steel Making (1966)" by the Japan and Steel Association,

Society  
 of Japan Academic Development).

(b) Heat Loss at Shell,  $Q_{16b}$  (kcal/t-output)

Same as (a)

(c) Heat Loss at Bottom,  $Q_{16c}$  (kcal/t-output)

Same as (a)

---

(17) Other Heat Loss,  $Q_{17} = Q_{heat\ Input} - (Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16})$   
 $Q_{17}$  (kcal/t-output)

---



### 3 参考数値

#### 3-1 熱含量 (鉄、鋼、スラグ)

Temperature (°C)	Pig iron	Pure iron	Mild steel	Unit: kcal/kg						
				0.23 % C	0.4 % C	0.8 % C	1.2 % C	18 Cr - 8 Ni	13 Cr	Slag *
0	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
50	-	-	-	5.6	5.6	5.4	5.4	5.9	5.2	-
100	-	11.0	-	11.4	11.4	11.2	11.2	12.0	10.8	19.1
150	-	-	-	17.4	17.4	17.4	17.4	18.3	16.8	-
200	-	23.0	-	23.6	23.5	23.8	23.9	24.7	23.0	39.9
250	-	-	-	30.0	29.8	30.3	30.4	31.1	29.3	-
300	-	35.0	-	36.6	36.4	37.1	37.1	37.7	35.9	60.0
350	-	-	-	43.5	43.2	44.1	44.0	44.3	42.8	-
400	-	49.0	-	50.6	50.2	51.3	51.1	51.1	50.0	81.0
450	-	-	-	58.1	57.5	58.8	58.8	58.1	57.6	-
500	-	64.0	-	66.0	65.3	66.8	66.1	65.2	65.8	104.9
550	-	-	-	74.4	73.5	75.1	74.0	72.7	74.4	-
600	-	82.0	-	83.3	82.0	83.6	82.3	80.5	83.8	129.0
650	-	-	-	92.7	90.7	92.3	91.2	88.0	93.5	-
700	-	102.0	-	102.8	99.9	101.5	101.0	95.5	104.0	151.9
750	-	-	-	119.9	118.8	126.8	125.9	102.9	114.8	-
800	-	125.0	-	131.3	126.2	133.6	133.7	110.6	123.0	177.0
850	-	-	-	140.1	132.3	141.5	141.5	118.3	132.6	-
900	-	145.7	-	147.8	138.8	148.9	148.9	126.0	140.6	201.8
950	-	-	-	155.6	146.3	156.3	156.4	133.8	148.4	-
1000	-	163.0	-	163.3	153.7	163.9	163.8	141.5	156.1	227.9
1050	-	-	-	171.1	161.3	171.5	171.5	149.3	163.9	-
1100	-	178.0	-	178.8	168.8	179.3	179.1	157.2	171.7	254.8
1150	-	-	-	186.7	176.5	187.2	186.9	165.2	179.5	-
1200	264.9	194.0	-	194.6	184.3	195.2	194.7	173.2	187.2	286.9
1250	-	-	-	202.7	192.3	203.3	202.7	181.3	195.0	-
1300	280.9	209.0	-	210.9	200.5	211.4	210.7	189.4	202.8	321.7
1350	-	-	-	(219.2)	(208.9)	(219.5)	(218.7)	(197.5)	(210.6)	-
1400	301.9	231.0	-	(227.5)	(217.5)	(227.5)	(226.7)	(205.6)	(218.4)	365.7
1450	-	-	-	(236.1)	(226.3)	(235.6)	(234.7)	(213.6)	(226.2)	-
1500	322.0	247.9	(311.0)	-	-	-	-	-	-	406.8
1550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	431.6
1600	343.0	331.0	332.0	-	-	-	-	-	-	459.8
1650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	489.6
1700	364.0	349.9	353.0	-	-	-	-	-	-	519.7

\* Basic slag of steelmaking process; CaO = 43.55 %, SiO<sub>2</sub> = 34.22 %, FeO = 10.27 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3.68 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4.68 %, MgO = 11.84 % and MnO = 6.60 %

### 3-2 反応熱

Unit: kcal/kg

	Item	Reaction Heat	Reaction
Oxidation Heat	Graphite carbon	7,829 (Graphite carbon)	$C + O_2 = CO_2$
	Graphite carbon	2,200 (Graphite carbon)	$C + 1/2 O_2 = CO$
	C	8,075 (C)	$C + O_2 = CO_2$
	C	2,448 (C)	$C + 1/2 O_2 = CO$
	Si	7,459 (Si)	$Si + O_2 = SiO_2$
	Mn	1,674 (Mn)	$Mn + 1/2 O_2 = MnO$
	P	5,811 (P)	$P + 5/4 O_2 = 1/2 P_2O_5$
	Cr	2,620 (Cr)	$Cr + 3/4 O_2 = 1/2 Cr_2O_3$
	Al	7,419 (Al)	$Al + 3/4 O_2 = 1/2 Al_2O_3$
	Fe	1,151 (Fe)	$Fe + 1/2 O_2 = FeO$
	Fe	1,756 (Fe)	$Fe + 3/4 O_2 = 1/2 Fe_2O_3$
Formation Heat	Slag	502 (SiO <sub>2</sub> )	$2 CaO + SiO_2 = CaSiO_4$
	Slag	1,070 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	$3 CaO + P_2O_5 = Ca_3P_2O_7$
Decomposition Heat	Iron ore	896 (FeO)	$FeO = Fe + 1/2 O_2$
	Iron ore	1,228 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	$Fe_2O_3 = 2 Fe + 3/2 O_2$
	Lime stone	757 (CaO)	$CaCO_3 = CaO + CO_2$

