

密接シツノ接觸面ニ於テ溫度降下ヲナサザル場合ハ
明ラカニ

$$Q = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} \quad F = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\sum \frac{\delta}{\lambda}}$$

[例] 厚サ 20 耗ノ汽罐板ニ厚サ 3 耗ノ罐石附着セル
時トセザル時トニ就キ熱傳導抵抗ヲ比較セヨ、但シ鋼
板及罐石ノ熱傳導率ヲ夫々 50 及 1.5 トス、

罐石附着セザル時ノ罐板ノ熱傳導抵抗ハ

$$\frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.02}{50} = 0.0004$$

罐石附着セル罐板全體ノ熱傳導抵抗ハ

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = 0.0004 + \frac{0.003}{1.5} = 0.0024$$

即チ厚サ 3 耗ノ罐石附着ノ爲ニ熱傳導抵抗ハ 6 倍ニ
増加サル、

(b) 周圍流體溫度ト熱傳達率ガ既知ナル場合、

(i) 單層平面壁、

周圍流體溫度 t_1, t_2 ト表面ニ於ケル熱傳導率 a_1, a_2 ガ
既知ナル時平面壁ヲ通リテ兩流體間ニナサル熱授
受量即チ貫流熱量ト壁表面溫度トハ次ノ如クニ決定
サル、即チ同一表面積 F ニツキ單位時間ニ對スル貫流
熱量ヲ考フレバ兩表面ニ於ケル傳達熱量モ壁内ノ傳
導熱量モ等シキ事ヨリ (但シ $t_1 > t_2$)

$$Q = a_1(t_1 - \theta_1)F \quad \text{又ハ} \quad \frac{1}{a_1}Q = (t_1 - \theta_1)F$$

$$= \frac{\lambda}{\delta}(\theta_1 - \theta_2)F \quad \text{又ハ} \quad \frac{1}{a_2}Q = (\theta_1 - \theta_2)F$$

$$= a_2 (\theta_2 - t_2) F \quad \text{又ハ} \quad \frac{1}{a_2} Q = (\theta_2 - t_2) F$$

之等三式ヲ加算セバ壁面温度 θ_1, θ_2 ハ消去サレ、尙熱貫流ノ基本式ヨリ

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}} F = k (t_1 - t_2) F$$

茲ニ

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{r_{s1} + r_c + r_{s2}} \dots\dots \text{熱貫流率、}$$

$$\frac{1}{k} = r_T = \frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2} = r_{s1} + r_c + r_{s2} \dots\dots \text{熱貫流抵抗、}$$

之ヨリ見ルモ熱貫流抵抗ハ兩表面ニ對スル熱傳導抵抗ト壁内ノ傳導抵抗トノ和ナル事明ラカナリ、

次ニ貫流熱量ノ算定ニハ壁面温度ヲ知ル必要ナキモ、温度ノ上昇ニヨリ固體壁ガ變質スル惧レアル場合等ニハ設計構造上豫メ壁温度並ニ壁内温度分布ヲ知ラザル可カラズ、カカル場合壁面温度ハ容易ニ上式ヨリ

$$\theta_1 = t_1 - \frac{k}{a_1} (t_1 - t_2)$$

$$\theta_2 = t_2 + \frac{k}{a_2} (t_1 - t_2)$$

壁内ノ温度ハ直線的ナルヲ以テ任意ノ點ノ温度ヲ知ルヲ得、

[例] 汽罐傳熱面ニ於テ、

燃燒氣體温度 $t_1 = 1000^\circ\text{C}$ 罐水温度 $t_2 = 200^\circ\text{C}$ 罐板厚サ $\delta = 20_{\text{m.m}} = 0.02_{\text{m}}$

(圖本) 壁内ノ温度分布ノ計算ニハ、壁内ノ熱傳導抵抗ト兩表面ノ熱傳導抵抗トノ和ナル事明ラカナリ、

$$Q_{\text{貫流}} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}} F = k (t_1 - t_2) F$$

熱貫流率 k 及熱貫流抵抗 r_T ノ算定ニハ、壁内ノ熱傳導抵抗ト兩表面ノ熱傳導抵抗トノ和ナル事明ラカナリ、

壁内ノ温度分布ハ直線的ナルヲ以テ任意ノ點ノ温度ヲ知ルヲ得、

汽罐傳熱面ニ於テ、燃燒氣體温度 $t_1 = 1000^\circ\text{C}$ 罐水温度 $t_2 = 200^\circ\text{C}$ 罐板厚サ $\delta = 20_{\text{m.m}} = 0.02_{\text{m}}$

