

10.7 電力管理

10.7.1 測定目的

工場全体、各プロセス、各ライン、各電気設備における電力使用状況がどのような状況にあるかを把握する。

10.7.2 測定方法 (Figure 10.7.1 参照)

測定時間：分、時間、日、月単位

Figure 10.7.1 電力管理の測定点

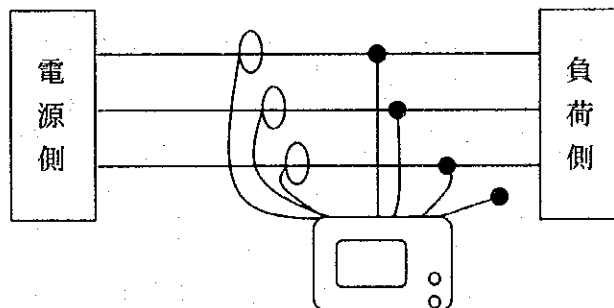


Table 10.7.1 測定項目と計測器

	測定項目	計測器
①	電力量	クランプメータ
②	電力	クランプメータ
③	電圧	クランプメータ
④	電流	クランプメータ
⑤	力率	クランプメータ

10.7.3 診断方法

(1) 負荷率の把握

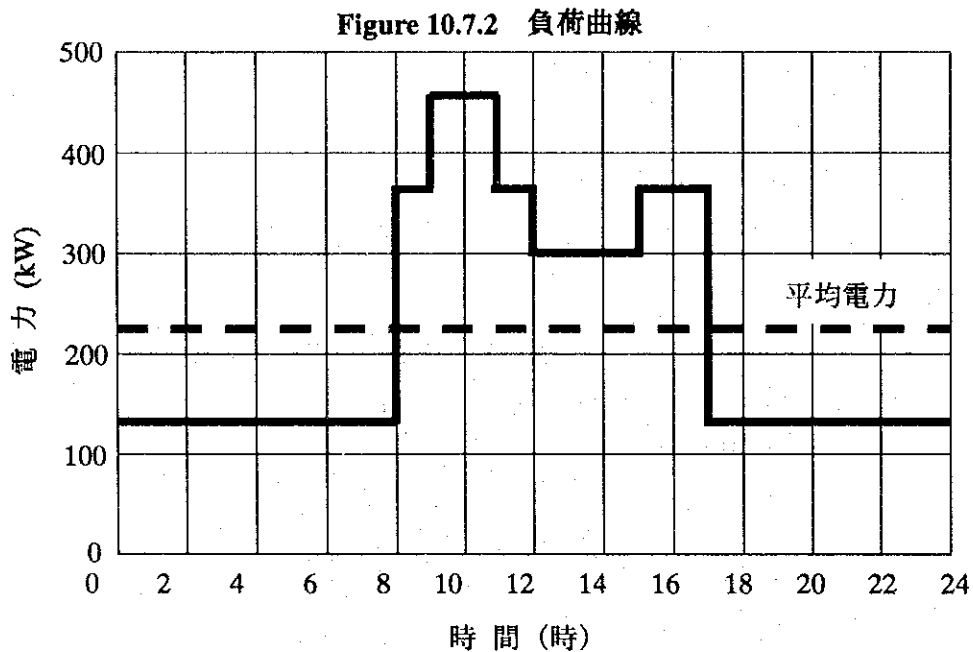
測定データをもとに次式を用いて負荷率を算出する。また、Figure 10.7.2のような負荷曲線を作成する。

これらをもとに負荷率を向上させるために必要な最大電力を低下させる方法や平均的に電力が使用される方法を検討する。

$$\text{負荷率} = \frac{\text{一定期間内の使用電力量(kWh)}}{\text{最大電力(kW)} \times \text{期間(日・時間)}} \times 100 [\%]$$

あるいは

$$\text{負荷率} = \frac{\text{平均電力(kW)}}{\text{最大電力(kW)}} \times 100 [\%]$$



(2) 電圧の把握

電気設備は定格電圧での使用時が最も効率が良くなるように設計されている。そのため、受電設備から末端の負荷まで配電系統各部の電圧をチェックし各設備の端子電圧を定格電圧に近づけるように調整する。

(3) 力率の把握

測定データから現在の力率を把握し、有効なコンデンサ設置方法を検討する。

(4) 電力原単位の把握

操業記録等から1か月ごとの電力原単位をまとめる。

各月ごとの変動要因を把握し、さらなる改善の余地があるかどうかを検討する。

$$\text{電力原単位} = \frac{\text{電力使用量 (kWh)}}{\text{製品(m, m}^2\text{, m}^3\text{, t, 個, etc.)}}$$

10.7.4 省エネルギー対策

電力管理の省エネルギー対策には次のようなものがある（詳細は「IV. ガイドライン」参照）。

(1) 負荷率の改善

軽負荷時への負荷移行、設備保全、負荷管理、負荷制御装置導入等。

(2) 力率の改善

進相コンデンサの導入等。

(3) 電力原単位の改善

操業記録管理、電力管理、設備保全、工程管理、品質管理等。

(4) 電力料金の低減

Check List for Electric Power Management (I)

Date _____
Surveyor _____

Factory Name _____
Electric Power Supplier _____
Electric System _____

(1) Phase _____ (2) Frequency _____ Hz (3) Receiving Voltage _____ V

<p>1 General</p> <p>(1) To be equipped with One line Diagram</p> <p>(2) Power Distribution Map</p> <p>(3) To be equipped with Main Electric Machine List</p> <p>(4) To record total power consumption every month</p> <p>(5) To examine cause of power consumption variance</p> <p>(6) Content of contract with electric supplier</p> <p>Annual change of contract</p> <p>(7) Voltage and frequency of source</p> <p>(8) Organ. of electric energy conservation</p> <p>(9) Problem to be solved in electric system (concretely)</p>	<p>Yes () No ()</p> <p>Yes () No ()</p> <p>Yes () No ()</p> <p>• from Utility service Yes () No ()</p> <p>• from Non-Utility service Yes () No () done () Not done ()</p> <p>⊙ Contract kW _____ kW</p> <p>⊙ Demand _____ kW</p> <p style="padding-left: 20px;">Actual max. kW _____ kW</p> <p>⊙ Demand Charge _____ PLN per kW</p> <p>⊙ Energy Charge _____ PLN per kW</p> <p>⊙ Contract Power Factor _____ %</p> <p style="padding-left: 20px;">Actual Power Factor _____ %</p> <p style="padding-left: 20px;">Power Factor bonus Yes () No () or penalty</p> <p>⊙ Time Zone Charge _____ %</p> <p>⊙ Seasonal Charge _____ PLN per kW</p> <p>• Discount for Load Control _____ PLN per kW</p> <p>• Others Yes () No ()</p> <p>• Voltage _____ V (Rating) range of fluctuation (~)</p> <p>• Frequency _____ (Rating) range of fluctuation (~)</p>
---	--

Check List for Electric Power Management (4)

5

- (1) Meters on a receiving panel
- equipped or not
 - Kept in good or not

	Voltage	Ampere	kW	kWh	kvar	kvarh	Hz	p. f
primary								
secondary								

- (2) Load by use

- (2)-1 Capacity

Machine	Blower	Air Com-pressor	Pump	Heater	Lighting	Air Condi.	Others	Total
kW %	kW %	kW %	kW %	kW %	kW %	kW %	kW %	kW 100.0%

- (2)-2 Actual power

Machine	Blower	Air Com-pressor	Pump	Heater	Lighting	Air Condi.	Others	Total
kW %	kW %	kW %	kW %	kW %	kW %	kW %	kW %	kW 100.0%

- (3) To measure transformer load Yes () No()
- (4) To divide transformer by use Yes () No()
- (5) To turn off transformer when off load Yes () No()

⑥ Distribution system

Name of equipment _____ Use for _____

Capac. (kVA)	No. Unit	Phase	Voltage (pry/sry)	Total loss	No load loss	load loss	Power fluct.	p. f fluct.	Operating hour/M(Y)
Test report				Yes () No()					

Check List for Electric Power Management (5)

<p>6</p> <p>(1) To measure each branch circuit load</p> <p>(2) Voltage drop of each branch circuit load</p> <p>(3) Balance in three phases</p>	<p>Yes () No ()</p> <p>Voltage in a panel : $E1 \frac{E1 - E2}{=} \times 100$ _____ %</p> <p>Voltage at end use : E2</p> <p>Voltage _____</p> <p>Current _____</p>
<p>7 Motor</p> <p>(1) To measure load of motor over 7.5 kW</p> <p>(2) To lubricate gear and motor periodically</p> <p>(3) To turn off motor when off load</p> <p>(4) To improve power factor by condenser</p>	<p>Yes () No ()</p> <p>Yes () No ()</p> <p>Yes () No ()</p> <p>Yes () No ()</p>
<p>(8) Motor driven machine</p> <p>(1) Flow control of blowers or pumps</p> <p>(2) To check leakage of air or water</p> <p>(3) To keep pressure of compressed air</p> <p>(4) To keep delivery pressure of pump adequately</p>	<p>Motor speed control</p> <p>Operation numbers control</p> <p>Damper or valve control</p> <p>Others</p> <p>Yes () No ()</p> <p>Yes () No ()</p> <p>Yes () No ()</p>

10.8 ボイラ

10.8.1 測定目的

ボイラの熱精算に必要な項目を測定する。

10.8.2 測定方法 (Figure 10.8.1 参照)

対象となるボイラの設備概要を Table 10.8.1 に記入する。

(測定方法は JIS B 8222 (1993) に準拠した。)

測定間隔： 30 分毎

測定時間： 2 時間以上 (石炭焚きの場合 4 時間以上)

注意事項： 1 時間以上、同一運転状態に保つ。

ブロー、すす吹きは行わない。

Figure 10.8.1 ボイラの測定点

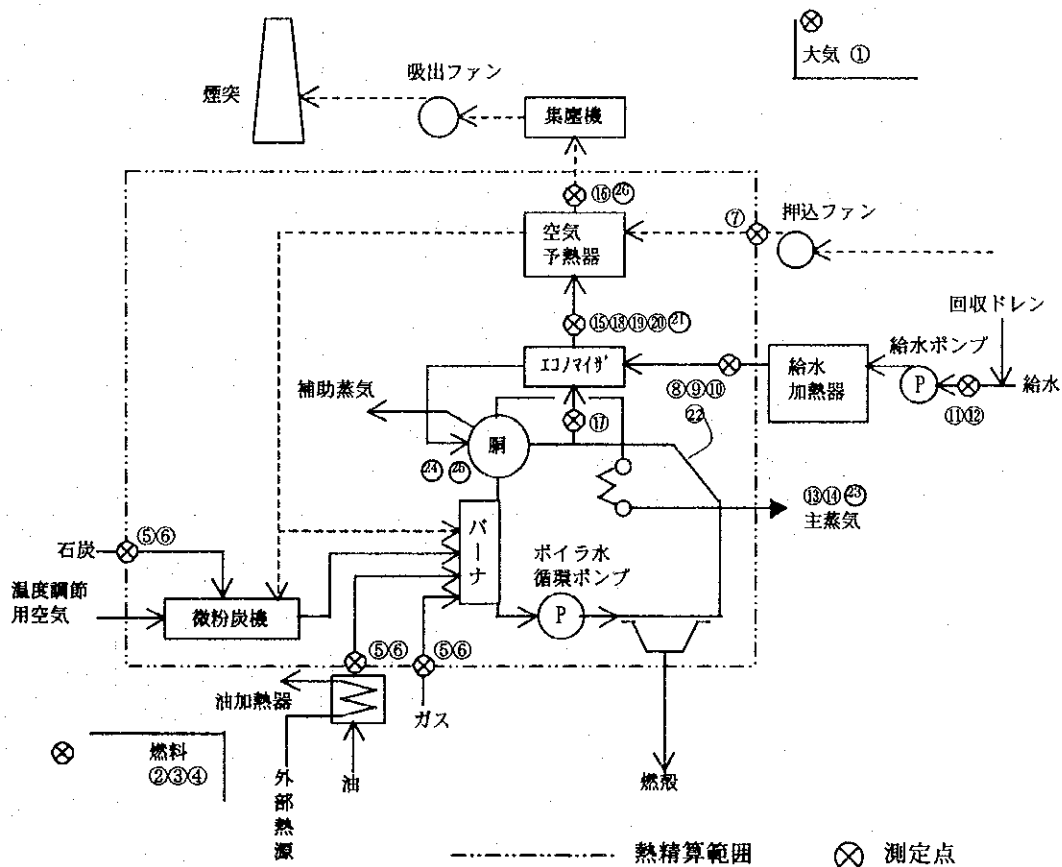


Table 10.8.1 設備概要

工場名、所在地		
ボイラ製造者名		
ボイラ記号番号、製造年月日		
ボイラ本体	種類・形式 最大連続(定格)蒸気発生量 最高使用圧力 常用圧力	t/h kgf/cm ² kgf/cm ²
マイザノ	形式 伝熱面積	m ²
予熱器	形式 伝熱面積	m ²
燃焼装置	形状 バーナ容量 バーナ個数 火格子面積	kg/h m ²
燃焼室	燃焼室容積	m ³
通風装置	通風方式	
	ファン 押込	形式 容量 風圧
	ファン 吸出	形式 容量 風圧
	煙突	大きさ(径×高さ) 共用設備の名称・基数
		m ³ /min(°C) mmAq
		m ³ /min(°C) mmAq
		m×m

Table 10.8.2 測定項目と計測器

	測定項目	記号	単位	計測器
①	大気温度	t_{a0}	°C	棒状温度計
②	燃料中の成分			
	炭素	c	kg/kg·fuel	(ラボ分析値)
	水素	h	kg/kg·fuel	(ラボ分析値)
	酸素	o	kg/kg·fuel	(ラボ分析値)
	硫黄	s	kg/kg·fuel	(ラボ分析値)
	窒素分	n	kg/kg·fuel	(ラボ分析値)
	灰分	a	kg/kg·fuel	(ラボ分析値)
	水分	w	kg/kg·fuel	(ラボ分析値)
③	燃料の低発熱量	H_l	kcal/kg	(高発熱量 H_h から計算)
④	燃料の比熱	c_f	kcal/kg°C	
⑤	燃料温度	t_f	°C	温度計
⑥	燃料流量	W_f	kg/h	流量計
⑦	燃焼用空気温度	t_{ab}	°C	温度計
⑧	給水温度	t_w	°C	温度計
⑨	給水流量 (蒸気流量)	W_w	kg/h	超音波流量計
⑩	給水圧力		kg/cm ² g	圧力計
⑪ ㉔	給水およびボイラ水の pH		pH	pH 計
⑫ ㉕	給水およびボイラ水の電気伝導率		μ S/cm	導電率計
⑬	発生蒸気温度	t_s	°C	温度計
⑭	発生蒸気圧力	P_s	kg/cm ² g	圧力計(読取)
⑮	排ガス温度 (AH 入口)	t_{g1}	°C	熱電対
⑯	排ガス温度 (AH 出口)	t_{g2}	°C	熱電対
⑰	排ガス温度 (本体出口)	t_{g3}	°C	熱電対
⑱	排ガス O ₂	(O ₂)	体積 %	O ₂ 計
⑲	排ガス CO ₂	(CO ₂)	体積 %	CO, CO ₂ 計
⑳	排ガス CO	(CO)	体積 %	CO, CO ₂ 計
㉑	排ガス圧力		mmH ₂ O	デジタル微差圧計
㉒	本体表面温度		°C	表面温度計
㉓	蒸気配管保温表面温度		°C	表面温度計
㉔	ダスト中の未燃炭素分(石炭焼きボイラ)	u_d	質量 %	(ラボ分析値)

10.8.3 診断方法

測定値と計算値から熱精算を行うため、入熱量、出熱量、熱損失量を算出してボイラの効率を求める。

熱精算シートを完成させることにより熱の利用状況を明らかにすることができる。

(1) 油焼きボイラ

a. 入熱

1) 燃料の低発熱量： H_l [kcal/kg]

$$H_l = H_h - 5.9(9h + w) \quad \dots \dots \dots (1-1)$$

H_h : 高発熱量 [kcal/kg]

h : 燃料中の水素分 [質量%]

w : 燃料中の水分 [質量%]

2) 燃料入熱： Q_f [kcal/kg]

$$Q_f = c_f \cdot (t_f - t_{a0}) \quad \dots \dots \dots (1-2)$$

c_f : 燃料の比熱 [kcal/kg $^{\circ}$ C]

t_f : バーナ入口燃料温度 [$^{\circ}$ C]

t_{a0} : 基準温度(外気温度または周囲温度) [$^{\circ}$ C]

3) 燃焼用空気入熱： Q_a [kcal/kg]

$$Q_a = m \cdot A_0 \cdot c_a \cdot (t_{ab} - t_{a0}) \quad \dots \dots \dots (1-3)$$

m : 空気比

$$m = \frac{21}{21 - 79 \left[\frac{(O_2) - 0.5(CO)}{(N_2)} \right]} = \frac{21}{21 - (O_2)} \quad \dots \dots \dots (1-4)$$

$$(N_2) = 100 - [(CO_2) + (O_2) + (CO)]$$

(CO₂), (O₂), (CO), (N₂)

: 乾き燃焼ガス中の二酸化炭素(炭酸ガス)、酸素、一酸化炭素、窒素 [体積%]

A₀ : 理論空気量 [m³/kg]

$$A_0 = \frac{1}{100} \left[8.89c + 26.7 \left(h - \frac{o}{8} \right) + 3.3s \right] \quad \dots \dots (1-5)$$

c, h, o, s, n, a, w

: 燃料中の炭素、水素、酸素、硫黄、窒素、灰分、水分 [質量%]

$$c + h + o + s + n + a + w = 100 \text{ [%]}$$

c_a : 空気の比熱 = 0.31 [kcal/m³·°C]

t_{ab} : 燃焼用空気温度(押込ファン出口) [°C]

t_{a0} : 基準温度(外気温度または周囲温度) [°C]

4) 給水入熱 : Q_w [kcal/kg]

$$Q_w = \frac{W_w}{W_f} \cdot c_w \cdot (t_w - t_{a0}) \quad \dots \dots (1-6)$$

W_w : 給水流量 [kg/h]

W_f : 燃料消費量 [kg/h]

t_w : 給水温度 [°C]

c_w : 水の比熱 = 1 [kcal/kg°C]

5) 総入熱量 : Q_{in} [kcal/kg]

$$Q_{in} = H_1 + Q_f + Q_a + Q_w \quad \dots \dots (1-7)$$

b. 出熱

1) 発生蒸気熱量 : Q_s [kcal/kg]

$$Q_s = \frac{W_s}{W_f} (h_s - h_w) \quad \dots \dots (1-8)$$

W_s : 発生蒸気量 = W_w [kg/h]

W_f : 燃料消費量 [kg/h]

h_s : 発生蒸気のエンタルピ [kcal/kg]

h_w : 給水のエンタルピ [kcal/kg]

過熱器がない場合

$$: h_s = h'' - (1 - x)r \quad \dots \dots \dots (1-9)$$

h'' : 飽和蒸気のエンタルピ [kcal/kg]

r : 蒸発潜熱 [kcal/kg]

x : 蒸気の乾き度(計測しない場合 0.98 とする)