#### 4 排ガスの熱含量計算式

##### (1) 排ガスの流速、流量、組成の測定

JIS Z 8808-7 (排ガス中のダスト濃度測定方法、7. 排ガスの流速、及び流量の測定) に基づき、C/C (燃焼塔) 出側で排ガスの流速、流量を連続に測定し、ガス組成は、C/C 出側および入り側で連続に測定する。

##### (2) 排ガス熱含量の計算

C/C 入り側のガス流量は、C/C 入り側でのガス組成から C/C 出側でのガス組成の変化と C/C 出側でのガス流量により、マスバランスによりを求める。C/C 入り側での排ガスの計算には JIS G 0703 (アーク炉の熱勘定方式) の比熱を参照する。

$$g_0 = \frac{[44 \times CO_{2OUT} + 32 \times O_{2OUT} + 28 \times (100 - CO_{2OUT} - O_{2OUT})] \times (1 - H / 100) + 18 \times H}{(22.4 \times 100)} \quad (\text{kg/Nm}^3) \quad \text{----- (1)}$$

$$g = \{g_0 \times 273 / (273 + T_{OUT})\} \times \{(P_{Atm} \times 100 / 9.81 + SP_{OUT}) / (13.6 \times 760)\} \quad (\text{kg/m}^3) \text{ ----}$$

----- (2)

$$V = 0.854 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times DP_{OUT} / g} \quad (\text{m/s}) \text{ ----- (3)}$$

$$F_{OUT} = V \times \rho \times (1840 / 2000)^2 \times 60 \times \{273 / (273 + T_{OUT})\} \times (P_{Atm} \times 100 / 9.81 + SP_{OUT}) / (13.6 \times 760) \quad (\text{Nm}^3/\text{min}) \text{ ----- (4)}$$

$$F_{IN} = F_{OUT} \times (CO_{IN} + CO_{2IN}) / (CO_{OUT} + CO_{2OUT}) \quad (\text{Nm}^3/\text{min}) \text{ ----- (5)}$$

$$q_{IN} = F_{IN} \times T_{IN} \times \{q_{CO} \times CO_{IN} + q_{CO_2} \times CO_{2IN} + q_{O_2} \times O_{2IN} + q_{N_2} \times (100 - CO_{IN} - CO_{2IN} - O_{2IN})\} / (4.186 \times 100)$$

$$q_{CO} = 0.00013 T \times T_{IN} + 1.28 \quad (\text{kJ} / \text{Nm}^3\text{C})$$

$$q_{CO_2} = 0.000397 T \times T_{IN} + 1.826 \quad (\text{kJ} / \text{Nm}^3\text{C})$$

$$q_{O_2} = 0.000148 T \times T_{IN} + 1.33 \quad (\text{kJ} / \text{Nm}^3\text{C})$$

$$q_{N_2} = 0.000128 T \times T_{IN} + 1.271 \quad (\text{kJ} / \text{Nm}^3\text{C}) \quad (\text{kcal/min}) \text{ ----- (6)}$$

ここで;

$g_0$ : Gas density at 0°C and 1 atm. pressure. (kg/Nm<sup>3</sup>)

$g$ : Gas density at actual state. (kg/m<sup>3</sup>)

$V$ : Gas velocity at actual state. (m/s)

Note: Measurement was done using Pitot's tube, of which coefficient was 0.845.

$F_{OUT}$ : Gas flow rate at C/C-outlet. (Nm<sup>3</sup>/min)

Note: Duct diameter is 1840 mm.

$F_{IN}$ : Estimated gas flow rate at C/C-inlet. (Nm<sup>3</sup>/min)

$q_{IN}$ : Estimated gas heat content at C/C-inlet. (kcal/min)

$DP_{OUT}$ : Gas dynamic pressure at C/C-outlet. (mmAq)

$SP_{OUT}$ : Gas static pressure at C/C-outlet. (mmAq)

$P_{Atm}$ : Atmospheric pressure. (hPa)

$T_{OUT}$ : Gas temperature at C/C-outlet. (°C)

$CO_{OUT}$ : CO content of exhaust gas at C/C-outlet. (%)

$CO_{2OUT}$ : CO<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-outlet. (%)

$O_{2OUT}$ : O<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-outlet. (%)

$N_{2OUT}$ : N<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-outlet. (%)

$T_{IN}$ : Gas temperature at C.C. outlet. (°C)

**CO<sub>IN</sub>:** CO content of exhaust gas at C/C-inlet. (%)

**CO<sub>2IN</sub>:** CO<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-inlet. (%)

**O<sub>2IN</sub>:** O<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-inlet. (%)

**N<sub>2IN</sub>:** N<sub>2</sub> content of exhaust gas at C/C-inlet. (%)

**p:** Pi, 3.14

**H:** Moisture (%)

## Annex-5: 省エネルギー活動の日本での例

### 1. 始めに

省エネルギー活動は エネルギー管理の集約したもの1つであって、これを達成するには 組織的な努力が必要である。

即ち、全従業員（マネージャー、スタッフ、ワーカー）にその心構えが求められる。

その基本は；

- 1) 設備には十分なメンテナンスがなされ、初期の機能を発揮するようになっていること。  
(現状確保)
- 2) 更に設備が向上し、より高い生産性を示すように常に改造されてゆくこと。  
(現状打破)