壁内ノ温度分布ハ直線的ナルヲ以テ任意ノ點ノ温度ヲ知ルヲ得、

熱貫流率 k 及熱貫流抵抗 r_T ノ算定ニハ、壁内ノ熱傳導抵抗ト兩表面ノ熱傳導抵抗トノ和ナル事明ラカナリ、

壁内ノ温度分布ハ直線的ナルヲ以テ任意ノ點ノ温度ヲ知ルヲ得、

熱傳導率 $\lambda=50$, 熱傳達率(氣體側) $a_1=250$, 同(水側) $a_2=5000$ ナル時, 罐板面積 1 平方米ヲ 1 時間ニ貫流スル熱量並ニ罐板表面溫度ヲ求ム、

熱貫流抵抗、

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{250} + \frac{0.02}{50} + \frac{1}{5000} = 0.0046$$

$$\therefore k = \frac{1}{0.0046} = 217.4$$

$$Q = k(t_1 - t_2) = 217.4(1000 - 200) = 173920 \text{ (Kcal/m}^2\text{h)}$$

氣體側罐板溫度、

$$\theta_1 = 1000 - \frac{217.4}{250}(1000 - 200) = 304^\circ\text{C}$$

水側、

$$\theta_2 = 200 + \frac{217.4}{5000}(1000 - 200) = 235^\circ\text{C}$$

(ii) 多層平面壁、

異ル熱傳導率ヲ有スル多クノ平面層ヨリナル多層平面壁ニ對スル貫流熱量ハ各層ノ熱傳導抵抗ヲ考慮ニ入ルレバ單層壁ノ場合ト同様ニシテ求ムルヲ得、即チ

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_2} = r_{s_1} + \sum r_{ci} + r_{s_2}$$

$$\therefore k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{r_{s_1} + \sum r_{ci} + r_{s_2}}$$

トナリ從ツテ面積 F ニ對スル貫流熱量ハ基本式

$$Q = k(t_1 - t_2)F$$

ニヨリ求メ得、

尙此ノ結果ヨリ k ノ値ハ a ノ最小値ヨリモ常ニ小

ニテ最小値 a ニヨリテ影響ヲ受クル事著シ、故ニ有効ニ k ノ値ノ増加ヲ圖ラントセバ何ヨリ先ツ此ノ最小値ヲ有スル a ノ値ヲ増加スベキ方法ヲ講ゼザル可カラズ、又 a_1, a_2 一定ナル時ハ k ハ各層ノ熱傳導抵抗ノ算術的和ニ伴ヒテ減少シ、特ニ傳導率 λ ノ値ニヨリテ受クル影響ハ著シ、此ノ事實ハ汽罐其ノ他ノ傳導裝置ニ於テ傳導壁面上ニ λ ノ値小ナル罐石、湯垢等ガ附着セル際ニ層々經驗スル所ニシテ、又熱損失輕減ノ爲ニ保溫劑ヲ塗布スル理由モ茲ニアリ、

次ニ壁表面溫度並ニ接觸面溫度 θ', θ'', \dots ハ單層壁ノ場合ト同様ニシテ次ノ式ニテ定メ得ル、

$$\theta_1 = t_1 - \frac{1}{a_1} \frac{Q}{F}$$

$$\theta' = \theta_1 - \frac{\delta_1}{\lambda_1} \frac{Q}{F} = t_1 - \left(\frac{1}{a_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) \frac{Q}{F}$$

$$\theta'' = \theta' - \frac{\delta_2}{\lambda_2} \frac{Q}{F} = t_1 - \left(\frac{1}{a_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \frac{Q}{F}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\theta_2 = t_2 + \frac{1}{a_2} \frac{Q}{F} = t_1 - \left(\frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_2} \right) \frac{Q}{F}$$

[例] 罐板 (厚サ 20.m.m $\lambda = 50$) ノ内面ニ罐石 (厚サ 3.m.m $\lambda = 1.5$) 附着シ外面ニ保溫劑 (厚サ 40.m.m $\lambda = 0.1$) ヲ塗布セル場合、熱貫流率、熱貫流量、外表面並ニ各層表面ノ溫度ヲ求ム、但シ罐板ハ平面壁ト看做シ

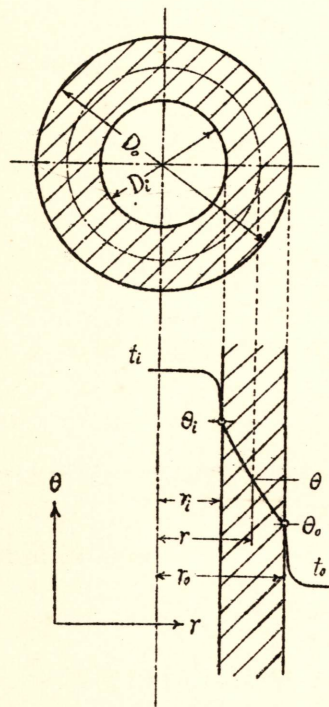
罐水溫度 $t_1 = 220^\circ\text{C}$ 外氣溫度 $t_2 = 20^\circ\text{C}$