2) 排ガス熱損失: L_g [kcal/kg]

$$L_g = G \cdot c_g \cdot (t_{g2} - t_{a0}) \quad \dots \dots \dots (1-10)$$

G : 燃料 1kg 当りの実際排ガス量 [m³/kg]

$$G = G_0 + G_w + (m - 1)A_0 \quad \dots \dots \dots (1-11)$$

G_0 : 理論乾き排ガス量 [m³/kg]

$$G_0 = \frac{1}{100} [8.89c + 21.1 (h - \frac{O}{8}) + 3.3s + 0.8n] \quad \dots \dots \dots (1-12)$$

G_w : 排ガス中の水蒸気量 [m³/kg]

$$G_w = \frac{1}{100} [1.24 (9h + w)] \quad \dots \dots \dots (1-13)$$

m : 空気比 $\dots \dots \dots (1-4)$

A_0 : 理論空気量 [m³/kg] $\dots \dots \dots (1-5)$

c_g : 排ガスの比熱 $\cong 0.33$ [kcal/Nm³·°C]

t_{g2} : AH 出口排ガス温度 [°C]

$$\therefore G = \frac{1}{100} (5.6h + 0.7o + 0.8n + 1.24w) + mA_0 \quad \dots \dots \dots (1-14)$$

元素分析を行わない場合、燃料 1kg 当りの空気量 A_0 および排ガス量 G_0 は次の簡略式で求めることができる。

$$A_0 = \frac{12.38}{10,000} \cdot H_1 - 1.36 \text{ [m}^3\text{/kg]} \quad \dots \dots \dots (1-15)$$

$$G_0 + G_w = \frac{15.75}{10,000} \cdot H_1 - 3.91 \text{ [m}^3\text{/kg]} \quad \dots \dots \dots (1-16)$$

H_1 : 燃料の低発熱量 [kcal/kg]

3) その他熱損失: L_r [kcal/kg]

$$L_r = Q_{in} - (Q_s + L_g) \quad \dots \dots \dots (1-17)$$

(2) 石炭焚きボイラ

a. 燃料組成

$$\begin{aligned}c &= \frac{100-w}{100} \times c_0 \text{ [%]} & n &= \frac{100-w}{100} \times n_0 \text{ [%]} \\h &= \frac{100-w}{100} \times h_0 \text{ [%]} & a &= \frac{100-w}{100-w_1} \times a_1 \text{ [%]} \\s &= \frac{100-w}{100} \times s_0 \text{ [%]} & o &= 100 - (c + h + s + n + a + w) \text{ [%]}\end{aligned}$$

c, h, s, n, a, o

: 使用時ベースの炭素、水素、燃焼性硫黄、窒素、灰分、酸素の含有率 (質量%)

w : 全水分 (使用時ベース) [%]

w₁ : 工業分析 (恒湿ベース) の水分 [%]

a₁ : 工業分析 (恒湿ベース) の灰分 [%]

c₀, h₀, s₀, n₀ [%]: 元素分析値 (無水ベース)

c₁ = c - c₂: 実際に燃焼した炭素分 [%] (2-1)

c₂ = a · u / (100 - u) ≐ a · u_d / (100 - u_d): 未燃炭素分 [%] (2-2)

a : 使用燃料中の灰分 [%]

u : 燃殻中の平均未燃炭素分 [質量%]

u_d : ダスト中の未燃炭素分 [質量%]

b. 入熱

1) 燃料の低発熱量: H_l [kcal/kg]

$$\text{高発熱量 } H_h = \frac{100-w}{100-w_1} \times H_0 \text{ [kcal/kg]} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2-3)$$

H₀ : 恒湿ベースの高発熱量 [kcal]

$$\text{低発熱量 } H_l = H_h - 5.9 (9h + w) \text{ [kcal/kg]} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2-4)$$

2) 燃料の入熱 (燃料が外部熱源によって予熱される場合.): Q_f [kcal/kg]

$$Q_f = c_f (t_f - t_{a0}) \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2-5)$$

c_f : 石炭の比熱=0.25 [kcal/kg°C]

t_f : 加熱後の石炭(微粉炭)の温度 [°C]
 t_{a0} : 基準温度(外気温度または周囲温度) [°C]

3) 燃焼用空気入熱 : Q_a [kcal/kg]

$$Q_a = m \cdot A_0 \cdot c_a \cdot (t_{ab} - t_{a0}) \quad \dots \dots \dots (2-6)$$

m : 空気比

$$m = \frac{21}{21-79 \left[\frac{(O_2)-0.5(CO)}{(N_2)} \right]} = \frac{21}{21-(O_2)} \quad \dots \dots \dots (1-4)$$

A_0 : 理論空気量 [m³/kg]

$$A_0 = \frac{1}{100} \left[8.89c_1 + 26.7 \left(h - \frac{O}{8} \right) + 3.3s \right] \quad \dots \dots \dots (2-7)$$

$$c_1 = c - c_2 \quad [\%] \quad \dots \dots \dots (2-1)$$

c_a : 空気の比熱 = 0.31 [kcal/m³·°C]

t_{ab} : 燃焼用空気温度 (押込ファン出口) [°C]

t_{a0} : 基準温度(外気温度または周囲温度) [°C]

4) 給水入熱 : Q_w [kcal/kg]

$$Q_w = \frac{W_w}{W_f} \cdot c_w \cdot (t_w - t_{a0}) \quad \dots \dots \dots (2-8)$$

W_w : 給水流量 [kg/h]

W_f : 燃料消費量 [kg/h]

t_w : 給水温度 [°C]

c_w : 水の比熱 = 1 [kcal/kg°C]

5) 総入熱量 : Q_{in} [kcal/kg]

$$Q_{in} = H_1 + Q_f + Q_a + Q_w \quad \dots \dots \dots (2-9)$$

c. 出熱

1) 発生蒸気の吸収熱 (有効出熱) : Q_s [kcal/kg]

$$Q_s = \frac{W_s}{W_f} (h_s - h_w) \quad \dots \dots \dots (2-10)$$

W_s : 燃料 1kg 当りの発生蒸気量 [kg/h]

- W_f : 燃料消費量 [kg/h]
 h_s : 発生蒸気のエンタルピ [kcal/kg]
 h_w : 給水のエンタルピ [kcal/kg]
 過熱器がない場合 : $h_s = h'' - (1-x)r$ (1-9)

- 2) 排ガス熱損失 : L_g [kcal/kg]
- $L_g = G c_g (t_{g2} - t_{a0})$ (2-11)
- G : 燃料 1kg 当りの実際排ガス量 [m³/kg]
- $G = G_0 + G_w + (m - 1) A_0$ [m³/kg] (2-12)
- G_0 : 理論乾き排ガス量 [m³/kg]
- $G_0 = \frac{1}{100} [8.89c_1 + 21.1(h - \frac{O}{8}) + 3.3s + 0.8n]$ (2-13)
- G_w : 排ガス中の水蒸気量 [m³/kg]
- $G_w = \frac{1}{100} [1.24(9h + w)]$ (2-14)
- m : 空気比 (1-4)
- A_0 : 理論空気量 [m³/kg] (2-7)
- c_g : 排ガスの平均比熱 = 0.33 [kcal/m³°C]
- t_{g2} : AH 出口排ガス温度 [°C]

元素分析を行わない場合、燃料 1kg 当りの空気量 A_0 および排ガス量 G は次の簡略式で求めることができる。

$A_0 = 1.01 \cdot \frac{H_1}{1,000} + 0.56$ [m³/kg] (2-15)

$G_0 + G_w = \frac{0.904 H_1}{1,000} + 1.67$ [m³/kg] (2-16)

- 3) 不完全燃焼ガスによる熱損失 : L_2 [kcal/kg]
- $L_2 = 30.1 [G_0 + (m - 1) A_0] (CO)$ (2-17)
- 液体、ガス燃料も同じ。ただし、ガス燃料では[kcal/Nm³]
- (CO) : 乾き燃焼ガス中の一酸化炭素 [体積%]

- 4) 燃殻中の未燃分による熱損失 : L_3 [kcal/kg]
- $L_3 = 81 c_2$ (2-18)

c_2 : 未燃炭素分 [%] (2-2)

5) その他熱損失 : L_r [kcal/kg]

$$L_r = Q_{in} - (Q_s + L_g + L_2 + L_3) \quad \dots \dots \dots (2-19)$$

(3) ガス焼きボイラ

a. 入熱

1) 燃料の低発熱量 : H_1 [kcal/Nm³·fuel]

$$H_1 = H_h - 470 G_w \quad \dots \dots \dots (3-1)$$

H_h : 分析値(高発熱量) [kcal/Nm³·fuel]

G_w : 燃料中に含まれる水蒸気量 [m³/Nm³·fuel]

$$G_w = \frac{1}{100} \left[(h_2) + \frac{1}{2} \sum n (C_m H_n) + w_v \right] \quad \dots \dots \dots (3-2)$$

$(h_2), (C_m H_n), w_v$

: 燃料中の水素、炭化水素、水蒸気分 [体積%]

2) 燃焼用空気入熱 : Q_a [kcal/Nm³·fuel]

$$Q_a = m \cdot A_0 \cdot c_a \cdot (t_{ab} - t_{a0}) \quad \dots \dots \dots (3-3)$$

m : 空気比 (1-4)

A_0 : 理論空気量 [m³/Nm³·fuel]

$$A_0 = \frac{1}{21} \left[\sum (m + \frac{1}{4} n) (C_m H_n) + \frac{1}{2} co + \frac{1}{2} (h_2) - o_2 \right] \quad \dots \dots \dots (3-4)$$

co, o_2 : 燃料中の一酸化炭素、酸素 [体積%]

c_a : 空気の比熱 = 0.31 [kcal/m³·°C]

t_{ab} : 燃焼用空気温度 (押込ファン出口) [°C]

t_{a0} : 基準温度(外気温度または周囲温度) [°C]

3) 給水入熱 : Q_w [kcal/Nm³·fuel]

$$Q_w = \frac{W_w}{W_f} \cdot c_w \cdot (t_w - t_{a0}) \quad \dots \dots \dots (3-5)$$

W_w : 給水流量 [kg/h]

- W_f : 燃料消費量 [Nm³/h]
 t_w : 給水温度 [°C]
 c_w : 水の比熱 = 1 [kcal/kg°C]

4) 総入熱量 : Q_{in} [kcal/Nm³·fuel]

$$Q_{in} = H_1 + Q_a + Q_w \quad \dots \dots \dots (3-6)$$

b. 出熱

1) 発生蒸気熱量 : Q_s [kcal/Nm³·fuel]

$$Q_s = \frac{W_s}{W_f} (h_s - h_w) \quad \dots \dots \dots (3-7)$$

- W_s : 発生蒸気量 = W_w [kg/h]
 W_f : 燃料消費量 [Nm³/h]
 W_w : 給水流量 [kg/h]
 h_s : 発生蒸気のエンタルピ [kcal/kg]
 h_w : 給水のエンタルピ [kcal/kg]

過熱器がない場合 : $h_s = h'' - (1 - x) r \quad \dots \dots \dots (1-9)$

2) 排ガス熱損失 : L_g [kcal/Nm³·fuel]

$$L_g = G \cdot c_g (t_{g2} - t_{g0}) \quad \dots \dots \dots (3-8)$$

G : 燃料 1Nm³ 当りの実際排ガス量 [m³/Nm³·fuel]

$$G = G_0 + G_w + (m - 1) A_0 \quad \dots \dots \dots (3-9)$$

G_0 : 理論乾き排ガス量 [m³/Nm³·fuel]

$$G_0 = \frac{1}{100} [\Sigma (4.76m + 0.94n)(C_m H_n) + 2.88 co + 1.88(h_2) + y - 3.76 o_2] \quad \dots \dots \dots (3-10)$$

G_w : 燃料中に含まれる水蒸気量 [m³/Nm³·fuel]

$$G_w = \frac{1}{100} [(h_2) + \frac{1}{2} \Sigma n (C_m H_n) + w_v] \quad \dots \dots \dots (3-2)$$

m : 空気比 $\dots \dots \dots (1-4)$

A_0 : 理論空気量 [m³/Nm³·fuel]

$$A_0 = \frac{1}{21} [\Sigma (m + \frac{1}{4} n)(C_m H_n) + \frac{1}{2} co + \frac{1}{2} (h_2) - o_2] \quad \dots \dots \dots (3-4)$$

- c_g : 排ガスの比熱 ≈ 0.33 [kcal/Nm³·°C]
- t_{g2} : AH 出口排ガス温度 [°C]
- t_{a0} : 基準温度(外気温度または周囲温度)[°C]
- y : 不燃性ガス [体積%]

ただし、燃料成分には下式の関係がある。

$$\Sigma(C_m, H_n) + co + h_2 + o_2 + y + w_v = 100 (\%)$$

元素分析を行わない場合、燃料 1Nm³ 当りの空気量 A_0 および排ガス量 G_0 はつぎの簡略式で求めることができる。

$$A_0 = \frac{11.2}{10,000} \cdot H_l \quad [m^3/Nm^3 \cdot fuel] \quad \dots \dots (3-8)$$

$$G_0 + G_w = \frac{12.25}{10,000} \cdot H_l \quad [m^3/Nm^3 \cdot fuel] \quad \dots \dots (3-9)$$

3) その他熱損失 : L_r [kcal/Nm³·fuel]

$$L_r = Q_{in} - (Q_s + L_g) \quad \dots \dots (3-10)$$

[備考] 放散熱による熱損失 L_{ra} を考慮する場合

石炭焼きボイラの例では、その他熱損失は次のようになる(油焼き、ガス焼きでも同様)。

$$L_r = Q_{in} - (Q_s + L_g + L_2 + L_3 + L_{ra})$$

$$\text{ここで、} L_{ra} = \frac{1}{100} \cdot l_r \cdot H_l = \frac{1}{100} \cdot l_{rh} \cdot H_h$$

l_r : 低発熱量 H_l に対する放散熱損失 [%]

l_{rh} : 高発熱量 H_h に対する放散熱損失 [%]

(Table 10.8.3 参照)

Table 10.8.3 水管ボイラ及び丸ボイラにおける放散熱損失の代表的な値

ボイラ形式	容量、構造	定格負荷(高発熱量基準)における放散熱損失(*)
A	定格出力が 5MW 以上の水管ボイラ及び煙管ボイラ	0.3 %
B	定格出力が 2MW 以上、5MW 未満の水管ボイラ及び煙管ボイラ	0.5 %
C	定格出力が 2MW 未満の水管ボイラ及び煙管ボイラ	1.0 %
D	れんが積み、ドライバック形式の煙管ボイラ及びれんが炉床ボイラ	1.5 %
E	水冷壁を持つれんが積み水管ボイラ	2.0 %
F	水冷壁のないれんが積み水管ボイラ	2.5 %
G	れんが積みのランカシャボイラ及びコルニッシュボイラ	4.0 %

* 定格負荷時の入熱に対する割合(%)を示す(**)。

** 定格負荷以外では $\left(\frac{\text{定格負荷燃料量}}{\text{実際負荷燃料量}} \right)$ を掛けること。

以上の熱精算結果を Table 10.8.4、Table 10.8.5 にまとめる。

Table 10.8.4 測定結果 (1/2)

試験実施年月日時刻			
担当者			
天候、外気温度		℃	
外気の乾球温度、同湿球温度		℃	
試験時間		h	
負荷率		%	
燃 料	燃料種類、銘柄 混合比		
	使用温度		℃
	水分又は全水分		%
	分 析 工 業	分析値 使用時	% %
	分 析 元 素	分析時 使用時	% %
発 熱 量	測定値 使用時	kcal/kg(又は m ³) kcal/kg(又は m ³)	
使 用 量	使用全量 1時間当り使用量	kg(m ³) kg(m ³)/h	
燃焼装置の状態			
給 水	給水全量(補正值)		kg
	1時間当り給水量		kg/h
	燃料単位量当り給水量		kg/kg
	エコノマイザ入口温度		℃
	ボイラ本体入口温度 (ドレン回収率)		℃ %
発 生 蒸 気	圧力		kgf/cm ²
	温度		℃
	飽和蒸気乾き度		%
	蒸 気 発 生 量	全量(補正值) 1時間当たり 毎時換算	kg kg/h kg/h
燃 焼 用 空 気	燃料単位量当り空気量		m ³ /kg(又は m ³)
	温 度 ・ 圧 力	空気予熱器入口	℃, mmAq
		空気予熱器出口	℃, mmAq
		押込ファン出口	℃, mmAq
		火炉入口	℃, mmAq
空 気 比	ボイラ本体出口 空気予熱器出口		

Table 10.8.4 測定結果 (2/2)

排 (燃 焼) ガ ス	燃料単位量当り排ガス量		m^3/kg (又は m^3)	
	温 度 ・ 圧 力	ボイラ本体出口	$^{\circ}C$, mmAq	
		空気予熱器入口	$^{\circ}C$, mmAq	
		空気予熱器出口	$^{\circ}C$, mmAq	
ガ ス 分 析	エコノマイザ出口		(CO_2) , (O_2) , (CO) 体積%	
	未燃分 燃料単位量当り燃殻量		% kg/kg	
煙の状況				
補 機	電力消費量		kW	
	蒸気消費量		kg/h	

Table 10.8.5 熱精算表 (石炭焚きボイラの例)

入 熱			出 熱		
Item	kcal/kg of fuel	%	Item	kcal/kg of fuel	%
(1)燃料の低発熱量 (H_1)			有効出熱 (Q_s)	(1)発生蒸気の吸収した熱 (Q_s)	
(2)燃料入熱 (Q_f)			熱損失 (L_1)	(1)排ガス熱損失 (L_g)	
(3)燃焼用空気入熱 (Q_a)				(2)不完全燃焼ガスによる 熱損失 (L_2)	
(4)給水入熱 (Q_w)				(3)燃殻中の未燃分による 熱損失 (L_3)	
				(4)その他熱損失 (L_r)	
				小計 L_1	
合計 $H_1+Q_f+Q_a+Q_w$		100	合計 Q_s+L_1		100

(注) 熱損失に放散熱(L_n)の項目を含めることもある (本文「備考」参照)。

10.8.4 ボイラの水質分析

産業用に使用されるボイラの水質分析について以下に示す。

(1) 測定目的

ボイラの給水、ボイラ水の水質が適正に管理されているかを調査する。

pH 管理 : 給水の pH 管理は給水系統の腐食防止のため管理する。
ボイラ水の pH 管理はボイラ内部の腐食防止のため管理する。

電気伝導率 : 給水及びボイラ水中の電解質の濃度の指標として測定する。

(2) 測定方法

(水質分析は JIS B 8223 (1989) に準拠した。)

測定点 : Figure 10.8.1 の①⑫ (給水) および ⑳㉑ (ボイラ水)

計測器 : pH 計、導伝率計

(3) 診断方法

測定した水質が適しているかどうかを基準と比較する。参考として JIS 規格の水質基準を Table 10.8.6 ~ Table 10.8.8 に示す。

a. 丸ボイラ (立てボイラ、炉筒ボイラ、煙管ボイラ等)