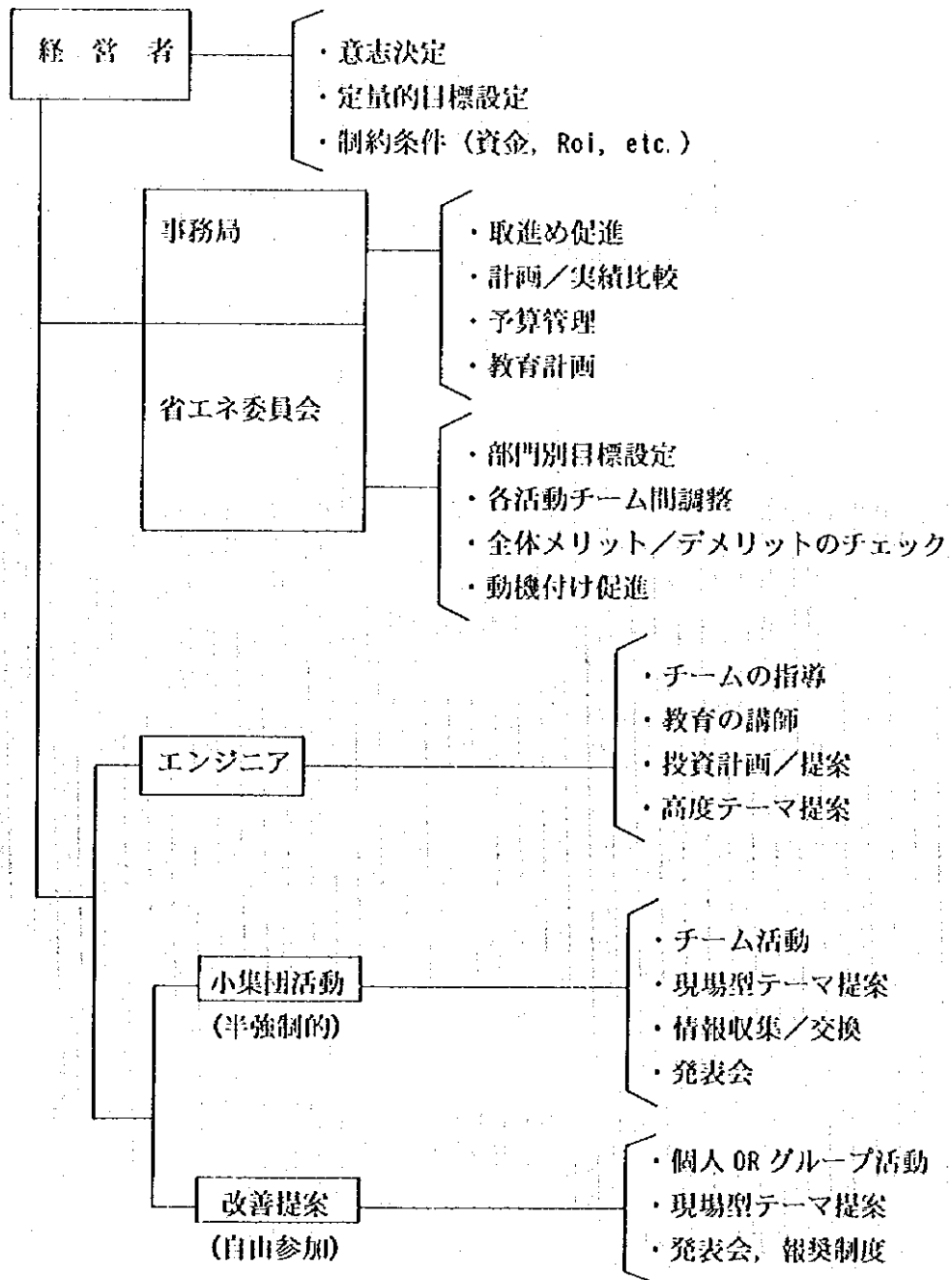
これを達成するためには、以下の項目が必要である；

- (a) 全従業員の省エネルギーに対するマインド。(モラル)
- (b) 調査、データ収集、実験等により設備の長所、弱点等を見つける。(現状把握)
- (c) 文献、書籍、実例等からの改良ヒント。(知識)

上記(a)を推進するための取進め例を以下に示す。

一見した所、大げさな取進めに見えるかも知れないが、これは必ずや将来に於いて報いられるものである。

## 2. 省エネルギー活動の体制と役目



注)これらの活動は PDCA\*サイクルによってサポートされ、更により高いレベルへと向上してゆく。

\*PDCA=Plan-Do-Check-Action

### 3. 小集団活動及び改善提案・報奨制度

#### 1) 小集団活動（半強制的）

- ・対象クラス：ワーカークラス
- ・組織：中央事務局／支部事務局／小集団チーム
- ・年間スケジュール：1年間スケジュール化(含む発表会, 表彰式)
- ・報奨金

・特別賞	： 50,000 円／チーム
・A 賞	： 40,000 円／チーム
・B 賞	： 20,000 円／チーム
・C 賞	： 10,000 円／チーム
・D 賞	： 8,000 円／チーム
・参加賞	： 記念品

- ・活動時間：勤務時間内
- ・活動範囲：テーマ選定から解決策の提案まで

#### 2) 改善提案報奨制度（自由参加）

- ・対象クラス：全従業員(個人又はグループ)
- ・組織：事務局／指導員／相談員
- ・年間スケジュール：発表会, 表彰式が年に1回
- ・報奨金と蓄積点：

	(奨励金)	(蓄積点)
・グランド賞	： 10,000 円	100
・金賞	： 5,000 円	50
・銀賞	： 3,000 円	30
・銅賞	： 1,000 円	10
・奨励賞	： 500 円	5
・参加賞	： 100 円	1