熱傳達率 (水側) $a_1 = 500$,, (外氣側) $a_2 = 200$

トス

六、直線圓管、(圓筒)

工業上傳熱裝置ノ設計ニ當リテ圓管ハ平面壁ヨリモ採用サルル機會多キ故、ソノ壁内ノ傳導熱量並ニ貫流熱量ノ關係式ヲ求ムル事ハ工學上又極メテ肝要ナリ、



今管端ノ影響ヲ無視シ得ル程充分長キ管ニ於テ熱ガ唯管軸ニ垂直方向ニノミ定常傳導ヲナス場合ノ基本微分方程式ハ

$$\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} = 0$$

ナリ、之ヲ解イテ管壁内ノ溫度分布ノ一般式ハ

$$\theta = A \log_e r + B$$

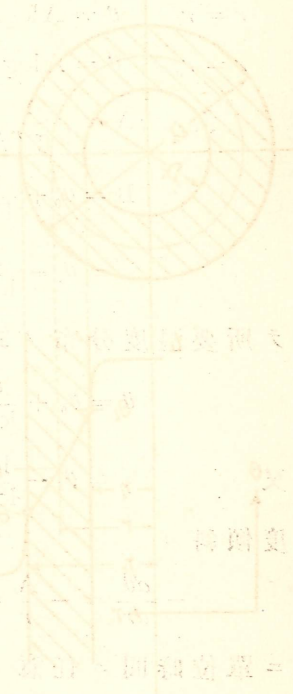
ニテ與ヘラル、之ヨリ見テ平面壁ノ場合ト異リ溫度分布ハ對數曲線的ナルヲ知ル、

茲ニ A, B ハ表面限界條件ニヨリテ決定サル、

今圖ニ於テ

θ_i, θ_o 内外壁面溫度、

t_i, t_o 内外周圍流體溫度、



r_i, r_0 内外管半径、

D_i, D_0 内外管直径、

(a) 壁表面温度が既知ノ場合、

(i) 単層管、

表面限界条件トシテ表面温度 θ_i, θ_0 が與ヘラレタル
場合ノ未定積分恒数ハ

$$r = r_i \quad \theta = A \log_e r_i + B = \theta_i$$

$$r = r_0 \quad \theta = A \log_e r_0 + B = \theta_0$$

$$\therefore A = \frac{1}{\log_e r_i/r_0} (\theta_i - \theta_0) = - \frac{1}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$$

$$B = \theta_0 + \frac{\log_e r_0}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$$

$$= \theta_i - \frac{\log_e r_i}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$$

従ツテ所要温度分布ノ式ハ

$$\theta = \theta_0 + \frac{\log_e r_0/r}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$$

$$\text{又ハ} \quad \theta = \theta_i - \frac{\log_e r/r_i}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$$

尙温度傾斜ハ

$$- \frac{d\theta}{dr} = - \frac{A}{r} = \frac{1}{r \log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$$

次ニ單位時間ニ任意ノ半径 r ナル薄キ管層ヲ流ル
ル傳導熱量ハ管長ヲ L トセバ、 $F = 2\pi rL$ ナルヲ以テ、

$$Q = - \lambda F \frac{d\theta}{dr} = \lambda (2\pi rL) \frac{1}{r \log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$$

$$= \frac{\theta_i - \theta_0}{\frac{1}{\lambda} \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{D_0}{D_i}} L$$

流熱、管内流熱、管壁熱、(a) 既知ノ場合、
表面限界条件トシテ表面温度 θ_i, θ_0 が與ヘラレタル

場合ノ未定積分恒数ハ
 $r = r_i \quad \theta = A \log_e r_i + B = \theta_i$
 $r = r_0 \quad \theta = A \log_e r_0 + B = \theta_0$

$\therefore A = \frac{1}{\log_e r_i/r_0} (\theta_i - \theta_0) = - \frac{1}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$
 $B = \theta_0 + \frac{\log_e r_0}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$
 $= \theta_i - \frac{\log_e r_i}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$

従ツテ所要温度分布ノ式ハ
 $\theta = \theta_0 + \frac{\log_e r_0/r}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$
又ハ $\theta = \theta_i - \frac{\log_e r/r_i}{\log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$

尙温度傾斜ハ
 $-\frac{d\theta}{dr} = - \frac{A}{r} = \frac{1}{r \log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$