Table 10.8.6 丸ボイラの給水及びボイラ水の水質

区分	最高使用圧力 [kgf/cm ²]	10 以下	10 を超え 20 以下
		補給水の種類	軟化水 (1)
給水	pH(25℃における)	7~9	7~9
	硬度(mgCaCO ₃ /L)	1 以下	1 以下
	油脂類(mg/L)	(2)	(2)
	溶存酸素(mgO/L)	(2)	(2)
ボイラ水	処理方式	アルカリ処理	
	pH(25℃における)	11.0~11.8	11.0~11.8
	電気伝導率(μS/cm)(25℃における)	4500~4000 以下	3500 以下

(1) 水道水、工業用水、地下水、河川水、湖沼水など。

(2) 低く保つことが望ましい。

1) 給水管理の目的

pH : 給水システムの腐食を防止する目的で管理する。

硬度 : ボイラ内でのスラッジの堆積や伝熱面へのスケール付着による熱効率の低下を防止する目的で管理する。

油脂類 : ボイラ水のホーミング (Foaming)を防止する目的で管理する。

溶存酸素

: ボイラプラント全体の水側の金属材料の腐食を防止する目的で管理する。

2) ボイラ水管理の目的

pH : 腐食の防止及びスケールの付着を防止する目的で管理する。

酸消費量

: ボイラ水の pH を間接的に管理するとともに、シリカによるスケール付着を防止する目的で管理する。

全蒸発残留物と電気伝導率

: キャリーオーバーの防止及びスラッジの堆積を防止する目的で管理する。

Figure 10.8.2 にボイラ水の pH と酸消費量の関係を示す。

Figure 10.8.3 にボイラ水の全蒸発残留物とキャリーオーバーとの関係を示す。

Figure 10.8.2 ボイラ水の pH と酸消費量(pH8.3)との関係 (例)

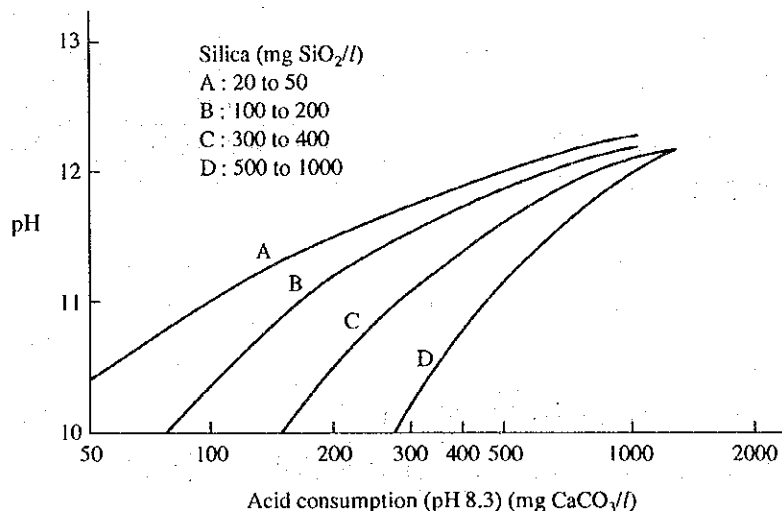
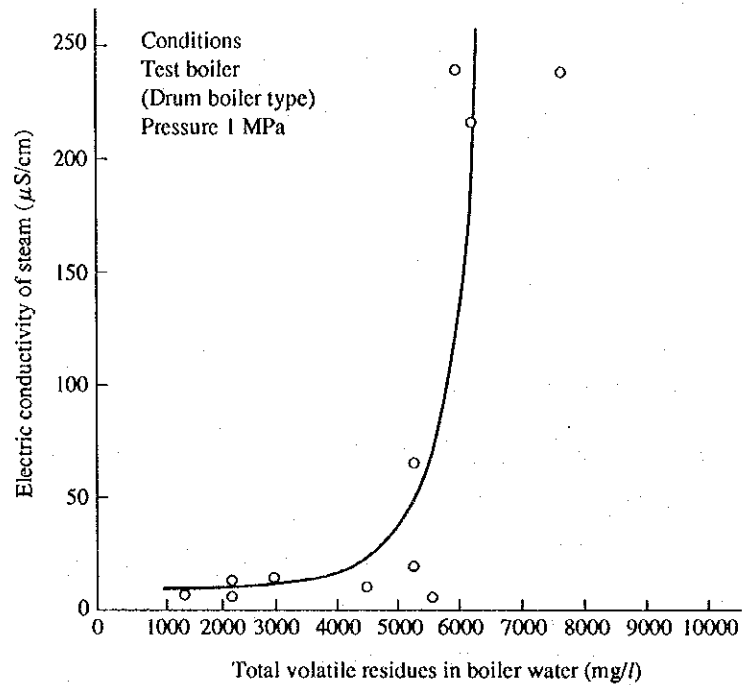


Figure 10.8.3 ボイラ水の全蒸発残留物とキャリーオーバーとの関係 (例)



b. 水管ボイラ

Table 10.8.7 水管ボイラの給水及びボイラ水の水質

区分	最高使用圧力 [kgf/cm ²]	10 以下	10 を超え 20 以下
		補給水の種類	軟化水
給水	pH(25℃における)	7~9	7~9
	硬度(mgCaCO ₃ /L)	1 以下	1 以下
	油脂類(mg/L)	(2)	(2)
	溶存酸素(mgO/L)	(2)	(2)
ボイラ水	処理方式	アルカリ処理	
	pH(25℃における)	11.0~11.8	11.0~11.8
	電気伝導率(μS/cm)(25℃における)	4500~4000 以下	3000 以下

(2)低く保つことが望ましい。

1) 給水管理の目的：a 1) と同じ

2) ボイラ水管理の目的：a 2) と同じ

Figure 10.8.4 にボイラ水の pH と酸消費量 (pH8.3) との関係を示す。

Figure 10.8.4 ボイラ水の pH と酸消費量 (pH8.3) との関係

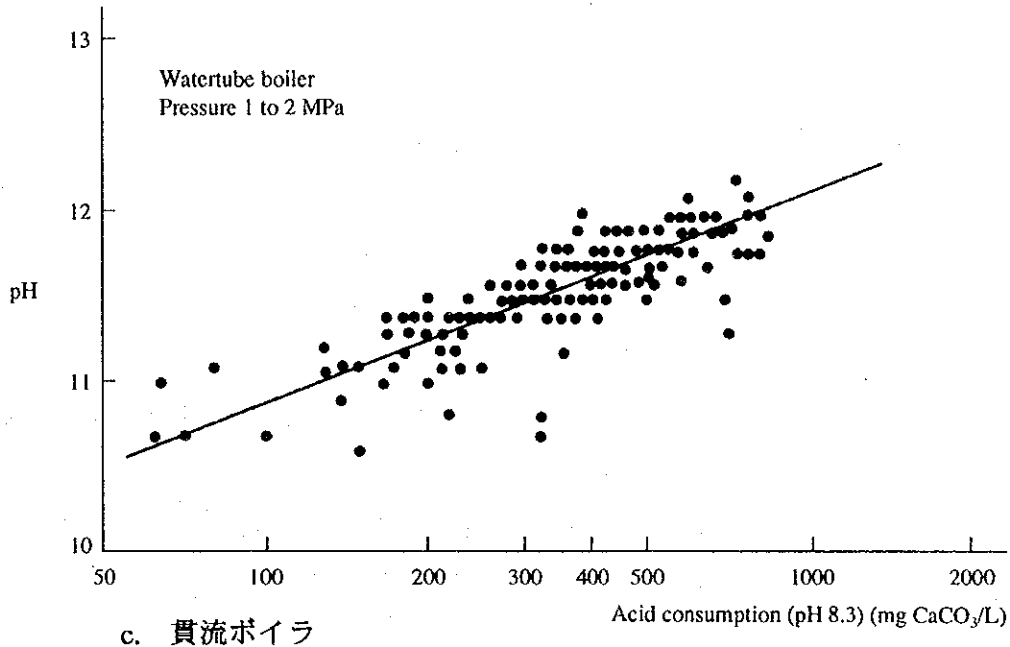


Table 10.8.8 貫流ボイラの給水及びボイラ水の水質

区分	ボイラの種類	単管式	多管式
		最高使用圧力 [kgf/cm ²]	10 を超え 30 以下
	補給水の種類	軟化水(1)	軟化水(1)
給水	pH(25℃における)	10.5~11.0	7~9
	硬度(mgCaCO ₃ /L)	1 以下	1 以下
	油脂類(mg/L)	(2)	(2)
	溶存酸素(mgO/L)	(2)	0.5 以下
	電気伝導率(μS/cm)(25℃における)	4000 以下	—
ボイラ水	処理方式	—	アルカリ処理
	pH(25℃における)	—	11.0~11.8
	電気伝導率(μS/cm)(25℃における)	—	3000 以下

(1)水道水、工業用水、地下水、河川水、湖沼水など。

(2)低く保つことが望ましい。

1) 給水管理の目的

pH : 給水系統の腐食を防止する目的で管理する。

硬度 : ボイラ内でのスラッジの堆積や伝熱面へのスケール付着による熱効率の低下を防止する目的で管理する。

油脂類 : ボイラ水のホーミングを防止する目的で管理する。

溶存酸素

: ボイラプラント全体の水側の金属材料の腐食を防止する目的で管理する。

全蒸発残留物と電気伝導率

: キャリーオーバーの防止、スケール付着の防止及びスラッジの堆積を防止する目的で管理する。

2) ボイラ水管理の目的

pH : 腐食の防止及びスケールの付着を防止する目的で管理する。

酸消費量

: ボイラ水の pH を間接的に管理するとともに、シリカによるスケール付着を防止する目的で管理する。

全蒸発残留物と電気伝導率

: キャリーオーバーの防止、スケール付着の防止及びスラッジの堆積を防止する目的で管理する。

10.8.5 省エネルギー対策

ボイラの省エネルギー対策にはつぎのようなものがある。(詳細は「IV. ガイドライン」参照。)

(1) 空気比の管理

燃料油温度の適正維持、バーナの点検・整備、侵入空気の防止、空気量調節、自動制御等

(2) 排熱回収

排ガス熱回収、蒸気ドレン回収など

(3) 放熱防止

ボイラ本体、ボイラまわりの給水管、バルブ、フランジ等の断熱

Check List / Steam System

Boiler

Date: _____

Factory / Company: _____

Written by: _____

General Information:

Name of boiler house _____

No. of boilers installed _____

Steam connected to _____
(process/turbine/heating)

Concept of steam system (diagram, handwritten) _____

Specification (designed):

Unit

Boiler No.			
Boiler type			
Manufactured by			
Installed at			
Run into commissioning at			
Fuel			
Steam pressure			
Steam temperature			
Evaporation			
Kind of fuel			
Super heater attached?			
Economizer attached?			
Air heater attached?			
Heating surface			

Main body			
Super heater			
Economizer			
Air heater			
Air heater type			
Combustion facilities			
Type			
Capacity			
Draft system			
Type			
Capacity			
Fuel characteristics	Unit		
Composition (C, H, N, O, S) **			
Water content **			
Ash content **			
Heat value, gross **			
Heat value, net **			
Volatile matter content			
Size of coal			
Annual Working Condition:			
(If written in general inquiry, next items not to be filled-out.)			
Yearly working days or hours			
Daily running hours			
Winter (heating period)			
Other seasons			
Annual consumption / generation			
Fuel			
Steam			
Feed water			
Power generated			
Steam to process			
Steam to heating			

Check List / Steam System

Factory:

Typical Operating Condition (for heat balance calculation):

Unit No.	
Steam **	
Pressure **	
Temperature **	
Generation or boiler water supply **	
Fuel	
Consumption **	
Temperature **	
Exhaust gas temperature at after air-heater **	
Exhaust gas oxygen (if available), O ₂ %	
measured at	
Exhaust gas carbon monoxide (if available), CO %	
measured at	
Combustion residue (kg/kg-wet coal) **	
Carbon content of combustion residue	
Exhaust temperature of combustion residue	
Boiler water blow-down ratio	

Symbol "***": Essential for the calculation

Exhaust gas composition can be measured in the field audit period.

Check List / Steam System

Turbine

Date: _____

Factory / Company: _____

Written by: _____

General Information:

Name of turbine house _____

No. of turbine installed _____

Steam comes from _____

Steam connected to _____

Extraction _____

Back pressure _____

Concept of steam line (diagram, handwritten)

Specification (designed):

	Unit			
Turbine No.				
Turbine type				
Generator, type				
Capacity				
Main steam, flow				
Pressure				
Temperature				

No.1 extraction, flow			
Pressure			
Temperature			
No.2 extraction, flow			
Pressure			
Temperature			
Back pressure			
Pressure			
Temperature			
Condenser, type			
Vacuum			
RPM			
Turbine / generator			

Annual working condition:

(If written in general inquiry,
next items not to be filled-out.)

Yearly working days or hours			
Daily running hours			
Winter (heating period)			
Other			

Annual generation / consumption

Main steam			
Power generated			
Extraction No.1			
Extraction No.2			

Check List / Steam System

Factory:

Typical Operating Condition:

No. of unit _____

Power output _____

Generator end _____

Main steam _____

Pressure _____

Temperature _____

Flow-rate _____

Extraction No.1 _____

Pressure _____

Temperature _____

Flow-rate _____

Extraction No.2 _____

Pressure _____

Temperature _____

Flow-rate _____

Condenser _____

Vacuum _____

Cooling water for condenser _____

Temperature in _____

out _____

Check List / Steam System

Future

Date: _____

Factory / Company: _____

Written by: _____

Problems now going or in your mind:

On

Combustion

Steam turbine

Instrumentation

Maintenance

Heat insulation

Condensate recovery from process

Steam supply/utilize system

Power generation

Other

Plans or idea for future improvement, if any (please write freely)

Gas sampling nozzle:

Is exhaust gas sampling nozzles available for O2 and CO analyzing during our audit ?

At before / after of air preheater

At after combustion chamber

10.9 蒸気配管

10.9.1 測定目的

蒸気配管からの放熱損失を把握する。

10.9.2 測定方法 (Figure 10.9.1 参照)

Figure 10.9.1 蒸気配管の測定点

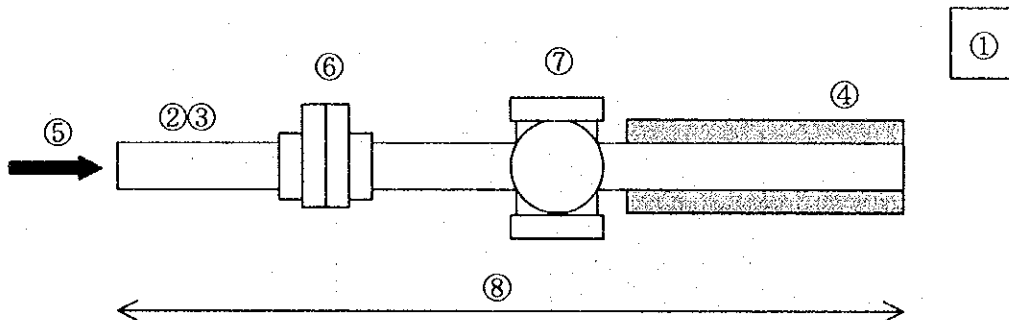


Table 10.9.1 蒸気配管の測定点

測定項目	計測器
① 外気温度	棒状温度計
② 配管内径	
③ 配管外径	ノギス
④ 保温筒外径	巻尺
⑤ 蒸気温度	読取, 熱電対
⑥ フランジのサイズ、個数	
⑦ 弁のサイズ、個数	
⑧ 配管長さ	
⑨ 保温筒外面温度	表面温度計

10.9.3 診断方法

(1) データシートを基にした診断方法

裸蒸気配管の場合、測定した蒸気温度と Figure 10.9.2 から放散熱量を求める。

この放散熱量と配管長さから総放散熱量を算出する。

その際、フランジ、減圧弁等は Table 10.9.2 からメートル換算した数値を使用する。

保温されている配管の場合、同様に蒸気温度と Figure 10.9.3 から放散熱量を求める。この放散熱量と配管長さから総放散熱量を算出する。

フランジ、減圧弁等は Table 10.9.2 からメートル換算した数値を使用する。

Figure 10.9.2 裸蒸気配管からの放散熱量

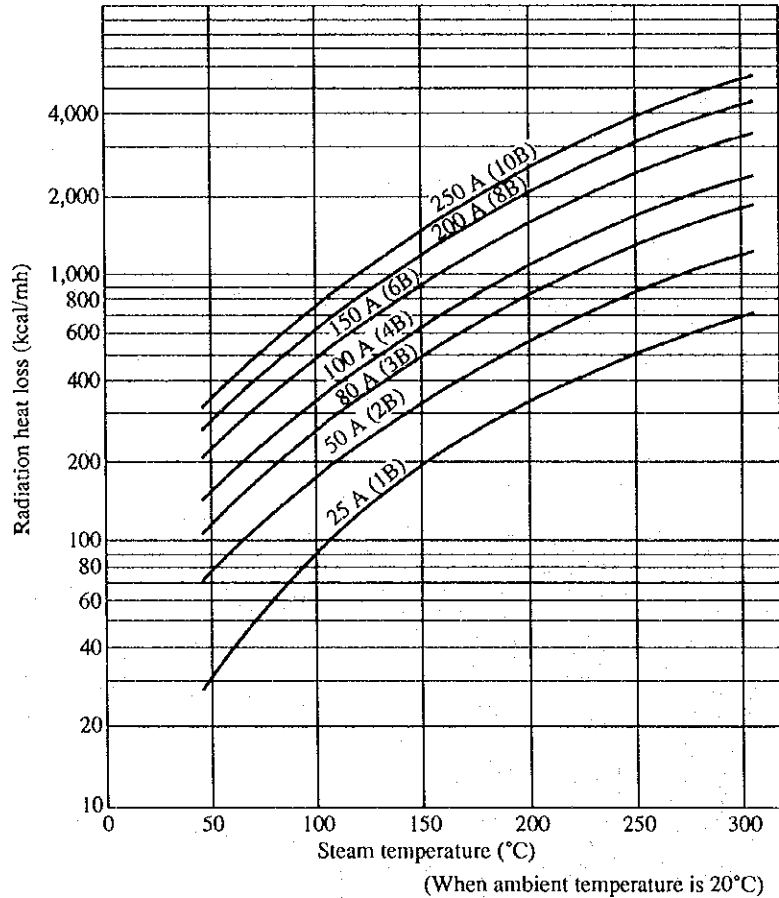


Table 10.9.2 配管部品類の保温部表面積の相当裸管長

[m]

配管部品の種類	15A	20A	25A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A	200A
フランジ 形玉形弁 (10kg/cm ²)	1.15	1.06	1.22	1.11	1.11	1.23	1.25	1.27	1.40	1.50	1.68
フランジ 形玉形弁 (20kg/cm ²)	1.24	—	1.21	1.20	1.28	1.50	1.56	1.58	—	1.78	1.87
フランジ 形仕切弁 (10kg/cm ²)	1.12	0.98	1.15	1.31	1.22	1.16	1.31	1.20	1.27	1.35	1.52
フランジ 形仕切弁 (20kg/cm ²)	1.29	1.13	1.32	1.23	1.53	—	1.63	1.50	—	1.92	—
減 圧 弁 (10kg/cm ²)	1.96	1.71	1.67	1.49	1.55	1.60	1.66	1.58	1.91	1.76	1.81
コントロール弁 (10kg/cm ²)	—	1.72	1.84	1.56	1.60	—	1.54	—	—	1.48	—
フランジ (10kg/cm ²)	0.50	0.46	0.53	0.47	0.44	0.42	0.42	0.39	0.44	0.45	0.44
フランジ (20kg/cm ²)	0.51	0.46	0.54	0.47	0.49	0.46	0.50	0.46	—	0.56	0.51

Figure 10.9.3 蒸気配管の保温厚さと放散熱量(1/3)

(Note) Parameters indicate the steam temperatures.