蓄積点の高取得者は、例えば、1000点, 3000点, etc. で再び報奨される。

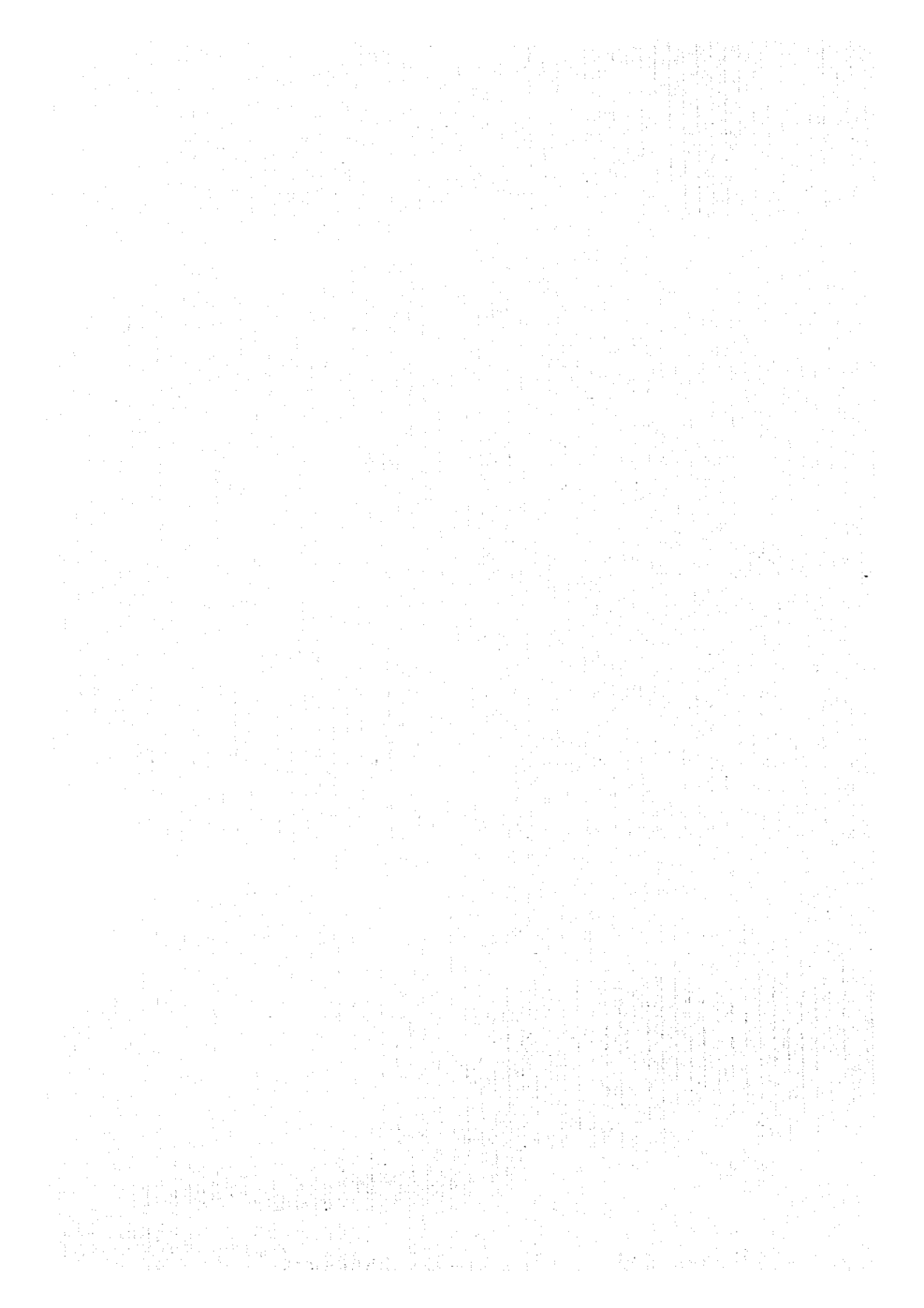
4. 活動実績の例

	1. ワーカー	2. エンジニア
<ul style="list-style-type: none"> <li>・回転機 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インベラカット, プーリー変更, 極数変更</li> <li>・ポンプ数変更, ポンプサイズ変更</li> <li>・自圧移送</li> <li>・バルブ/ダンパ制御</li> <li>・フライホイール取付</li> <li>・水銀灯電圧低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・VVVF 取付</li> <li>・水カタービン/膨張タービン/減圧タービンによるエネルギー回収               <ul style="list-style-type: none"> <li>・駆動源変更(電力→スチーム)</li> </ul> </li> <li>・サーモコンプレッサーによるエネルギー回収</li> <li>・直流電源変更(発動機→SCR)</li> <li>・変圧器数変更</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・T/O</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・排熱利用による加熱</li> <li>・ドロマイトによる開口部閉鎖</li> <li>・予熱バターン, 時間改良</li> </ul>	