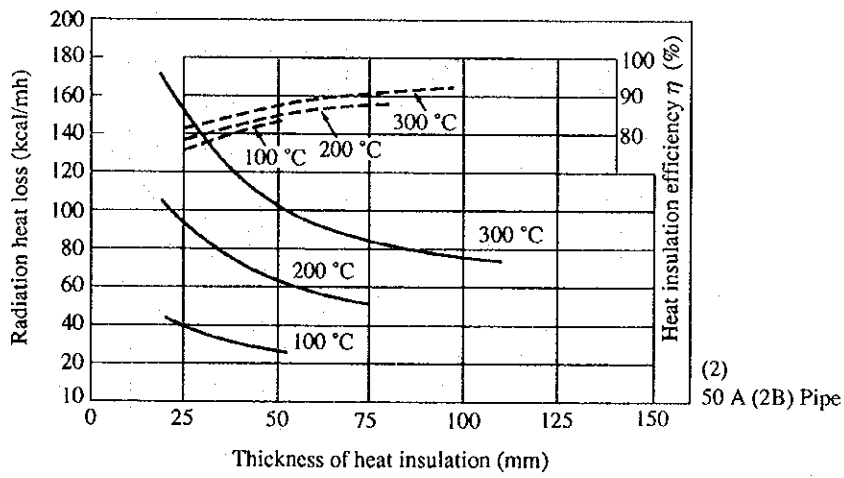
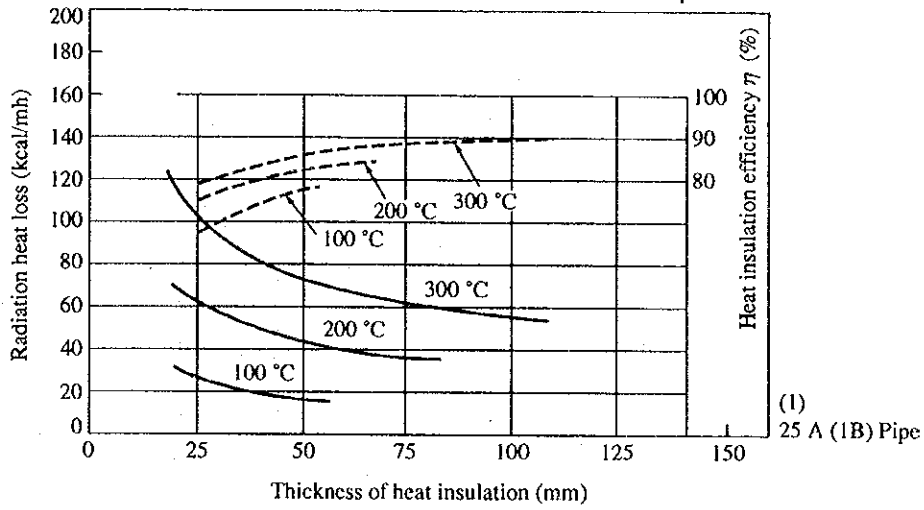


Figure 10.9.3 蒸気配管の保温厚さと放散熱量(2/3)

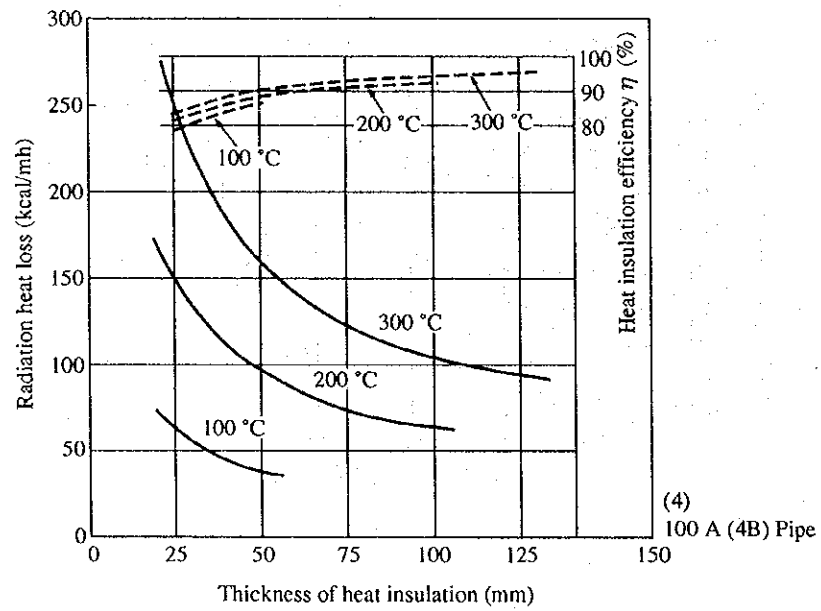
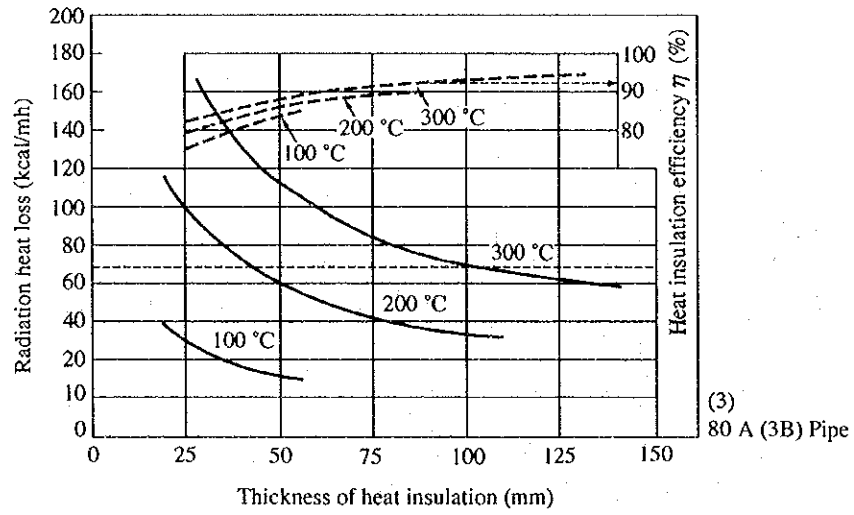
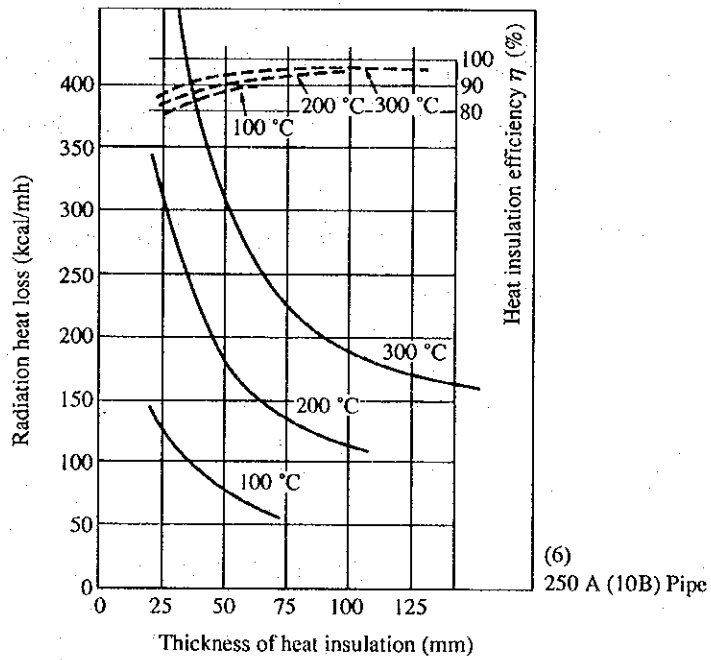
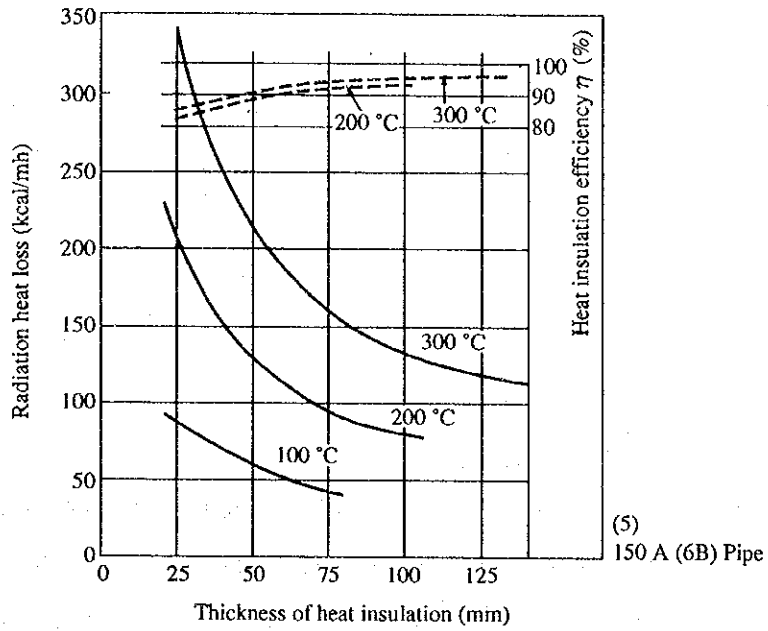


Figure 10.9.3 蒸気配管の保温厚さと放散熱量(3/3)



(2) 計算による算出方法

裸蒸気配管の場合、単位長さ当たりの放散熱量 Q [kcal/mh] は次の式で表わすことができる。

$$Q = \frac{2\pi(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{2}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{2}{\alpha_2 d_2}}$$

t_{f1} : 蒸気温度 [°C]

t_{f2} : 外気温度 [°C]

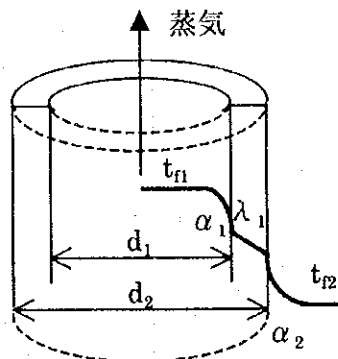
d_1 : 配管内径 [m]

d_2 : 配管外径 [m]

α_1 : 配管内面への流体の熱伝達率 [kcal/m²h°C] (例: $\alpha_1=9,000$ kcal/m²h°C)

α_2 : 配管表面から外気への熱伝達率 [kcal/m²h°C] (例: $\alpha_2=15$ kcal/m²h°C)

λ_1 : 配管の熱伝導率 [kcal/mh°C] (例: $\lambda_1=35$ kcal/mh°C)



算出した放散熱量と配管長さから総放散熱量を算出する。

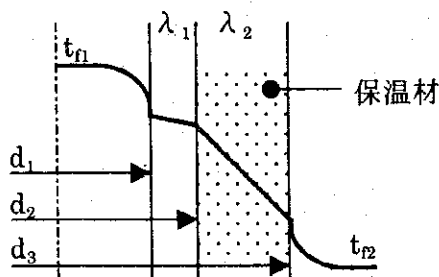
フランジ、減圧弁等は Table 10.9.2 からメートル換算した数値を使用する。

保温されている配管の場合、単位長さ当たりの放散熱量 Q [kcal/mh] は次の式で表わすことができる。

$$Q = \frac{2\pi(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{2}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{\lambda_2} \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right) + \frac{2}{\alpha_2 d_3}}$$

$\alpha_1 \gg \alpha_2$, $\frac{d_2}{d_1} \approx 1$ として、上式を近似すれば

$$Q = \frac{2\pi(t_{f1} - t_{f2})}{\frac{2}{\alpha_2 d_3} + \frac{1}{\lambda_2} \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right)}$$



d_2 : 配管外径 [m]

d_3 : 保温筒外径 [m]

α_2 : 保温筒表面から外気への熱伝達率 [kcal/m²h°C] (例: $\alpha_2=15$ kcal/m²h°C)

λ_2 : 保温材の熱伝導率 [kcal/mh°C] (例: $\lambda_2=0.1$ kcal/mh°C)

算出した放散熱量(Q)と配管長さ(L)から総放散熱量(=QL)を算出する。

フランジ、減圧弁等は Table 10.9.2 からメートル換算した数値を使用する。

10.9.4 省エネルギー対策

蒸気配管の省エネルギー対策にはつぎのようなものがある。(詳細は「IV. ガイドライン」参照。)

(1) 蒸気圧力の適正化

低圧蒸気利用等

(2) 配管の適正化

配管経路の見直し等

(3) 配管の保温

フランジ、減圧弁等の保温、高性能断熱材の導入、保温材の原料増加

(4) 保守、点検

保温の破損、スチームトラップの保守等

Check List / Steam System

Steam Piping

Date: _____

Factory / Company: _____

Written by: _____

General Information:

Name of steam system _____

Steam connected to _____

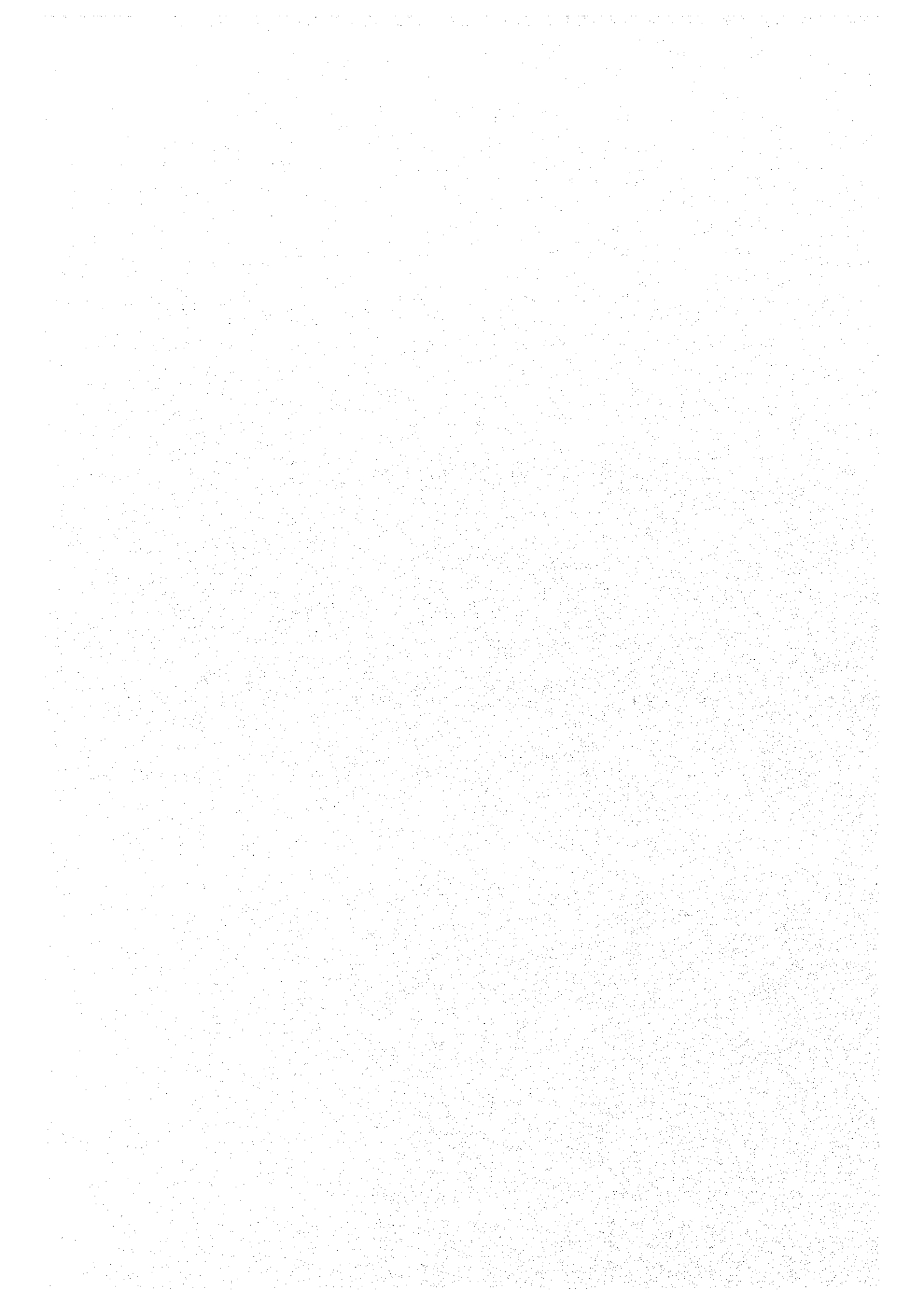
(process/turbine/heating) _____

Concept of steam system (diagram, handwritten)

Specification (designed):

	Unit			
Pipe size (ID/OD)				
Pipe length (Total)				
Pipe material				
Insulation size (OD)				
Insulation material				
Steam temperature				
Steam pressure				
Numbers of flange (Type)				
Flange size				
Number of valve (Type)				
Valve size				
Pipe surface temperature				
Insulation surface temperature				
Ambient temperature				

添付資料（計測器の説明（補足））



添付資料（計測器の説明（補足））

1. 燃焼排ガス分析法

燃焼排ガス中の成分は、主として N_2 、 O_2 、 CO_2 、 H_2O から成るが、燃料や燃焼条件により微量成分として、 CO 、 SO_2 、 NO 、 NO_2 、 HCl 、未燃炭化水素などを含むことがある。また、ススなどの粒子状物質が存在する場合もある。燃焼排ガスの中の各成分の分析は、空気比の推定から燃焼ガス量の把握、熱勘定における排ガスによる熱損失の算定、燃焼状態の改善などに重要である。これらのガスの分析計は、化学的分析計、物理的分析計に大別できるが、これを分類したものは Table 1 である。

化学的 CO_2 計は、 CO_2 が強アルカリによく溶ける性質を利用したもので、煙道ガスを強アルカリを入れた吸収槽内に導いて CO_2 を吸収させ、ガス容積の減少から CO_2 の濃度 [%] を知るものである。最近では工場においては使用頻度は少ない。

物理的ガス分析計は各ガスの密度、粘度、熱伝導率、磁性、反応性、赤外線吸収性などが異なることを利用したものである。燃焼管理に使用されるガス分析計の種類を Table 1 に示す。

Table 1 Classification of Gas Analyzers

	Method of Measurement	Name of Analyzer	Measured Ingredients
Chemical gas analyzer	Absorption by solution	Hempel gas analyzer	CO_2 , O_2 , CO , N_2
		Orsat gas analyzer	CO_2 , O_2 , CO , N_2
Physical gas analyzer	Thermal conductivity method	Electric CO_2 meter	CO_2
		Unburnt gas meter	$CO + H_2$
	Specific gravity method	Specific gravity type CO_2 meter	CO_2
	Absorption of ultraviolet rays	Infrared gas analyzer	CO_2 , CO , CH_4 , SO_2 ,
	Electric conductivity	SO_2 automatic recorder	SO_2
	Electrochemical method	Zirconia type O_2 meter	O_2
		Galvanic cell type O_2 meter	O_2
	Magnetic method	Magnetic O_2 meter	O_2
Gas chromatography	Gas chromatography	CO_2 , N_2 , H_2 , O_2 , CO , CH_4 , SO_2 , NO_2	

1.1 排ガス試料採取方法

ガス成分を分析するための試料ガスを煙道から採取する場合には JIS K 0095 [排ガス試料採取方法] を参照し、対象成分に特有の問題点を考慮に入れて行う必要がある。

(1) 試料ガス採取点の選定

煙道内への空気の漏れ込みのあるところや、煙道内にばいじんが堆積したり、落下の著しいところを避けて、JIS Z 8808 [排ガス中のダスト濃度の測定方法] の規定に適合した煙道位置を選び、測定口を設け、煙道の大きさ、形に応じていくつかの測定点を設定する。ただしボイラの煙道のように各採取点における分析結果の相違が少なく、ガス濃度が採取位置断面においてほぼ均一と認められる場合は、任意の1点を採取点としてさしつかえない。

(2) 試料ガス採取装置の構成

採取装置は一般に採取管、導管、冷却除湿器、気液分離管、凝縮水トラップなどで構成される。採取管および導管の材質は、化学反応や吸着作用などで排ガスの分析結果に影響を与えないもの、腐食されにくいものを選ぶ必要がある。排ガス中の水分または露点の高いガス成分が凝縮してトラブルを起こすのを避けるために、必要に応じて採取管および導管を保温または加熱する。

試料ガスにダストなどが混入するのを防ぐためには、必要に応じて採取管にろ過材を入れ、さらに気液分離管の後に微細ろ過材を用いる。分析計内部の配管などへの凝縮水の付着および水分の妨害による指示誤差を避けるためには、必要に応じて水分を冷却凝縮させて除湿する冷却除湿器、気液分離管、凝縮水のトラップ、あるいは乾燥剤、吸着剤などを用いる。

1.2 二酸化炭素の分析

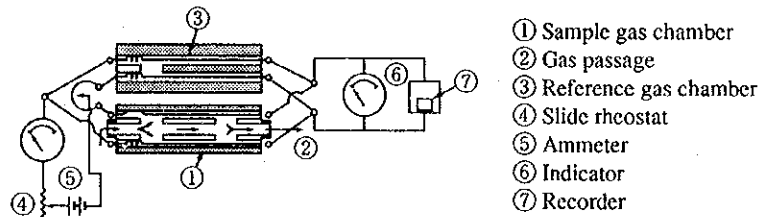
(1) 熱伝導率法

電気式 CO₂ 計ともいい、広く使用されている。CO₂ の熱伝導率が空気のそれと比べて非常に小さいことを利用したものである。

その機構は Figure 1 に示すように、① の試料ガス室と ③ の空気室内に張っ

た細い白金線に電流を通して約 100 °C に加熱する。ガス室に入った CO₂ の多い煙道ガスの熱伝導率は空気のそれよりも小さいから、加熱白金線の放熱はガス室のほうが小さい。したがって試料ガス室の白金線の温度は標準ガス室のものより高くなって電気抵抗は大となるから、それをホイーストン・ブリッジで測って ⑥ のメータで指示するか、または ⑦ の記録計に記録させる。

Figure 1 CO₂ Meter Using Thermal Conductivity



(2) 比重法

CO₂ は空気に比べて比重が大きいことを利用して CO₂ の含有量を測定しようとするものである。

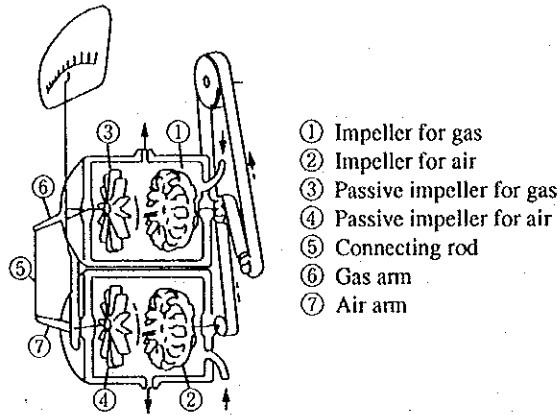
Figure 2 に示すように 2 個の同形同速の羽根車を一方は空気室内、他方は煙道ガスを送入した室内で互いに逆方向に回転させ、それらによって生ずる風圧をその各々に向きあった同形で自由に回転できる受動羽根車に受ける。いま両羽根車に同一条件の空気流を吹き付けてこの両者を作動させるときは、空気用腕を下方に回転しようとする力は同じで、両腕を結んだ連結棒は動かない。

しかしガス室内に煙道ガスを送入すると両者の比重の相違のためにガス用腕の回転トルクは空気用腕のそれよりも大きいから、連結棒はガス用腕によって引き上げられる。このトルク差による空気、ガス両腕および連結棒の動きを空気用受動羽根車軸につけた指針あるいは記録ペンによって示すものである。

ガスおよび空気は常に同一湿度を与えるために器底に水槽を設けてある。

煙道ガスの CO₂ 計として使用する場合に CO₂ 以外のガスの組成が異なると、ガス全体としての比重に影響するために若干誤差を生じる。

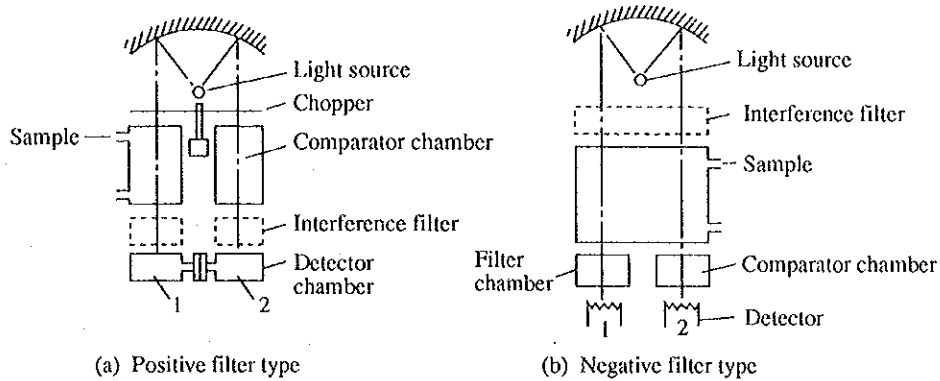
Figure 2 Specific Gravity Type CO₂ Meter



(3) 赤外線ガス分析法

H₂, N₂, O₂のように同一の2原子で1分子を構成するガスを除いてCO₂, CO, CH₄などほとんどすべてのガスは赤外線に対して固有の吸収波長帯をもっている。これを利用したもので、工業用赤外線ガス分析計には、正フィルタ形と負フィルタ形のものがある。正フィルタ形のは Figure 3 に示すように普通熱源はニクロム線を赤熱して用い、反射鏡により2つに分ける。1つは試料槽を経て検出器1に、他方は比較槽(普通N₂を入れる)を通過して2の検出器に入る。1、2の両検出槽には分析される成分に対応した標準ガス、すなわちCO₂濃度を測定する場合にはCO₂標準ガスが封入されている。(なお、最近の赤外線ガス分析計には半導体およびソリッドフィルターを使用し、本検出槽を使用しない簡易式の分析計も有る。)2検出槽の吸収エネルギーは変わらないが、1検出槽の吸収するエネルギーは試料槽中の分析するガスの濃度によって変わる。1、2両検出槽に吸収されるエネルギー差を、例えば間に挟んだコンデンサの容量変化として取り出し、分析するガス成分の濃度を指示させる。負フィルタ形のは、検出器に非選択性のものを使用し、フィルタ槽には被検ガスが100%入っており、補償槽にはN₂かあるいは試料槽のガスの中から被検ガスを除いたものを入れる。この場合の両検出器例えばボロメータ出力の差を測定して、被検ガスの濃度を知る(JIS K 0151 [赤外線ガス分析計] 参照)。

Figure 3 Infrared Gas Analyzer



1.3 酸素の分析

排ガス中の酸素濃度を連続的に測定するための自動計測器としては、JIS B7983 [排ガス中の酸素自動計測器] に規定されるものを使用するのがよい。

(1) 磁気式 O₂ 計

磁気式は常磁性体である酸素分子が磁界内で磁化された際に生ずる吸引力を利用して酸素濃度を連続的に求めるもので、磁気風方式と磁気力方式に分けられる。磁気体は体積磁化率の大きいガス（一酸化窒素）の影響が無視できる場合に適用できる。

a. 磁気風方式 O₂ 計

この方式は磁界内で吸引された酸素分子の一部が加熱されて、磁性を失うことによって生ずる磁気風の強さを熱線素子によって検出する。

b. 磁気力方式 O₂ 計

ダンベル型 非磁性体のダンベルが磁化された酸素分子によって磁界外に押し出される際の偏位置を検出する。

圧力検出型 周期的に断続する磁界内において、酸素分子に働く断続的

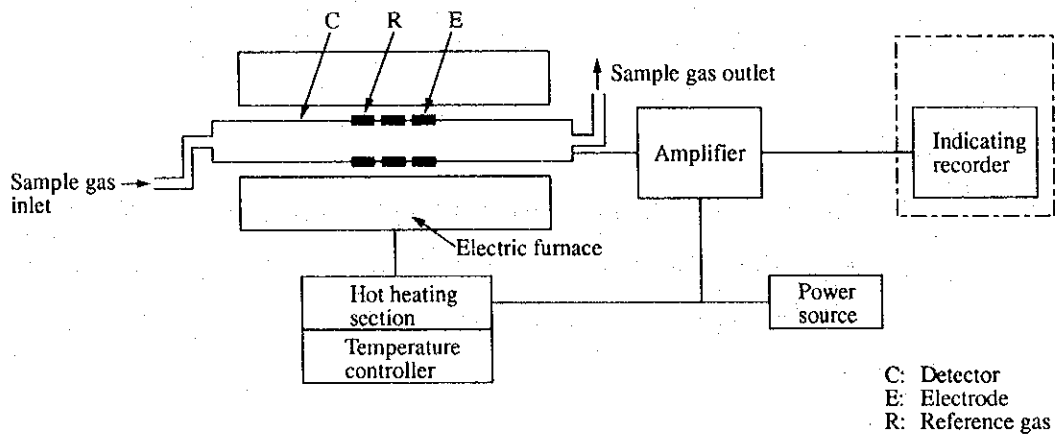
な吸引力を、磁界内に一定量で流入する補助ガスの背圧変化量として検出する。

(2) 電気化学式 O₂ 計

電気化学式は酸素の電気化学的酸化還元反応を利用して、酸素濃度を連続的に求めるもので、ジルコニア方式と電極方式に分けられる。

ジルコニア方式 この方式は高温に加熱されたジルコニア素子の両端に電極を設け、その一方に試料ガス、他方に空気を流して酸素濃度差を与え、両極間に生ずる起電力を検出する。Figure 4 はその構成である。

Figure 4 Structure of a Zirconia Analyzer



電極方式

この方式はガス透過性隔膜を通して電解槽中に拡散吸収された酸素が固体電極表面で還元される際に生ずる電解電流を検出する。この方式には外部から還元電位を与える定電位電解形およびポーラログラフ型、ガルバニ電池を構成させるガルバニ電池型がある。

1.4 一酸化炭素の分析

排ガス中の一酸化炭素は JIS K 0098 [排ガス中の一酸化炭素分析方法] にしたがって次の方法により分析する。

(1) 酸化凝縮法

液体空気で冷却して試料ガス中の凝縮性成分を除き、残りのガスを酸化銅系ガス酸化剤中を通すことにより一酸化炭素を二酸化炭素に酸化し、同時に液体空気で凝縮させ、酸化凝縮前後のガス圧力の差を測定するか (差圧法)、またはこれを一定容積中に気化し、その圧力を測定して (気化測圧法) 一酸化炭素を定量する。

(2) ガスクロマトグラフ法

試料ガスの一定量を採取し、これを熱伝導度形検出器を備えたガスクロマトグラフに導入して得たクロマトグラムピークの高さから一酸化炭素濃度を求める。

(3) 赤外線ガス分析法 (非分散法)

一酸化炭素の赤外領域における光吸収を利用し、試料ガス中に含まれる一酸化炭素濃度を非分散型赤外線ガス分析計を用いて測定する。

(4) 検知管法

ガラス細管に一定量の検知剤を詰め、一酸化炭素検知管に試料ガスを通して得られた着色を利用して一酸化炭素を測定するものである。排ガス中の一酸化炭素濃度の概略値を知るための簡易測定法である。

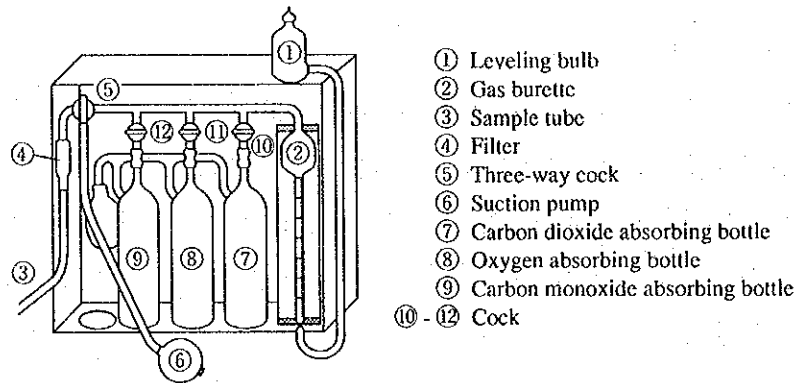
1.5 その他の分析方法

(1) オルザット法

排ガス中の二酸化炭素、酸素、一酸化炭素をオルザット式ガス分析装置を用いて吸収法により分析するもので、吸収液には水酸化カリウム溶液 (CO_2)、ア

ルカリ性ピロガロール溶液 (O₂)、アンモニア性塩化第一銅溶液 (CO) を用いる。装置は小型軽量で携帯に便利であり、操作も簡単であるが熟練を要する。

Figure 5 Orsat Gas Analyzer

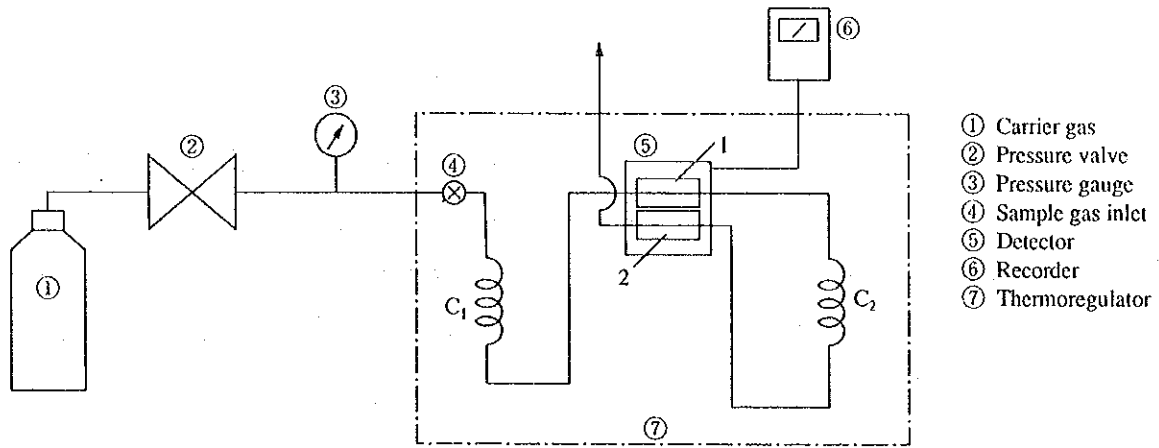


(2) ガスクロマトグラフ法

燃焼ガスの分析にガスクロマトグラフを使用することもできる。赤外線ガス分析計等と比較すると応答速度は遅く、連続分析はできないが、自動ガスサンプリング装置を付けることによって自動分析を行うことはできる。ガスクロマトグラフは多成分からなる試料の分析に適しており、特に微量成分の分析が可能である。燃焼ガスの主成分の CO₂、O₂、CO、N₂、CH₄、SO₂、NO₂ などが分析できる。

ガスクロマトグラフは熱伝導度型検出器を備え、気体試料導入装置または自動ガスサンプリング装置を付けたものを使用し、キャリアガスにはヘリウムまたは水素を用いる。上記の成分を単一の充てんによって分離溶出することはできないので、分離能力の異なる 2 種類のカラムを使用し、Figure 6 に示すように 1 つの恒温槽の中で 1 つのカラムは検出器の前流路に、他のカラムは検出器の後方流路に設置する中間セル方式により分離定量するのが便利である。C₁ カラムの充てん物にはシリカゲルまたは Porapak Q を、C₂ カラムにはモレキュラシーブ 13X または 5A を使用するとよい。この場合 C₁ カラム通過後と C₂ カラム通過後とは検出器の信号の極性が反対になるので、途中で記録計の極性を切替える必要がある (JIS K 0114 「ガスクロマトグラフ分析通則」および JIS K 2301 「燃焼ガス天然ガスのガスクロマトグラフ分析方法」参照)。

Figure 6 Intermediate Cell Type Gas Chromatograph



2. 温度の測定

2.1 温度計の種類と選択

温度の測定方法には、温度を測ろうとする物体と温度計の検出素子とを熱的によく接触させて同じ温度に保ち温度を測定する接触方式と、物体の放射などを利用して温度を測定する非接触方法とがある。各方式による温度計の特徴および必要条件は Table 2 のようである。温度計の選定に当たっては次の各項目を検討して計測の目的に適した温度計を選ぶ。