	1. ワーカー	2. エンジニア
<ul style="list-style-type: none"> <li>・再加熱炉</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・加熱パターン変更, 加熱時間減少</li> <li>・断熱強化</li> <li>・燃料ガス制御, 空燃比制御</li> <li>・装入パターン変更(並行→千鳥)</li> <li>・ウォーキングビームストロークピッチ変更</li> <li>・ドア2重化</li> <li>・予熱炉廃止</li> <li>・移送時間減少, ホットチャージ比率UP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水冷装入方法(NKK法)</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;">       等価目標 (鋼1トン当たり)       <ul style="list-style-type: none"> <li>・電力/燃料油=2.4kwh/l. 油</li> <li>・電力/酸素=6.0kwh/NM<sup>3</sup>. O<sub>2</sub></li> <li>・電力/SPH=15.0kwh/100°Cup</li> </ul> </div>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・EAF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・溶落作業廃止による tap 時間減少</li> <li>・酸素吹込み作業廃止による tap 時間減少</li> <li>・砂ガスケットによる放熱ロス防止</li> <li>・乾燥スクラップ装入(前日スクラップ)</li> <li>・ " (EAF 残熱利用)</li> <li>・大型バケット使用による開口回数減少</li> <li>・排ガスダクトのダンパ制御</li> <li>・ドロマイトによる出鋼口閉止で空気もれ減少</li> <li>・移送ナベにカバー取付</li> <li>・電極の水冷やめ</li> <li>・スクラップ混合方法変更(高密度減少)</li> <li>・電極スリーブ, 出滓口, 出鋼口ドアのドロマイト閉</li> <li>・ etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塩基性→酸性雰囲気運転</li> <li>・シングルストラグ法</li> <li>・中間分析の廃止</li> <li>・デジタルロードセルの使用</li> <li>・2炉/1電源法による残熱利用</li> <li>・電極深さの自動測定(断熱材長寿命化)</li> <li>・カーボン吹込みによるフォーミング</li> <li>・自動運転</li> <li>・ボストコンパクション</li> <li>・コーナー部にジエレットバーナー取付け</li> <li>・ AC→DC 化</li> <li>・ etc.</li> </ul>

## 第 13 章 結論と提言の総括



## 第 13 章 結論と提言の総括

### 13-1 法律と規則、行政組織

#### 13-1-1 組織と機構

##### (1) 問題点

###### 1) 効率

現状の省エネルギー行政が一組織に集中しているのは、政府および民間機関との調整を考えると、望ましい事である。省エネルギー推進のためには省庁間の調整を効率良く進めなければならない。

###### 2) 必要措置

省エネルギー推進プログラムのため政府が追加予算を獲得するのは容易ではない。省エネルギー推進のためのファンドを作るため、既設システムの拡張または新規の資金源の創設が必要である。

###### 3) 計画

省エネルギー計画のうち、省エネルギー規則の施行、エネルギーAudit、エネルギーバスプログラム、資料の出版等が実施された。数値目標、戦略、予算等のプログラムを策定する必要がある。

##### (2) 提言

###### 1) 効率

工業セクターでは工業省および KOSGEB が情報源へのアクセス、新技術の採用、トレーニング等を行うことができる。工業分野で省エネルギーを能率良く、効果的に推進し、かつ ECCB の省エネルギー活動への認識を高めるためには EIE と NECC 間の調整、工業省と KOSGEB との調整が必要である。

###### 2) 必要措置

政府の指導力と積極的な参加が政府の省エネルギー活動の成功の鍵である。トルコの場合は輸入エネルギー資源への依存度が高く、政府の強力な指導が期待される。

###### 3) 計画

包括的省エネルギーマスタープランの策定が必要である。マスタープランは目的、戦略、予算、

実施計画を明確に示す必要がある。

### 13-1-2 省エネルギー法と規則

#### (1) 問題点

省エネルギー推進のためには省エネルギー対策の基本法が必要である。現在施行されている規則は製造業全体を対象としていない。また他のセクターも対象とならない。

#### (2) 提言

1. 現在の規則の適用範囲を年間エネルギー消費量が 500 TOE までの工場へ拡張する。ただしこの規則による義務はエネルギーの年間消費量の報告に止めるべきである。
2. 製造業を対象とする省エネルギー法を策定する。政府、政府系機関、エネルギー供給者、エネルギー関連機器製造業者、エネルギー消費者がそれぞれの立場で協力して省エネルギーを推進する必要がある。さらに、政府は省エネルギーを推進する立場を明確にする必要がある。そのため、省エネルギー対策の法的根拠として法律が必要である。

### 13-1-3 ガイドラインの作成

#### (1) 問題点

規則の第 6 項に箇条書きに示した省エネルギー推進に関する各種標準値、すなわちガイドラインを作成する。ガイドラインはあくまで参考値であり、強制力を持つてはならない。

ガイドラインは工場のスタッフが省エネルギー計画の立案の参考になる、また工場の管理者がエネルギー利用の無駄を除くことに役立つ。ガイドラインはそのケースに最適な解決法の選定の参考になる。

#### (2) 提言

IEE は下記のガイドラインの作成に指導的役割を果たすべきである。

1. 加熱炉の燃焼用空気の導入を減少し、排ガス中の過剰酸素を減少させる。
2. 廃熱回収設備の効率向上のため、この種設備の廃熱回収率を標準値に近づける。
3. 保温その他の措置により、設備表面からの輻射、対流、伝導による熱ロスを防止する。
4. Combined heat and power generation の運転は熱の動力への変換、動力の熱への変換の効率を高めるように運転する。
5. 抵抗等による電力のロスを防止し、Turkish Standard Institute その他の専門家の助

言を得て受電側の力率を高く保維持する。  
これらガイドラインは 10 年毎に定期的見直しをし、技術や環境の変化に適応するよう改定すべきである。

#### 13-1-4 特典、優遇措置 - 税とローン

##### (1) 問題点

中小製造業は省エネルギー機器の投資資金の不足に苦慮している。政府は助成プログラムを早急に立てる必要がある。

##### (2) 提言

現行の税の減免措置、低金利ローン、ローン保証等のシステムの周知徹底を図る必要がある。これら制度をまとめ、さらにエネルギー-Audit とトレーニングを組み合わせてパッケージとするのが望ましい。

#### 13-1-5 エネルギー管理工場

##### (1) 問題点

個々の中小製造業のエネルギー消費量は概して少なく、エネルギー規則の適用範囲外となる。中小エネルギー消費者の消費動向、省エネルギー対策動向を正確に把握する必要がある。

##### (2) 提言

現行規則の範囲を 500 TOE まで消費する機関にまで拡張し、規則が製造業のエネルギー消費の90パーセントまでカバーするように変更すべきである。同時に、MEMR がこのようにして集められた情報の分析と工業分野の政策策定に活用する能力を持つ必要がある。