Table 2 Contact Method and Non-contact Method

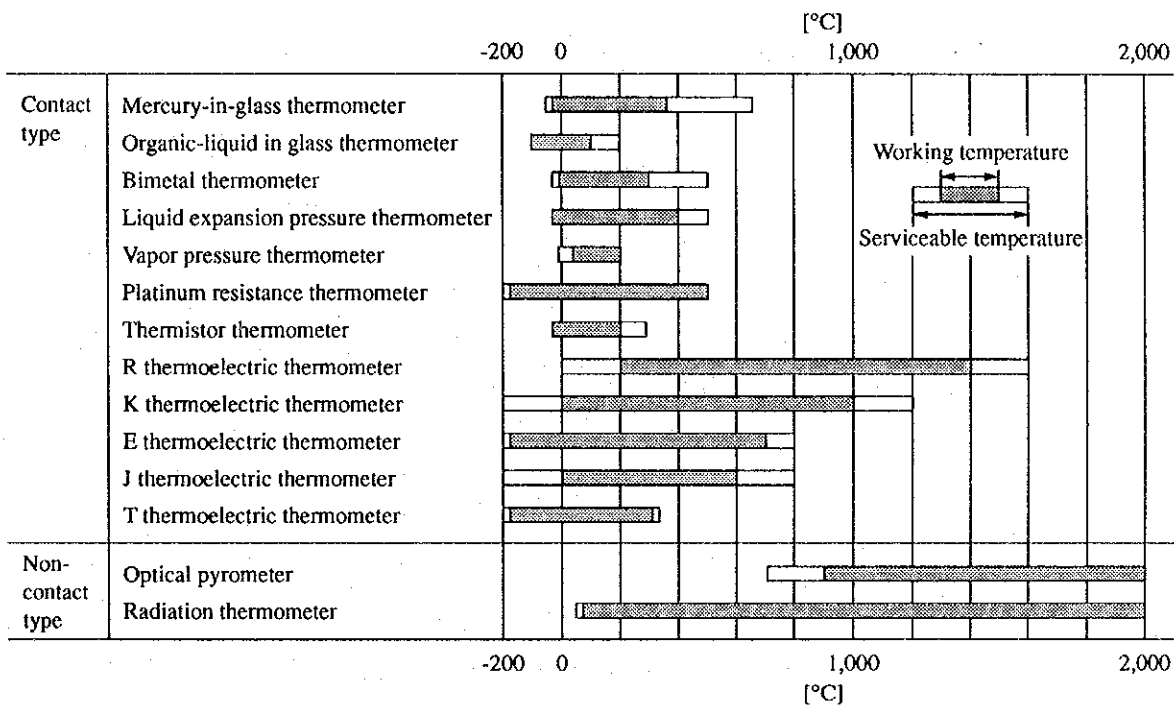
	Contact Method	Non-Contact Method
Requirements	(1) The object to be measured should be kept in close contact with the sensing element. (2) The temperature of the object to be measured should not be substantially changed even by the contact with the sensing element.	The radiation from the object to be measured should sufficiently reach the sensing element.
Features	(1) If the sensing element is brought into contact, the temperature to be measured tends to be changed. Therefore, it is difficult to measure the temperature of a small object. (2) The temperature of a moving object is difficult to measure. (3) The temperature at an optional point can be measured.	(1) Since the sensing element is not brought into contact, the temperature to be measured is not changed. (2) The temperature of a moving object can also be measured. (3) In general, surface temperature is measured.
Temperature range	Temperatures lower than 1000 °C can be easily measured.	Suitable for measuring high temperatures.
Accuracy	In general, about 1 % of scale span.	In general about 10 degrees.
Delay	Generally large	Generally small

- (1) 測ろうとする温度の範囲。(原則として常用温度)
- (2) 精度および測定上起こりうる誤差。
- (3) 検出部の材質、形状、寸法など。
- (4) 指示の遅れ。

- (5) 指示の読み取りやすさ。
- (6) 遠隔測定、記録、警報、または自動制御の必要性。
- (7) 耐久性、耐食性、信頼性。
- (8) 取り扱いやすさ。
- (9) 互換性。

各種温度計の種類および使用範囲は Figure 7 に示す。

Figure 7 Kinds and Working Ranges of Various Thermometers (JIS Z 8710)



2.2 液体封入ガラス温度計

各種の温度計のうちで最も取り扱いが簡単で、安価である。一般に使用されるのは二重管温度計と棒状温度計である。二重管温度計は毛細管とその背後の乳白ガラスの目盛板を 1 本のガラス管に封入したもので、小さい目盛分割のものが多く、示度の読み取りが正確にできるので一般に精密な測定に用いられる。棒状温度計は肉厚の毛細管に直接目盛が刻まれているもので、一般に二重管温度計より機械的強度が強い。

液体封入ガラス温度計による温度測定法には JIS Z 8705 がある。

2.3 圧力温度計

水銀、その他の液体、気体を密閉管中に封入してこれに熱を加えると、管内の圧力が增大する。この圧力を利用して温度を知るもので、Figure 8 に示すようにその構成は温度測定場所に挿入する感熱部と計器内の圧力バネとその間を連結する毛細管からなっている。

精度はあまり良くないが、ガラス温度計に比較して構造が堅牢、読み取りが容易であり、遠隔測定に適しているので危険な場所から離れて測定ができる利点がある。また自動調節にも利用できる。

Table 3 はこの温度計の種類および性能である。

Figure 8 Pressure Thermometer

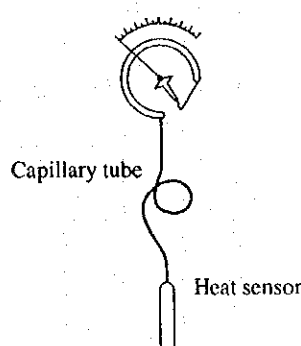


Table 3 Kinds and Performance of Pressure Thermometers

Kind	Liquid Expansion Type	Vapor Pressure Type
Enclosed material	Mercury	Volatile liquid
Scale range (°C)	-30 to 500	-20 to 200
Maximum length of capillary tube (m)	8 to 20	50
Sensibility	Good	Rather poor
Influence of capillary tube on temperature	A little	Nil
Influence of atmospheric pressure	Extremely little	A little at low pressure
Influence by the locations of heat sensor and meter	A little	Considerable at low pressure

2.4 電気抵抗温度計

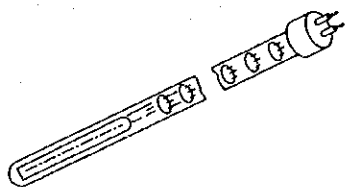
(1) 測温抵抗体

金属線は温度が上昇すると電気抵抗が変化し、その間に一定の関係がある。したがってある金属線を被測温体に触れさせ、それと等温度になったときの金属線の電気抵抗を測って温度を求め、被測温体の温度とするものである。

抵抗体は、温度による抵抗の変化 (温度係数) になるべく大きく、その値は規則的で安定であることが望ましい。この要求から白金線が精密測定用として最もすぐれ、古くから測温抵抗体として使われているが、高価であることが欠点である。

Figure 9 に精密測定用の最も一般的な形の白金抵抗体を示す。直径約 0.01~0.2 mmの白金線を中央で折り曲げて 2 本の平行線として雲母板あるいは磁器板の十字に組み合わせた枠に巻き付け、普通導線抵抗による誤差を除くために 3 本あるいは 4 本の導線を取り付ける。

Figure 9 Platinum Resistance Element



抵抗線は、裸のまま使用することもあるが、一般に測定する温度あるいは測定しようとする物に応じて、ガラス、石英、磁器、金属などの保護管に入れて用いる。

ニッケル抵抗体は価格も安く、常温で安定、温度係数が大きいので白金に次いで多く使用されるが、200 °C以上では使用できない。

サーミスタは Ni、Mn、Co などの金属酸化物を混合焼結して作った半導体で、サーミスタ抵抗の温度係数は温度によって変化するので、広い温度範囲に対し

て温度係数を一定と考えることはできない。しかし、25℃におけるサーミスタの温度係数は約 -2~6 % / °C で極めて大きく、白金線の約 10 倍である。測定温度範囲は -50~350℃ 程度で、測温部が小さく製作でき、したがって、時間遅れも小さい。

(2) 計測器

- a. ホイトストーン・ブリッジによる方法 Figure 10 に示すように、ブリッジの四辺は抵抗 P および Q、可変抵抗 R、白金線抵抗 X から構成され、電流計 G がゼロを指示するように R を調節すれば、

$$X = R \frac{Q}{P}$$

普通 $P = Q$ としてあるから、 $X = R$ で与えられる。

精密な抵抗測定には抵抗体と測定器をつなぐ導線の抵抗を無視することができない。その影響を消すために導線にいろいろの考案がある。Figure 11 は 3 線式結線の例である。

すなわち、白金線コイルの一端から L_1 および L_2 の 2 本の導線を、また他端からは L_3 の導線 (合計 3 本の導線) を出して、各抵抗を L_1 、 L_2 、 L_3 とすれば、

$$X + L_3 = R + L_1$$

いま $L_1 = L_3$ とすれば $X = R$ となり、R の値はコイルの抵抗 X を与える。

Figure 10 Whetstone Bridge

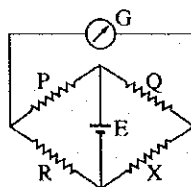
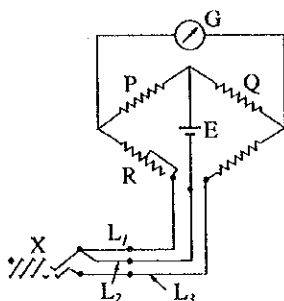
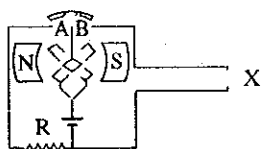


Figure 11 Three Lead Wires



- b. 電子式自動平衡計器による方法、ブリッジ回路に電子式自動平衡機構を組み合わせ、零位法によって温度を指示または記録するものである。測定原理によって交流ブリッジ式と直流ブリッジ式とに大別できるが、交流ブリッジ式は測温抵抗体あるいは導線に誘起する交流雑音電圧によって誤差を生じやすく、直流ブリッジ式のほうが多く実用されている。
- c. 可動線輪式比率計による方法 Figure 12 は可動線輪式比率計を用いて白金線抵抗 X を測定する結線図である。永久磁石の両極 NS 間に可動線輪 A、B があり、B の線輪には白金線の抵抗 X が入っている。温度変化によって X が変われば A、B 両線輪の合成磁界と永久磁石の磁界とが新たに平衡する位置まで指針が振れる。工業用として広く使用される。

Figure 12 Moving Coil Type Ratio Meter



- d. 電位差計による方法
極めて正確に抵抗、すなわち温度を測定できる。主として精密測定用および検定用に使用される。

(3) 自己加熱による誤差

抵抗温度計では、測温抵抗体に電流が流れるから、ジュール熱によって温度が上がる。その大きさは抵抗線の種類によって異なるが普通 0.2 °C 以下で無視できる場合が多い。

2.5 熱電温度計

(1) 熱電対

Figure 13 に示すように、異種の金属線の両端を接合し、両接点を異なった温度に保つとゼーベック効果によって熱起電力を生ずる。この起電力を直流ミリボルト計または電位差計を用いて測定し、温度を知るものである。このような金属の組み合わせを熱電対 (サーモカップル) という。低温の接点 (冷接点) を標準用として氷槽に入れて 0 °C に保っているが、一般工場用としては水中、地中あるいは大気中において一定温度に保ち、他端 (熱接点) は測定場所に挿入する。

Figure 14 は熱電対の構造である。

Figure 13 Principle of Thermocouple

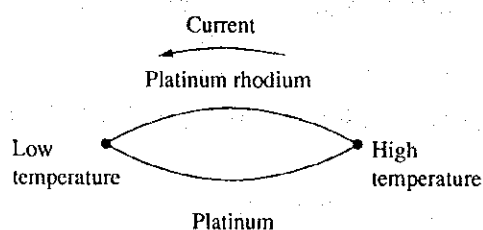
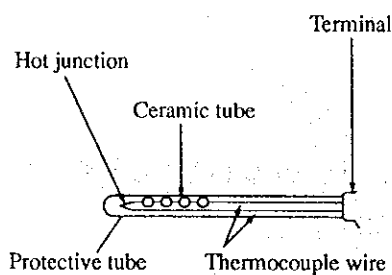


Figure 14 Thermocouple



(2) 熱電対材料の具備条件

- a. 熱起電力が大きく、温度の上昇に伴って連続的に上昇すること。
- b. 熱起電力が安定であって、長時間の使用に耐え、履歴現象のないこと。
- c. 耐熱性で、高温中でも機械的強度をもち、高温の空気やガス中で、耐食性であること。
- d. 再生度が高く、特性の一定なものが容易に作られ、かつ加工も容易なこと。
- e. 電気抵抗およびその温度係数になるべく小さく、また熱伝導率が小さいこと。
- f. 材料の供給が円滑、かつ安価なこと。

以上のような要求から、白金-白金ロジウム (JIS 記号 R.S) クロメル-コンスタンタン (E)、クロメル-アルメル (K)、鉄-コンスタンタン (J)、銅-コンスタンタン (T) などが用いられる。

Figure 15 は JIS に定められる熱電対の熱起電力線図である。

高い温度の測定のための熱電対としては、Ir - Ir · Rh (40%) 2000℃、W - Ir 2,100℃、W - W · Re (26%) 2,980℃などがある。

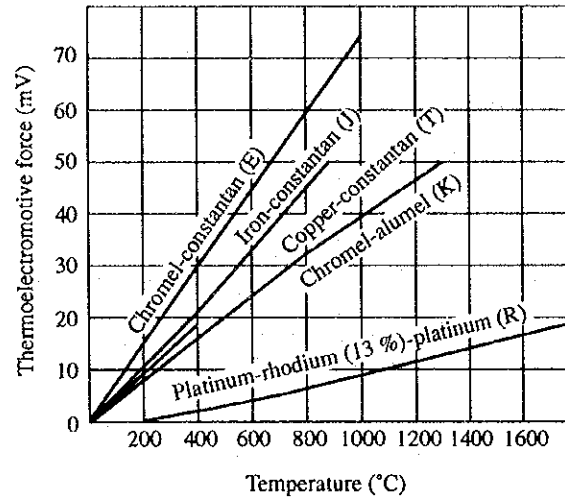
白金-白金ロジウム熱電対 (R) はクロメル-アルメル熱電対 (K) に比べて熱起電力は小さいが、耐熱度は高く、精度も良い。酸化ふん囲気中で強いが、還元ふん囲気中や金属蒸気中では弱い。

(3) 補償導線

高価な熱電対線では保護管の端子から冷接点までを補償導線で代用する。

熱電対の端子温度付近での補償導線の起電力特性はニッケルの配合比によって適当に定められる。

Figure 15 Thermoelectromotive Forces of Thermocouples Specified in JIS



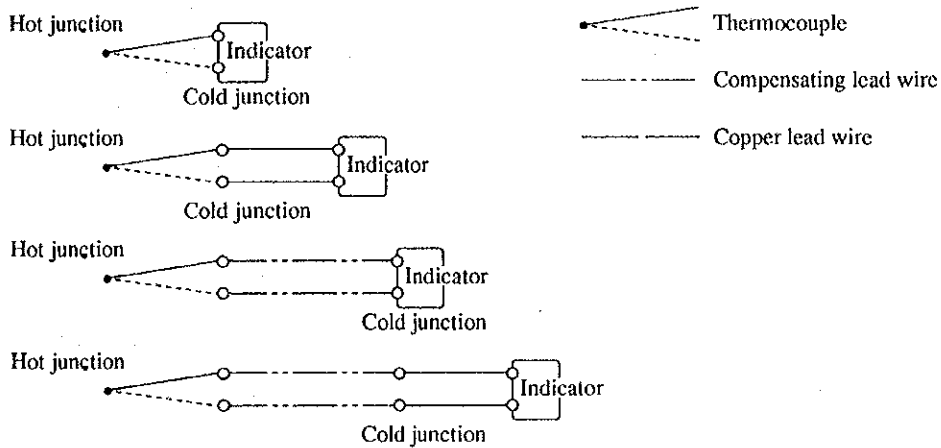
(4) 冷接点温度に対する補正

冷接点は原則として 0 °C に保つのであるが、それが、困難な場合には次のようにして補正する。すなわち 0 °C でない冷接点 t_c と熱接点 t_H の間に E [mV] の起電力があったとすれば、使用した熱電対の温度と熱起電力曲線上あるいは起電力表から 0 °C と t_c との間の熱起電力 e を求め、 $E + e$ に相当する温度を線図上あるいは起電力表から求める。

熱電対、補償導線、銅導線、指示計の結線方法は Figure 16 に示すような、いろいろな結線法があるが、各結線方法における冷接点の温度が、冷接点温度の補正温度になる。

なお、この冷接点補正を温度係数の大きい抵抗線やバイメタルなどによって自動的に補正できるようにした計器もある。

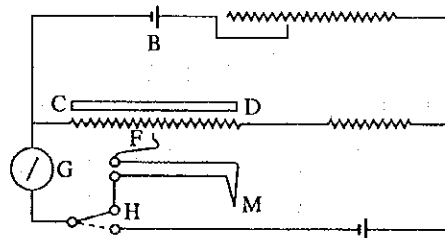
Figure 16 Various Connection Methods and Cold Junction



(5) 計測器

熱起電力を普通の電位差計で測る場合には Figure 17 に示すように熱電対 M から出る起電力と乾電池 B から供給する既知の一定電流とを比較し、検流計 G の指針がゼロを指すようにスライド抵抗 C-D 上の接触子 F の位置を調節する。そのときの位置が熱電対の起電力に相当する温度を指示するようになっている。電位差計では規定電流と熱起電力とをつり合わせるのに機械的な方法を用い、不平衡の検出に比較的繊細な検流計が必要であり、またその検出が間欠的である。

Figure 17 Potentiometer



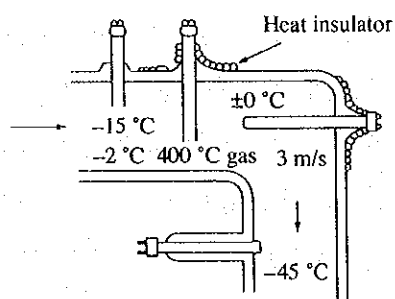
電子式はこの検流計およびそれに関連する機械的機構の代わりに、電子式連続平衡装置を利用するもので、抵抗線の場合の電子平衡器と同じである。電子式は指針を動かすトルクが大きく、目盛を大きく表せるので遠方からみえ、かつ指示が確実で精度が良く、自動記録も容易で目盛の温度範囲の狭い計器を作ることができる。しかし構造は複雑である。

(6) 熱電温度計の誤差

電氣的な誤差には熱電対と計器の組み合わせによるものおよび温度、磁界などが及ぼす電気計器一般の誤差がある。また計器の経年変化および熱電対の劣化による誤差がある。

使用する場合に注意しなければならないのは、熱的誤差であって、温度を測ろうとする物体に熱電対を接触すると熱電対はその物体から熱を奪って被測定体の温度が下がる恐れがある。あるいは熱電対を測定場所にさし込んだときに熱電対および保護管を伝わって熱が逃げる。Figure 18 にそのための誤差の一例を示す。

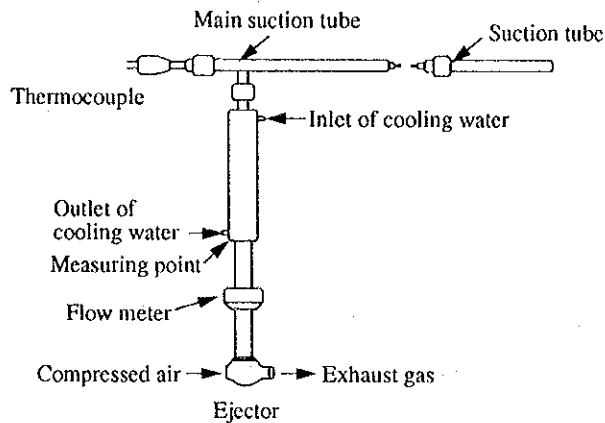
Figure 18 Caution for Use of Thermometer



また熱電対は測温点の温度を感じる以外に、付近のさらに高い温度の物体から放射熱を受けるか、逆に低い温度の物体に熱を放射によって与えるので殊にガス体の温度測定では誤差を生ずる。

Figure 19 はそれを防ぐための吸引式温度計 (サクション・パイロメータ) で、熱電対を二重管にして放射の影響を防ぎ、さらに熱電対の周囲にガスを高速度で吸引して、熱電対への熱伝達をよくしてガス自体の温度を知ろうとするものである。

Figure 19 Suction Pyrometer



(7) シース熱電対

Figure 20 に一例を示すように、熱電対の保護管の中に、マグネシア (MgO)、アルミナ (Al_2O_3) を入れて固めたもので、極めて細く作られ可撓性がある。直径 0.25~12 mm 程度のもも作られていて、屈曲のできる半径は直径の 1~5 倍である。細いので局所的な温度測定に適し、指示の時間遅れも小さく、被測温体の温度を乱さない。

Figure 20 Sheathed Thermocouple

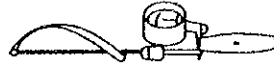


(8) 表面温度計

Figure 21 に示すように、熱電対の冷接点を手で握るところにおき、熱接点を物体の表面に接触させて表面温度を測るものである。

温度計を接触させることによって被測温体の温度が降下することを防ぐために内部から加熱するようにしたものもある。

Figure 21 Surface Thermometer



2.6 放射温度計

物体は温度が高いほど強い放射熱を出す。いま放射率 ε 、絶対温度 T [K] の物体から単位面積、単位時間に放出される放射熱 Q は、

$$Q = 5.67 \times \varepsilon \times \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$

の関係があるから、この放射エネルギーを測って温度を知るものである。

計器の指示は黒体について、すなわち放射率 (黒度) $\varepsilon = 1$ として目盛っているから、黒体でないものについては測温体の ε を知って、 $4\sqrt{\varepsilon}$ で割れば真の温度が求められる。

Table 4 は各種物体の放射率の一例で、物体の温度、状態などによって多少の違いがある。

Table 4 Surface Emissivities ε of Some Materials

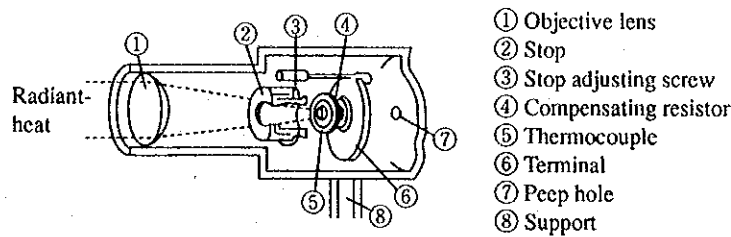
Surface	Temperature Range (°C)	Emissivity ε
Iron oxide	500 to 1200	0.87 to 0.89
Silica brick	1000	0.80
Rough aluminium surface	25	0.055
Rolled steel sheet	21	0.675
Limestone	63 to 193	0.36 to 0.40

放射温度計は Figure 22 に示すように、放射エネルギーをレンズで集めるものと反射鏡によるものがあるが、前者が主として使用されている。

レンズ式のものには放射の可視部分および赤外部に対して透明なレンズを選ぶ。放射エネルギーの測定には熱電対あるいは熱電対を多数集めた熱電すい、バイメタルなどを用いる。こうすると電池などの消耗品が不要になる上、出力も相当大きくとれ

るので出力電圧で直接記録ができ、さらに温度調節用に使用することもできる。

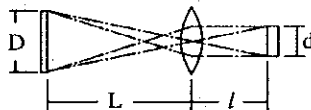
Figure 22 Radiation Thermometer



使用上の注意

- (1) 被測温体との間に煙、水蒸気、CO₂があると誤差を生ずる。
- (2) 発信器の温度が上昇すると誤差がでるから、適当な空冷、水冷装置をつける。
- (3) 計器によって距離係数が決まっているから注意しなければならない。Figure 23 に示すように、被測温体から発信器のレンズまでの距離を L 、被測温体の有効な直径を D 、レンズから感熱体への距離を l 、感熱体の大きさを d とするとき l/d を距離係数といい、普通 10~30 である。この場合 $L/D < l/d$ の関係が成り立つような L および D を選ぶ必要がある。

Figure 23 Distance Coefficient



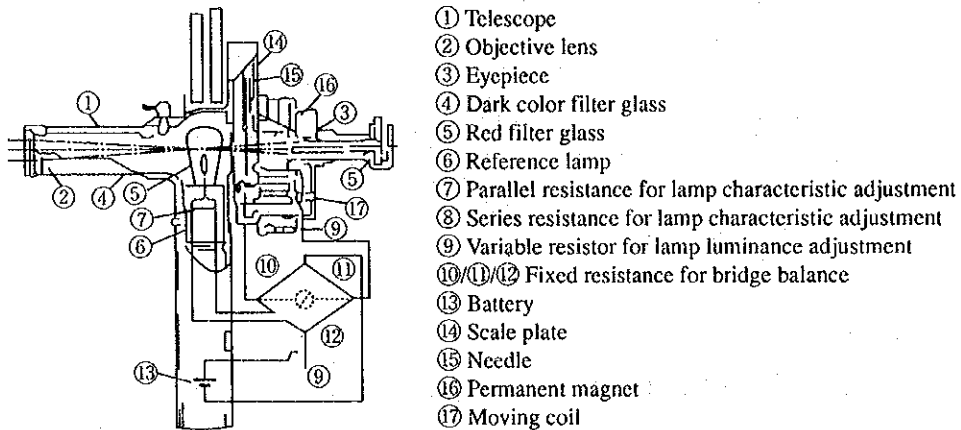
2.7 光高温計

光高温計は放射温度計の一種であるが、高温体の発する放射線のうちのある特定波長 (普通 0.65μ 赤色) の放射エネルギーを、装置中にあるほかの標準温度の高温体 (電球フィラメント) のそれと輝度を比較して、温度を知るものである。

Figure 24 に示すものは、最も広く用いられている線条消失型光高温計の内部構造を

示したものである。

Figure 24 Structure of Optical Pyrometer



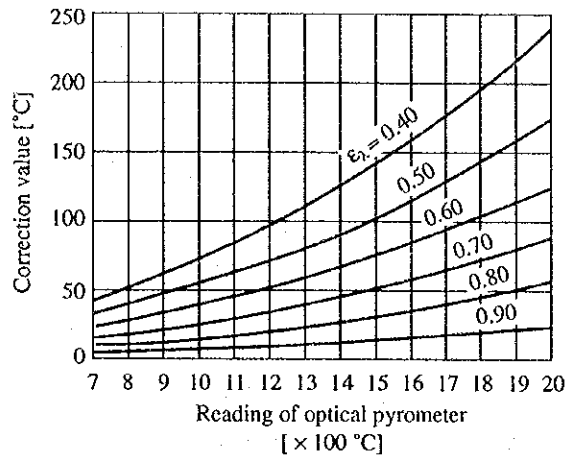
全体が 1 つの望遠鏡をなし、その中央に比較用の標準電球がある。まず望遠鏡を測定する高温体に向け、物体の像が線条の平面上に重なるように鏡筒を加減する。赤色濾光ガラス板を通して、目によって物体の像と線条の頂点の輝度を比較し、それが等しくなるように抵抗器によって線条電流を調節する。標準電球の線条温度と線条電流の関係はあらかじめわかっているから、そのときの電球の線条に流れる電流を電流計で読めば、線条電流に対応する温度を得ることができる。この温度を目盛り示すようにしてある。

また、比較光源の輝度は一定の電流によって常に一定に保ち、測定すべき高温体からの光をある厚さの曇りガラスを通過させたり、偏光器を通してその輝度を減弱して、比較光源と輝度を等しくなるように調節して測定する方法もある。ルシャテリ高温計、ワナ高温計がそれである。

光高温計によって黒体でない物体の温度測定を行った場合には、真の温度を知るには波長 $0.65 \mu\text{m}$ (赤色) に対するその物体の放射率 ϵ_λ を知って補正を行わなければならない。Figure 25 はその補正表である。

光高温計を人間の目でみる代わりに、光電池または光電管を利用したものが光電池温度計または光電管温度計である。

Figure 25 Correction by Emissivity



2.8 色温度計

一般に物体は 700°C 以上の温度になると発光し始め、温度が高くなればなるほど赤色から赤黄色さらに青味を帯びてくる。これは温度が高くなればなるほど、光の中に含まれる短波長 (青) の成分が多くなり、逆に長波長 (赤) の成分が少なくなる。つまり青が強くなってくるからである。色温度計は、色フィルタを通して高温体を観測しながら、フィルタを調節して 2 つの波長の放射エネルギーのうち一方を弱めて高温体の色が標準の色になったのを人間の目で確かめ、そのときの一方の波長の放射エネルギーを弱めた度合から高温体の温度を求めようとするものである。色フィルタ式温度計やビオプチックス温度計がこれであるが、2 つの波長の放射エネルギーの比を光電管などを利用して計り、温度を自動的に指示、記録させるようにした二色温度計もある。放射率による影響が小さく、測定値は真温度に近い。

2.9 その他の温度測定法

(1) ゼーゲル錐

粘度その他種々のケイ酸塩および酸化金属類を配合して作った三角錐で、これが加熱された場合、その特定成分に応じて特定温度で軟化変形することから、たとえば窯炉などの炉内温度を知るのに用いられる。加熱速度、炉内ガスふん

囲気、その流速、周囲炉壁温度などの影響を受ける。使用場所によっては普通の温度計より便利な場合もある。陶磁器工業その他の窯業に使用される。

(2) 示温塗料

被測温部に塗料を塗り、この色が所定温度で変化することを利用して温度を知る。可逆性のものと不可逆性のものがある。

(3) バイメタル温度計

熱膨張率の異なる 2 種の金属を張り合わせて、温度変化による反りを指針に伝える。温度調節にも用いることができる。

3. 流量の測定

3.1 流量計の種類、特徴

液体または気体の流量を測定する方法は大別すると体積または質量を測定する体積式、オリフィス板またはノズルの絞り機構による差圧式、差圧を一定に保って絞りの面積を変えて流量を知る面積式、液体中のプロペラなどの回転から流量を知る流速式、ピトー管を使用する方式、流体の渦を利用する方式、液体の熱吸収量を測定する熱線式などがある。このうち、熱管理に使用される主な流量計の種類、特徴、精度などは Table 5 のようである。

流量計の選択に当たっては次の点を考慮する。

- (1) 流体の温度、圧力、密度。
- (2) 流量の大小と変動範囲。
- (3) 固形物の含有状況、圧力損失。
- (4) 腐食性、有害性、引火性。
- (5) 積算値か、瞬間値か。
- (6) 記録値か、指示値か。
- (7) 直視計測か、遠隔計測か。

Table 5 Kinds, Features and Accuracies of Flow Meters

Measuring Method	Flow Meter	Features	Accuracy
Volume method	Wet gas meter	<ul style="list-style-type: none"> Gas only can be measured. Measuring range: 1 m/min to large flow rates 	±0.5 %
	Dry gas meter	<ul style="list-style-type: none"> There is no fear of freezing since water is not used. Handling is simpler than with wet type. 	±0.5 %
	Rotary piston type	<ul style="list-style-type: none"> Measuring accuracy depends on the flow rate range and the nature of fluid. Pressure loss is small. 	Approximately ±0.5 %
	Oval flow meter Roots flow meter	<ul style="list-style-type: none"> Volume flow rate can be measured irrespective of kind, viscosity and density of liquid. Mainly for liquid. 	±0.1 to 2 %
Flow velocity method (impeller method)	Axial flow type (Waltman type)	<ul style="list-style-type: none"> In general, used for measuring the flow rate of city water. 	Approximately ±4 %
	Venturi tube diversion	<ul style="list-style-type: none"> Can measure large flow rates of water. Apparatus is simple. 	
	Turbine meter	<ul style="list-style-type: none"> Small and can measure large flow rates. 	0.2 to 1 %
Area method	Rotameter	<ul style="list-style-type: none"> Effective measuring range is wide. Flow rate at low Reynolds number can be measured. Scale keeps almost linearity. 	Approximately ±2 %
	Piston type flow meter	<ul style="list-style-type: none"> Used for measuring fuel oil with high viscosity. Allows telemetry. 	
Measurement of velocity head	Pitot tube	<ul style="list-style-type: none"> Simple and inexpensive. 	
Throttle method (differential pressure method)	Orifice Flow nozzle	<ul style="list-style-type: none"> Mechanism is simple. Liquid, gas, vapor, etc. can be measured. 	Approximately ±1 %
	Venturi tube	<ul style="list-style-type: none"> Pressure loss is small. 	
	Vortex	Swirl meter Delta flow meter	<ul style="list-style-type: none"> For gas Measuring range is wide.
Hot wire method	Thomas gas meter	<ul style="list-style-type: none"> For gas 	
Electromagnetic method	Electromagnetic flow meter	<ul style="list-style-type: none"> No pressure loss. Quick response. 	Approximately ±2 %
Ultrasonic method	Ultrasonic flow meter	<ul style="list-style-type: none"> No pressure loss. 	

3.2 体積式による方法

体積式流量計では一定の体積の容器に流体を導入して流量を測定する。Figure 26 は湿式ガスメータで、気体の流量を測定する。半ばまで水を満たした水平円筒内に A、B、C、D の 4 室をもった回転ドラムが取り付けられており、入口 G より順次各室に入ったガスは、室内の水を置換する。その浮力によりドラムは回転し、ドラム内の気体は再び水と置換して出口 F から出ていくため、流量と比例した回転数が得られ

る。水位が一定でないとき計量室の体積が変わってしまうため誤差が生じる。また、水の蒸気圧の影響を受けるため、水温を正確に測って補正する必要がある。

乾式ガスメータは、普通合成ゴム製のドラムが 2 個あり、一方にガスが充満すると弁の作用でガス流路が他方に変わる。合成ゴムドラムの伸縮によって計量機構を動かす。湿式ガスメータに起こる氷結がないこと、またガス中に湿気が入ることがないのが利点である。

Figure 27 は、ロータリ・ピストン式流量計で、シリンダの半径方向に 1 つの隔壁があり、ここをロータリ・ピストンの切欠部がしゅう動しながらピストン外周の 1 点が常にシリンダ内壁に接して偏心運動を行う。動作はピストンの内外部に与えられる流体圧によって起こり、流体はピストンの内外の体積で計量される。

Figure 26 Wet Gas Meter

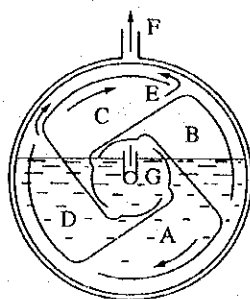


Figure 27 Rotary Piston Type Flow Meter

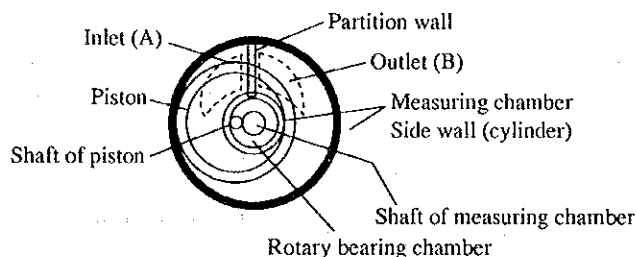
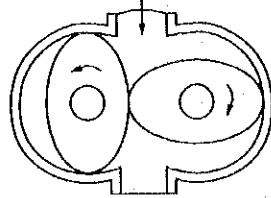


Figure 28 はオーバル流量計で、2 個のだ円形歯車回転子が、流体の出入差圧によって回転し、その回転数によって流量を測定する。形式および流量の伝達表示方式は各種のものがある。

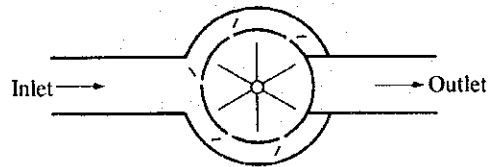
Figure 28 Oval Flow Meter



3.3 流速式による方法

流体中のプロペラなどが、流速によって回転することから流量を知るものである。Figure 29 は羽根車式流量計で、単箱式および複箱式の 2 種類がある。ウォルトマン式流量計は、水道などの大流量計測などに使われる。工業用としてはウォルトマン式と同様のタービン流量計が一般に使用されている。

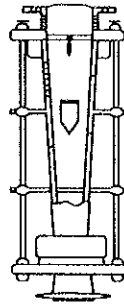
Figure 29 Impeller Type Flow Meter



3.4 面積式による方法

差圧を一定に保ち、絞りの面積を変えて流量を知る方法である。Figure 30 は浮遊式流量計 (ロータメータ) で、下部口径が上部口径よりやや小さい垂直管中を測定する流体が流れるとき、その管中にある浮標は流体の流量に応じた高さまで押し上げられて静止する。その静止位置から流量の瞬間値がわかるように目盛りしてある。なお、この流量計を使用するに当たっては、流体の密度、圧力、粘度などによって、測定値に変動があるので注意しなければならない。各種の条件に合わせて多数の種類がある。使い方によっては簡易で便利なもので、多方面で広く使用されている (JIS Z 8716 参照)。

Figure 30 Rotameter



3.5 速度水頭を測る方法

Figure 31 はピトー管で、前部に穴があり、その穴を流体の流れに向けるとその点の流体の静圧と、速度に対する動圧との和に相当する圧力を生ずる。そのときに横の口に通ずる穴には流体の静圧だけしか現れないから、この差 h を適当な圧力計で測って流体の流れの速度を知り、体積流量 Q を求めることができる。

$$Q = A \cdot c \sqrt{2h / \rho} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

A : 管の断面積 $[\text{m}^2]$ 、 $g = 9.8 \quad [\text{m}/\text{s}^2]$ 、

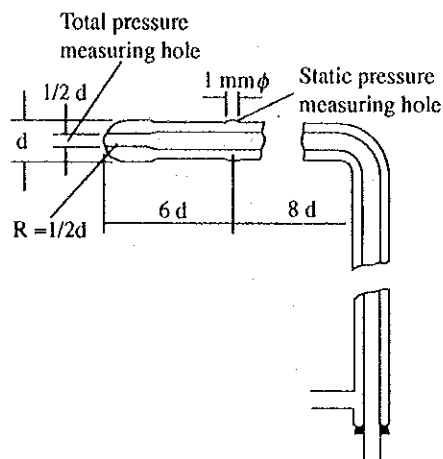
h : 圧力差 $[\text{Pa}]$ 、 $[\text{mmH}_2\text{O}]$ 、

ρ : 流体の比重 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、

c : 流量係数。

ピトー管による測定は簡単であるが、使用方法を誤ると大きな誤差をまねく、すなわち、ピトー管を流れの方向に正対するように設置すること。ピトー管の断面積は管路の断面積の 1 %より小さいこと。ピトー管の前には管径の 20 倍以上の距離の直管部を必要とする。飛じんの多い場合は双頭形のウェストン式ピトー管を使用するが、これは流量係数に留意する必要がある。

Figure 31 Pitot Tube



3.6 絞り機構による方法

オリフィスは一般に使用されているこの方法の流量検出素子である。

管路中に絞りを挿入して生ずる圧力差を測り、ベルヌーイの定理から流量を求める。

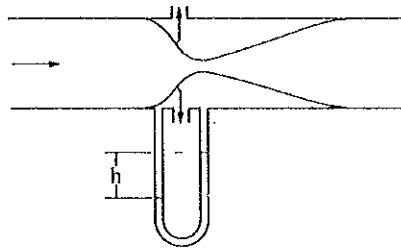
すなわち、Figure 32 に示すような真直な管の途中に管断面積よりも小さい穴をもった絞り板 (オリフィス板、ノズル板) を挿入して流れを絞り、その前後の圧力差から流量を測定する装置である。気体にも液体にも用いられる。いま、 F : 絞り板の穴の断面積 [m^2]、 h : $P_1 - P_2 =$ 絞り板前後の圧力差 [Pa]、 ρ : 流体の比重 [kg/m^3]、 c : 流量係数、 ε : 膨張補正係数すれば、単位時間に管を通る流体の質量 M および体積 W は、

$$M = c \cdot \varepsilon \cdot F \sqrt{2\rho (P_1 - P_2)} \quad [\text{kg}/\text{s}]$$

$$W = c \cdot \varepsilon \cdot F \sqrt{2(P_1 - P_2)/\rho} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