#### 13-1-6 エネルギー管理者の資格

##### (1) 問題点

エネルギー管理者の資格は社会的に認知される必要がある。現在、エネルギー管理工場のなかには有資格者を有していないところもある。規則では3年以内に総てのエネルギー管理工場はエネルギー管理者をおかねばならない。

##### (2) 提言

1. EIE その他の機関で実施中のエネルギー管理者コースをさらに推進し拡大し、エネルギー管理者候補の工場要員を訓練する。

2. 3年後を目指してエネルギー管理者の配備を促進する。エネルギー管理者の資格は政府が認定することが望ましい。方法としては、省エネルギーに数年間の実務経験を有する技術系の学校卒業生、工場技術者にエネルギー管理者の資格を与える。
3. エネルギー管理有資格者はエネルギー管理者に任命された後登録し、EIE は彼等にエネルギー管理に関する工場調査の情報、海外の情報を提供する。また、特別な技術教育も施す。彼等はエネルギー管理工場とならない中小工場へコンサルタントとして Audit を実施することも可能である。

### 13-1-7 省エネルギー訓練センター

#### (1) 問題点

中小製造業の経営者、技術者は省エネルギーに関する最新技術の教育訓練を受ける機会に恵まれない。

#### (2) 提言

EIE/NECC を強化する。モデルプラントとエネルギーデータベースを有するトレーニングセンターを持ち、中小製造業の技術者へ実際的な省エネトレーニングを行う。

EIE はトレーニングセンター活動を通じ、技術者のエネルギーの効率的使用と省エネルギーへの認識を高めることができる。EIE は効果を早急に期待できる製造業を対象に、この活動を開始すべきである。さらに交通、生活等のセクターへも活動を拡張する。このようにして、この活動を全国的に展開する。

### 13-1-8 EIE/NECC の組織と職務

#### (1) 問題点

EIE と NECC の Industrial Energy Conservation Division は製造業に対する省エネルギー促進の支柱である。EIE は NECC 組織の中に新しい部や課を創ることができる。EIE/NECC の権限は弱い、また工場を持っていないことは技術的な弱点であり、情報の蓄積にも限界がある。省エネルギーを実際に行うのは民間工場であり、民間工場は情報の開示と外部の干渉を嫌う。

#### (2) 提言

このようなハンディキャップはあるが、NECC は省エネルギー活動を推進すべきである。職員の責任を明確にし、より大きな権限を与えることも一案である。

行政機関としての EIE/NECC の役割を検討する必要がある。一つには監督機関としての強化

が必要である。また、省エネルギー活動、教育、コンサルティング等をさらに促進すべきである。その過程で、海外からの協力を受け入れることも可能である。

### 13-1-9 EIE/NECC の活動、エネルギーAudit

#### (1) 問題点

中小工場は勿論、大規模工場でも分析技術、技術者、測定機器を十分持っていない。EIE は組織内外の人的資源を活用し、増加する Audit の要望に対応すべきである。エネルギーAudit の予算も増額すべきである。1994 年から 1995 年にかけては緊縮財政措置のため エネルギーAudit は一回しか実施できなかった。

#### (2) 提言

1. 規則でエネルギー管理対象工場に指定されていない中小工場に対しては、より簡単なエネルギーAudit を実施する。中小工場に対しては省エネルギーへの関心を喚起するだけでも十分な効果である。対象工場の選定は KOSGEB の協力により選定すべきである。
2. 特に大きなエネルギー管理工場の audit は正確かつ高度な診断になり、多大なコストと人的資源が必要である。外国から専門家を招聘する必要もあり得る。このような場合は Audit を有料にすることを検討すべきである。指定工場は必ずエネルギーAudit を実施し、省エネルギーポテンシャルとそれによる経済効果を把握すべきである。

### 13-1-10 技術情報の配布 EIE/NECC

#### (1) 問題点

現在省エネルギーに関する情報が工場経営者、技術者に届いていない。彼等に最新技術情報を提供することにより、工場の技術水準を高め、省エネルギー活動を喚起することができる。

#### (2) 提言

1. EIE/NECC が行っているコンサルタントサービスを今後も継続し、さらに強化する。また、中小製造業も対象に含める。このためには全国的なネットワークを持つ KOSGEB の協力を得る必要がある。
2. ポケットブック'Energy Conservation Reference Book'を作成配付する。その内容は熱と電気の管理に関する規則、統計、標準値、技術データを含む。これにより、工場のスタッフが省エネルギーに必要な情報を入手できる。



### 13-1-11 エネルギーデータベースの作成、EIE/NECC

#### (1) 問題点

製造業のエネルギー消費の実態をセクター、サブセクター毎に正確に把握する。情報収集のチャンネルを確立せねばならない。また、正確な情報源としての信頼を確立する必要がある。

#### (2) 提言

1. 情報配付のルートを確立する。例えば EIE's Industrial Data Base Evaluation Book との名称で配付する。

工場に省エネルギーの技術情報を効果的に配布するためには関連技術の現状と将来予測、および技術の活用を進めるシステムが必要である。

2. 中小製造業の情報収集システムが必要である。そのためには規則適用範囲を中小製造業まで拡大し、彼等の年間消費量を入手する。EIE の活動範囲を拡大し、海外諸機関との協力関係を作り、海外の省エネルギー技術情報の入手も行う。入手情報を公開する。
3. パソコン通信によるデータの供給、配付システムを造る。