から求められる。すなわち差圧の平方根に比例する。

Figure 32 Throttle Plate Flow Meter



3.7 熱線式による方法

熱線流速計は、タングステンなどの金属細線や薄膜などを流れの中に置いて電流で加熱し、対流によって持ち去られる熱量から流速を測定する。通常は、熱線の温度を一定に制御し、加熱量から流速を求める。熱線流速計は、検知部が小さく数 kHz まで応答があるため、流れの変動を測るのに適しているが、流体温度の影響を受けやすい。質量流量計は最近急速に普及した流量計で、主に気体の流量計測に用いる。主流路にはキャピラリなどの抵抗を挿入し、バイパス管にヒータを取り付けるとともに、その前後に検出用抵抗線を巻く。ヒータを加熱した時に、その上流測と下流測では流体の密度と比熱および流量によって温度上昇が異なるので、その温度差を検出して流量を求める。この流量は質量流量であるため、流体の温度、圧力は測定値に影響を与えない。

この方式は応答が早く電気信号で出力されるので、自動バルブと組み合わせて流量制御装置として使用されることが多い。検知部が流体に直接触れないため腐食性流体にも使用できる。

3.8 電磁式による方法

Figure 33 に示すように導電性の流体が流れている管の両側に、流れの方向に対して直角に磁場を作ると、流れと磁場の各々に直角な方向に起電力 E を生ずる。

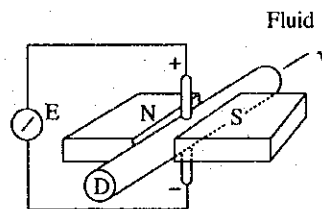
いま管径 D の管中を導電性流体が平均速度 v で流れ、磁場の強さを H とすると、体積流量 Q との間には、

$$Q = C \cdot D \cdot \frac{E}{H} \quad (C: \text{定数})$$

の関係がある。そして磁場の強さおよび管径が一定ならば、起電力は体積流量に比例する。

この流量計の特徴は圧力損失が全くないこと、応答が非常に早いこと、少々固体の粒子が混入しても使えることである。

Figure 33 Electromagnetic Flow Meter



3.9 液体の渦による方法

流体に“渦”を発生させて、その周波数特性が流速と比例関係にあることに着目して開発されたもので、Figure 34 にそのデルタ型流量計を示す。三角形の柱状渦発生体に 2 個の熱的センサを組み込んであり、カルマン渦の交番的变化をセンサの抵抗変化でとり出し流量として表示する。

Figure 35 は渦流量計でデルタ型と同様の原理によるものであるが、円柱状の検出器であることとセンサ素子が極細白金線 1 個であり (デルタ型はサーミスタ)、したがって電気的な回路構成は異なっている。両者ともその構造上、圧力損失が小さく、取り付け、取り外しが容易である。渦流量計にはパージ式のものがあり煙道など飛じんや腐食性のある流体に用いられる。

Figure 36 はスワールメータで、計器本体の、スワラ、デスワラ、センサおよび検出増幅器からなり、本体の内部はベンチュリ構造になっている。気体用として開発されたもので、スワラ (固定旋回翼) によって生成する渦巻きは軸心部が突出した軸中心対称の速度分布であるが、ベンチュリ部の首の部分でみそすり運動を起す。速度中心 (渦巻き中心) の回転数は気体の実容積に比例するので、これを熱センサ

(サーミスタ) で検出し流量を表示する。

デスワローは下流側の影響を除くためにこれによって渦のない状態にもどす。

いずれも測定範囲が大きいのは共通した長所であり、各々その特性を生かして用途が広がりつつある。

Figure 34 Delta Flow Meter

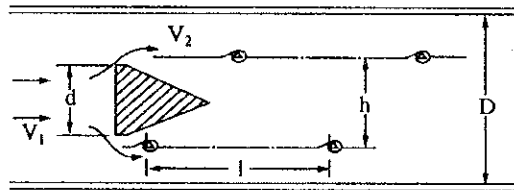


Figure 35 Vortex Flow Meter

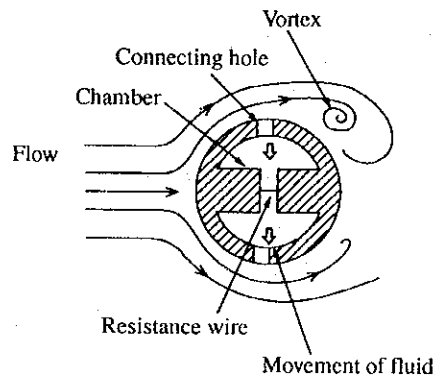
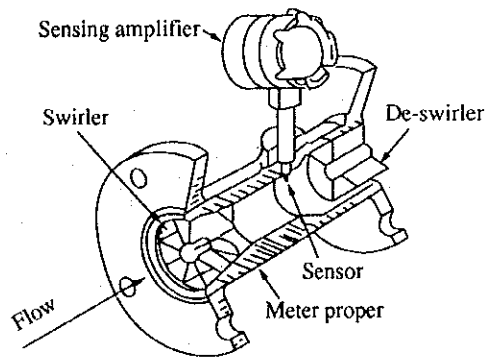


Figure 36 Swirl Meter



3.10 その他の流量測定法

超音波流速計は流れの中で音波を発生させると音は音速と流れの速度のベクトル的に加算された速度で伝ばすることを利用してその伝ば速度を測って流速、流量を測定するものである。レーザー流速計はレーザー光の波長が単色性でしかも波面がそろった単一指向性の光であることから流体中の散乱を利用して流速を測定するものである。非接触で測定できること、応答性がよいなどの特徴がある。

4. 圧力の測定

4.1 圧力計の種類、特徴

圧力計には液柱式、弾性式、沈鐘式、環状天びん式、電気式などがあるが、その特徴、精度は Table 6 のようである。

圧力計の選択に当たっては次の点を考慮する。

- (1) 測定範囲、ブルドン管圧力計などでは測定範囲を最大目盛の 2/3 以下とする。
- (2) 直視測定か、遠隔測定か。
- (3) 設置場所
- (4) 高圧の場合は安全装置をつけること。
- (5) 検査を常時行い、示度の狂いのないことを確かめておくこと。

Table 6 Kinds, Features and Accuracies of Pressure Gauges

Measuring Method	Pressure Gauge	Features	Accuracy
Liquid column type	Mono-tube type	<ul style="list-style-type: none"> • Only once scale reading is required. • Influence of temperature is large. 	8 mmHg (Users' tolerance)
	U-tube type	<ul style="list-style-type: none"> • Higher in accuracy than mono-tube type. • Tube diameter and temperature affect error. 	8 mmHg (Users' tolerance)
	Mono-tube inclination type	<ul style="list-style-type: none"> • Straightness and inclination angle of tube exert a large influence. 	Approximately 0.01 mmH ₂ O
Elastic type	Bourdon tube	<ul style="list-style-type: none"> • Simple in structure. So popularly used that it is a generally called pressure gauge which reminds people of Bourdon tube pressure gauge. • Measuring operation is simple and does not require skill. • Easy in handling and maintenance. • Telemetry and automatic recording are easy. • Allows measurement even in relatively severe conditions such as solid-containing fluid, corrosive fluid, etc. • Suitable for high pressure measurement and wide in measuring range. • Unsuitable for measuring slight pressure. • Since elasticity only is used, it is difficult to change the measuring difficult to change the measuring pressure range. • Errors due to creep, hysteresis or secular change are liable to be caused. 	Approximately ±0.5 to 2.5 % of maximum pressure
	Diaphragm type	<ul style="list-style-type: none"> • Pressure receiving face is large. • Corrosion preventive measure can be easily taken. • Response is quick. • Maximum pressure is 2 kg/cm². 	Approximately ±0.5 to 2.0 %
	Bellows type	<ul style="list-style-type: none"> • Measuring range can be changed. • Displacement is large. • Pressure tightness and temperature compensation can be easily realized. 	Approximately ±0.5 to 2.0 %
	Capsular type	<ul style="list-style-type: none"> • Very sensitive to a slight pressure change. • Unsuitable for high pressure. 	Approximately ±0.5 to 2.0 %
Inverted bell jar type	Single bell type	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanical friction is small. • Impact vibration can be measured. 	Approximately ±1 %
	Double bell type	<ul style="list-style-type: none"> • Higher in sensitivity and accuracy than single bell type. 	Approximately ±0.5 %
Ring type		<ul style="list-style-type: none"> • Turning torque is large. • Measuring range can be adjusted. • At end connection, elastic resistance is liable to occur. 	±1 % to 2 %
Electric type	Strain gauge type	<ul style="list-style-type: none"> • Sudden change can be followed. • Suitable for telemetry and multi-point measurement. 	Approximately ±1.5 %
Piston type		<ul style="list-style-type: none"> • Measuring range can be adjusted. 	Approximately ±1 %
Weight type		<ul style="list-style-type: none"> • Measuring range is wide. • Accuracy is high. 	1/200 of marked quantity (Users' tolerance)

4.2 液注式圧力計

(1) U字管圧力計

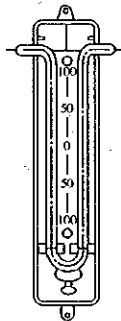
Figure 37 に示すように、ガラス管を U 字形に曲げてその一端を測定点に連絡し、他端は別の圧力測定口か、あるいは通常 1 気圧の恒圧室とみなされる大気中に開放する。

計測液は普通水を使用するが、圧力差が大きい場合には水銀を、小さい場合には水より軽い液体を使用する。ただし、その場合はその差圧に使用流体の密度を乗じて換算する必要がある。

圧力測定に使用する液体に必要な特性として、(1) 粘性の小さいこと、(2) 熱膨張係数の小さいこと、(3) 毛管現象の小さいこと、(4) 一定の化学成分をもつことなどが要求される。

したがって精密な測定が要求される場合には温度、重力加速度および毛管現象の補正が必要である。

Figure 37 U-tube Manometer



(2) 単管傾斜圧力計

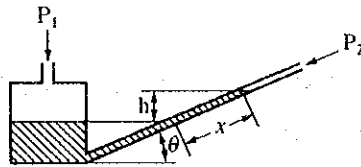
Figure 38 に示すように U 字管を変形したもので、 P_1 側が P_2 側に比べて断面積が極めて大きく、細管内の液面の上下に対してこれに應ずる断面積の大きな容器内の液面の上下は無視できるから、単管内の液の高さを差し引いて圧力に相当する長さ x を拡大して得る。拡大率は $1/\sin\theta$ である。

x はその傾斜角を θ とするとき $h/\sin\theta$ に相当するから、圧力 P_1 は次の式から求められる。

$$P_1 = P_2 + \rho x \sin\theta$$

ここに ρ は液体の比重である。傾斜管の角度 θ は一定のものと、適宜に変更できるものがある。

Figure 38 Mono-tube Inclination Manometer



(3) 2種類の液体を用いた U 字管圧力計

Figure 39 に示すように、2つの液体を用いてその差圧を拡大したものである。圧力差は、

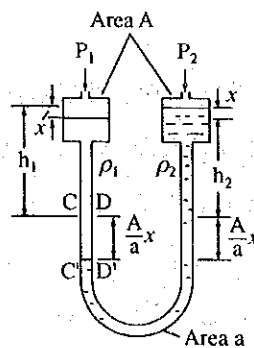
$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{A}{a} \times \left\{ (\rho_2 + \rho_1) \frac{a}{A} + (\rho_2 - \rho_1) \right\}$$

ここに、A：受圧室の断面積、a：計測管の断面積、 ρ_1 ：軽液の比重量、 ρ_2 ：重液の比重で計算できる。a/A および $\rho_2 - \rho_1$ が小さいほどわずかの圧力差も大きく拡大することができる。

例えば

A/a = 1,000、アルコールの比重量 $\rho_1 = 800 \text{ kg/m}^3$ 、石油の比重量 $\rho_2 = 810 \text{ kg/m}^3$ とすると拡大率は約 81 倍となる。

Figure 39 Two-liquid Manometer

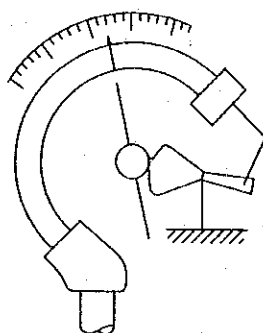


4.3 弾性式圧力計

(1) ブルドン管圧力計

Figure 40 に示すように金属管を円形 (スパイラル、ヘリカルなど、他の形状のものもある) に曲げたものの一端を固定し他端を自由にして、これに内圧を加えると自由端は動く。この動きをてこあるいは歯車によって拡大して指針を動かす。精度も超高精度のものから低精度のものまであり、用途によって形式や寸法が選択できる。工業用として一般的で数多く使用されている。

Figure 40 Bourdon Gauge



(2) 計装用圧力計

大型プラントや工業プロセスの計測および制御用検出器として製品化されたもので、静圧、差圧、絶対圧を測る用途に適用される。伝送方式として電流伝送 (DC 4~20 mA) および空気圧伝送 (20~100 kPa) の2方式が用いられ、指示、記録、演算入力用として統一されている。

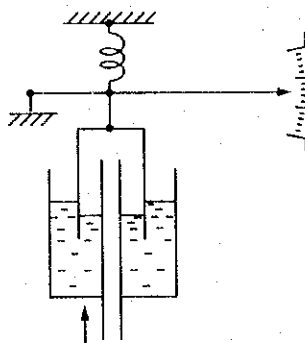
受圧エレメントは特殊金属のダイヤフラムで構成し、検出変換素子との間に、液状物質を用いて圧力を伝達する。ダイヤフラムは、使用条件や圧力範囲により、形状、寸法、材質が使い分けられている。計測範囲は一般的に水柱 20 mm 位から数百気圧まであり、零点の変更やスパンの変更、ダンピングの調整などができるようになっている。

4.4 その他の圧力測定法

(1) 沈鐘式圧力計

Figure 41 に示すような、さおと浮子 (ベル) を組み合わせたものでベル式または沈鐘式といわれている。工業用としては使用実績は少ない。

Figure 41 Inverted Bell Jar Type Manometer



(2) ストレインゲージ式圧力計

一般にストレインゲージを検出素子とするもので、特殊な用途に使用される場合が多く、検出部が小型で応答速度の早いのが特徴である。超高圧から微圧まで各種のものがあ、半導体ストレインゲージや磁歪効果を利用したものもある。

5. 湿度の測定

5.1 湿度計の種類と特徴

気体の湿度を測定する方法は、乾湿球湿度計による方法、露点計による方法、電気抵抗式湿度計による方法、毛髪湿度計による方法などがある。このうち乾湿球湿度計の種類および特徴は Table 7 のとおりである。

Table 7 Kinds and Features of Psychrometers

Kinds	Advantages	Disadvantages
Simple psychrometer	Simple in structure	<ol style="list-style-type: none"> 1. Does not directly indicate relative humidity. 2. Poor in accuracy. 3. Requires water.
Sling-type psychrometer	Convenient to carry.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Does not directly indicate relative humidity. 2. Requires much skill. 3. Requires water.
Asmann ventilated psychrometer	<ol style="list-style-type: none"> 1. Allows a relatively high accuracy to be obtained at room temperature. 2. Convenient to carry. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Does not directly indicate relative humidity. 2. May sometimes be low in ventilation. 3. Requires some skill. 4. Requires water.
Meteorological Agency type ventilated psychrometer	Allows a high accuracy to be obtained at room temperature.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Does not directly indicate relative humidity. 2. Requires water.
Resistance thermometer type psychrometer	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indicates relative humidity directly. 2. Allows continuous recording and telemetering. 3. Can be used for automatic control. 4. Allows measurement at several positions by one indicator. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. A simple calculation formula is used for direct indication of relative humidity, thus causing a large error in measurement of a wide range of operating temperatures and humidity. 2. Requires water.

5.2 乾湿球湿度計

最も普通に用いられているもので 2 個の普通の水銀ガラス温度計を湿度を測定しようとする空気中におき、いずれか 1 つの球部を水でぬれた布で包む。

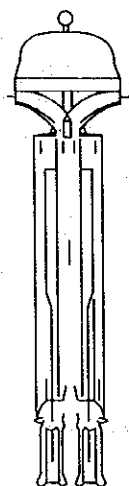
乾球温度と湿球温度から図表によって湿度を求める。

なお静置式の乾湿球湿度計における湿球示度は放射熱の影響によって一般に高すぎ、真の湿球温度を示さないので、湿球の周囲の空気の色度を増すように考案されたものがある。

振り回し式湿度計は乾湿球湿度計を 1 つのわくに取り付け、これをわくのまわりに振り回して平衡温度に達するようにしたものである。

アスマン式通風湿度計は Figure 42 に示すように、乾湿球湿度計の上部に時計仕掛で回転する小さいはねがあり、これをまわして乾湿球面に、流速 2.5 m/s 程度の空気流を起こさせるようにしたものである。

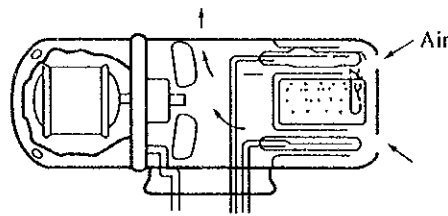
Figure 42 Asmann Ventilated Psychrometer



5.3 抵抗温度計式湿度計

Figure 43 に示すように、原理は乾湿球湿度計と同じであるが、水銀温度計の代わりに電気抵抗温度計を使用する。低温接点はぬれた布で巻き、高温接点は空気中に露出すると乾湿球温度差に相当する起電力を生ずる。遠隔指示、記録もできる。

Figure 43 Resistance Thermometer Type Hygrometer



5.4 露点計

冷却式露点計は、滑らかにみがいた金属面を湿度を測ろうとする空気中におき、金属面の内部に水を通し、あるいはエーテルなどの気化熱を応用してこれを徐々に冷却すれば、ある温度において光沢ある面が露の薄膜で曇ってくる。反対に露で曇った金属面の温度を徐々に上昇すれば、前とほぼ同じ温度で曇りが消失する。この両者の平均温度を露点という。この露点を知れば水蒸気表あるいは湿度図から湿度が求められる。

露による曇りは肉眼による判定と光電管による方法、電気抵抗による方法などがある。

光電管式露点湿度計は、金属鏡面の曇り状況を光電管回路を利用して測定するので、記録ができる。

5.5 電気抵抗湿度計

互いに絶縁した2個の電極間に吸湿性をもった電導性のある薄い膜 (例えば塩化リチウムを含ませる) を張っておくと、周囲の気体の湿度が増せば湿気を吸収して電気抵抗が減る。これを利用したものである。

JICA