### 13-1-12 省エネルギーセミナー、EIE/NECC

#### (1) 問題点

中小製造業は技術者も技術の入手も十分ではない。工場経営者、工場スタッフ共採算意識はあるが省エネルギーの重要性を十分認識していない。

#### (2) 提言

工場の省エネルギーの成功例のセミナーを行う。省エネルギー指定工場になっていない中小工場の経営者と技術者への教育を行う。工場の省エネルギーの成功例を出版することも技術者に省エネルギーの重要性を認識させるために有益である。KOSGEB と共同でセミナーを開催することが望ましい。競争力を高めるための中小製造業へのコンサルティングサービスは KOSGEB の Consulting and Quality Improvement Centers 業務である。EIE が省エネルギーの専門家を提供し、KOSGEB が各センターにあるセミナー会場を提供してセミナーを行うのが望ましい。

## 13-2 工場の Audit

### 13-2-1 洗剤、食用油工場、Henkel-Turyag

調査団は結論として下記提言を行う。

#### (1) ボイラーの熱収支の改善

工場ではリグナイトの消費量を直接測定し、ボイラーの熱効率を連続的にコントロールすべきである。

#### (2) スチーム消費量と発電量の不釣り合いの是正

工場では蒸気が過剰に有るにもかかわらず、自家発電量が不足している。スチームの消費量を増加し、電気の消費量を減少する措置を取るべきである。そのため、下記措置を提言する。

1. 大型モーターを数台スチームタービンに取り替える。
2. タービン排気の低圧スチームのコンデンサーを設置する。
3. ボイラーのFDF用タービンにコンデンサーを設置する。
4. Air Heater 用燃焼空気を予熱するため、低圧スチームを用いた予熱器を設置する。

#### (3) Spray Dryer と Air Heater の熱収支の改善

下記措置による上記設備の熱収支を改善する。

1. Spray Dryer の穴をふさいで空気の侵入を防ぐ。
2. 粉末洗剤の湿分と最高温度との関係をつかむ。
3. 入口と出口のガス温度をコントロールする。

#### (4) Sulfonation Process の熱収支の改善

熱交換器が5基あり、SO<sub>3</sub>コンバータ周辺でSO<sub>2</sub>またはSO<sub>3</sub>ガスによる腐食がある。熱交換器のうちボイラー用水予熱器は腐食が激しいため現在使用されていない。SO<sub>2</sub>またはSO<sub>3</sub>ガスを処理する場合熱交換器の材質の選定には注意を要する。通常次の材質が選定される。

Shell and tube type:	Shell 側	Carbon steel
	Tube 側	SUS 316
Plate type:		SUS 304

このプロセスで熱収支を改善するためには、冷却用空気からの熱回収をすることが重要である。その方法は現在使用されていないボイラー用水予熱器(12 E8)を再度設置する。機器仕様は

材質以外は以前使用していた 12 E8 の仕様と同じでよい。

#### (5) コンデンセイト回収設備の改善

コンデンセイト回収の改善のため下記対策を提言する。

1. スチーム/コンデンセイトシステムをパイプ洗浄システムから分離する。
2. ブロックバルブとブリードバルブをパイプ洗浄システムに設置する。
3. スチームコンデンセイトシステムのドレインポットを設置する。
4. パイプ洗浄システムの作業基準を作成する。これを教育と訓練によってオペレーターに周知徹底する。
5. バルブに色彩管理を導入し、開閉に特別注意を要するものは印を付ける。

#### (6) スチームトラップシステムの熱ロス防止

この工場には 500 個のスチームトラップがあり、なかには漏洩、スチームが吹いているものもある。定期補修によりチェック、保守、取り替え等が必要である。

#### (7) 保温システムの熱ロス防止

パイプからの熱ロスは無視できない。バルブやフランジの保温が必要である。

#### (8) 電力消費の低減

工場は受電用トランスを 6 基と 992 個のモーターを有している。トランスとモーターの消費電力節約が必要であり、No. 1、No. 3、No. 6 トランスの統合とインバーターコントロールの導入を検討すべきである。

### 13-2-2 レンガ工場、Dev Blok

#### (1) 原料と成形

原料の選択は生産性に影響し、生産性は熱効率に影響する。エネルギーの有効利用の観点から、原料の選択は生産性向上の第一歩である。原料は慎重に選択し、慎重にブレンドする必要がある。Black clay の調合量は慎重に決定する。Black clay はキルンの中で 573 度近辺でヒートショックを起こす可能性がある。

#### (2) 乾燥

乾燥能力増強のため一系列を増加する。

### (3) トンネルキルンの熱収支の増強

調査団はトンネルキルンにダブルドアを設置し、熱効率と生産性を向上することを提言する。工場は独自にエネルギー収支を計算することを計画しているので、そのために必要な計測器、即ち表面温度計とガス分析器を常備すべきである。

### (4) 石炭

石炭粉砕機にサイクロンセパレーターを設置しサイズの大きい石炭粒子を分離除去する。

### (5) Electricity

電力消費節減のための系統的なチェックシステムを始めるべきである。問題点とその対処方法を下記する。

問題点	設備	対策
1 小改造	モーター	ボールの変更
	ポンプ	インペラーのサイズ縮小
2 モデルの変更	モーター	小規模のものに変更
	ポンプ	小規模のものに変更
3 回転数の変更	ブリーとギア	減速比の変更
	モーター	ボールの変更
		インバーターコントロールの採用
4 エネルギー回収	タービン	Generator/pump の設置

### 13-2-3 繊維工場、IBF

IBF はイズミールの近郊に新工場の建設を計画している。この計画では石炭の代わりに天然ガスが使用される。現在の open width bleaching range、mercerizing、Max Goller washing range は新工場に移設する。現在のユーティリティ、燃料系統は廃棄される。この背景で新工場には次の提言をする。

#### (1) 新工場

##### 1) CHP システム

スチームの使用効率を高めるため CHP システムの設置を検討する。

##### 2) パッケージボイラーシステム

CHP システムの代案として完全自動制御のパッケージボイラーシステムを検討する。

### 3) 直接加熱システム

仕上げ工程の加熱に hot oil system の代わりに直接加熱システムを使用する。燃料には天然ガスを使用する。

### 4) エネルギー管理システムの設立

測定機器をコンピューターに接続させたコンピューターコントロール管理システムを導入する。

## (2) 既存工場

### 1) Open Width Bleaching Range からの排水の熱回収

高温排水に伴って排出される熱は出熱の 77.2 パーセントに達し、次の対策を提言する。

1. 製品品質の許容する限度において、基本的に冷却水の使用量削減と標準運転温度の低下を試みる。
2. 水供給システムを改善する。高温水貯槽の設置、熱水冷水の供給システムの自動化等を行う。
3. 既設廃水回収設備と平行に廃熱回収設備を設置する。
4. 高温槽へのスチーム供給を自動化する。

### 2) Max Goller Washing Range への提言

Max Goller Washing Range はまだ新しく、完全に自動化している。スチーム流量の測定と排水からの熱回収を行う。

### 3) コンデンセイトの回収

スチームトラップからのコンデンセイト放出配管を活用し、乾燥機と Open Width Bleaching からのコンデンセイトの回収システムを設置する。

### 4) 高温のバルブとフランジの保温

Hot Oil System とスチーム供給システムの高温バルブとフランジを保温する。

### 5) エネルギー使用量を測定する計測器の設置

各ボイラーと各 hot oil heater の出口へ流量計を設置する。各機器に水、電気、スチームの流量計を設置する。

### 6) コンピューターによるメンテナンスシステム

パソコンを用いて設備の保守管理を改善する。

## 7) ボイラー負荷の調整

現在ボイラー3基運転しているものを負荷が軽い時は2基運転にする。

### 13-2-4 製鉄工場、IDC

#### (1) 12-11-1 設備と運転の改善

調査団は運転と設備の改善のため下記対策を提言する。

1. 第3バケットを受入し、予熱可能にするため Scrap Preheaters (SPI)を改造する。そのため、下記設備を設置しSPIを同時に、かつ他のバケットと無関係に運転できるようにする。

第2フードおよび既存第2チェンバーへ至る第2入り口ダクトの設置

既存第2チェンバーから第2出口ダクトの設置

新設第2ダクトヘダンパーの設置

既存第1および新設第2出口ダクトヘブロー-2基新設

2. 電気炉の oxy-fuel burner の改善による  $O_2/Oil$  比の安定化
3. 電気炉への生石灰添加の標準化
4. 電気炉への冷却水流量の低下
5. 鑄造ピレットのひび割れ防止のため Reheating Furnace 入り口に高温での冷却システムを設置する。  
必要な設備はポンプ、冷却水のパイプ、スプレーノズル、制御装置等である。
6. Hot Heel の温度低下を防ぐため、できるだけ速やかに通電開始する。
7. スクラップの予熱はできるだけ長時間行い、スクラップの温度を上げる。
8. できるだけ良く焼成された生石灰を購入する。未焼成の石灰石が混入していると分解熱を必要とし、熱ロスになる。

#### (2) モラルの高揚

エネルギー消費を合理化するためには経営者、技術者、作業員各々果たすべき役割がある。本報告書の該当章に詳述した。

## 第14章 提言の社会経済評価

## 第 14 章 提言の社会経済評価

### 14-1 政策提言の評価

エネルギー消費量が 2,000 TOE 以下の中小製造業のエネルギー消費量は製造業全体の 30 パーセント以下である。本計画調査が提言するように、このボーダーラインを消費量が 500 TOE 以下とすると、中小製造業のエネルギー消費量はさらに少なくなる。一方中小工場の数は非常に多い。従って、中小製造工場に対する省エネルギー対策は、労多割に省エネ効果が低い。政府に多大の努力、時間、労力、費用を求めるわりに、全エネルギー消費に対する省エネルギー効果は低くならざるをえない。

政府の限られた行政資源を、コスト効果の悪い中小製造業に注ぐべきか、より重要なセクターでの省エネルギーが殆ど達成されるまで、中小製造業への対策を延期すべきかが問題である。

調査団として、第 7 章に示した政策提言をする以上、この問題を無視できない。調査団の提言はいずれも大規模なものではない。中小製造業の省エネルギー対策が全エネルギー消費節減に対する貢献が少ない以上、対策は多大な労力、時間、コストを要しないものでなければならない。調査団の提言はこの点を留意して立案した。提言は期待される利便とバランスがとれるよう、下記の 10ヶ条の原則にしたがった。特に、コストのかからない提言をするように留意した。コストのかからない政策という原則が満たされれば、効率の悪い政策提言も許容されると考える。

### 提言の原則

中小製造業に対する提言は下記原則に基づく。提言は下記を志向する。

1. 環境保全に貢献する方法にて製造業セクターのエネルギー利用合理化を推進する。
2. 製造業、行政にかかわる人々にエネルギー利用合理化推進の重要性を認識させる。
3. 関係機関の責任を明確にし、かつ必要な権限を付与するよう行政機構を改善する。
4. 製造業、特に中小製造業の情報収集と処理のために有効な組織を整え、政府が適切な省エネルギー政策を推進することに寄与する。
5. 官民から適切な人材を選び、エネルギー有効利用の推進に必要な能力を涵養する。
6. 中小製造業でエネルギー利用合理化を促進するため、効果的かつ使用し易い一連の特典と融資制度を整える。