次ニ單位時間ニ任意ノ半径 r ナル薄キ管層ヲ流ル
ル傳導熱量ハ管長ヲ L トセバ、 $F = 2\pi rL$ ナルヲ以テ、

$Q = - \lambda F \frac{d\theta}{dr} = \lambda (2\pi rL) \frac{1}{r \log_e r_0/r_i} (\theta_i - \theta_0)$
 $= \frac{\theta_i - \theta_0}{\frac{1}{\lambda} \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{D_0}{D_i}} L$

合算ハ中略
管壁熱 (1)

從ツテ單位長 (1m) ノ管ニ對スル單位時間ノ傳導熱
量ハ、

$$Q = \frac{\theta_i - \theta_0}{\frac{1}{\lambda} \frac{1}{2\pi} \log_e D_o/D_i} = \frac{\theta_i - \theta_0}{r_0}$$

茲ニ

$r_0 = \frac{1}{\lambda} \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{D_o}{D_i}$ 單位管長ニ對スル熱傳導抵抗、

トナリ、平面壁ノ場合ノ如ク内外表面ノ溫度差 ($\theta_i - \theta_0$)
ニ比例スレドモ單ニ壁ノ厚サ δ ニハ反比例セズ、 $\log_e \frac{D_o}{D_i}$
ニ反比例スル事ヲ知ル、從ツテ管徑ニ比シテ厚サ厚キ
場合即チ $\frac{D_o}{D_i}$ ノ増加ニツレテ傳導抵抗増加ノ割合ハ著
シキ事ヲ知ル、

(ii) 同心多層圓管、

圓管ガ異ル厚サ並ニ熱傳導率ヲ持ツ多クノ同心層
ヨリナル時ハ容易ニ傳導熱量ハ

$$Q = \frac{\theta_i - \theta_0}{\frac{1}{2\pi} \sum \frac{1}{\lambda_i} \log_e \frac{D_i'}{D_i}} L = \frac{\theta_i - \theta_0 L}{\sum r_c}$$

ナルヲ知ル、尙各層ノ接觸表面溫度モ同様ニシテ

$$\theta' = \theta_i - \frac{1}{\lambda_1} \log_e \frac{D_i'}{D_i} \frac{Q}{2\pi L}$$

$$\theta'' = \theta' - \frac{1}{\lambda_2} \log_e \frac{D_i''}{D_i'} \frac{Q}{2\pi L} = \theta_i - \left(\frac{1}{\lambda_1} \log_e \frac{D_i'}{D_i} + \frac{1}{\lambda_2} \log_e \frac{D_i''}{D_i'} \right) \frac{Q}{2\pi L}$$

..... =

..... =

(b) 周圍流體溫度ト熱傳達率ガ既知ナル場合、

(i) 單層管、

管内外表面温度 θ_i, θ_0 が與へラルル代リニ周圍流體温度 t_i, t_0 及熱傳達率 α_i, α_0 が與へラルル場合貫流熱量ハ平面壁ノ場合ト同様ニ決定セラル、即チ $t_i > t_0$ ナル時管長 L ナル管壁ヲ單位時間ニ流ルル熱量ヲ考フレバ、兩表面ニ於ケル傳達熱量モ壁内ノ傳導熱量モ相等シキ事ヨリ

$$Q = \alpha_i (t_i - \theta_i) \pi D_i L \quad \text{又ハ} \quad \frac{Q}{\pi \alpha_i D_i} = (t_i - \theta_i) L$$

$$= \frac{\theta_i - \theta_0}{\frac{1}{\lambda} \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{D_0}{D_i}} \quad \frac{1}{\lambda} \frac{1}{2\pi} \log_e \frac{D_0}{D_i} Q = (\theta_i - \theta_0) L$$

$$= \alpha_0 (\theta_0 - t_0) \pi D_0 L \quad \frac{Q}{\pi \alpha_0 D_0} = (\theta_0 - t_0) L$$

之等三式ヲ加へ θ_i, θ_0 ヲ消去セバ

$$Q = \frac{t_i - t_0}{\frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{1}{2\lambda} \log_e \frac{D_0}{D_i} + \frac{1}{\alpha_0 D_0} \right]} L = k' (t_i - t_0) L$$

茲ニ

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{1}{2\lambda} \log_e \frac{D_0}{D_i} + \frac{1}{\alpha_0 D_0} \right]} \dots\dots$$

……單位管長ニ對スル熱貫流率、

$$r_T = \frac{1}{k'} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{1}{2\lambda} \log_e \frac{D_0}{D_i} + \frac{1}{\alpha_0 D_0} \right] \dots\dots$$

……單位管長ニ對スル熱貫流抵抗、

單位管長ニ對スル熱貫流抵抗 $\frac{1}{k'}$ ハ恰モ平面壁ノ場合ノ如ク兩表面ノ熱傳達抵抗並ニ壁内ノ熱傳導抵抗ト和ナルモ、一般ニ傳熱裝置ニ用ヒラルル金屬管ハ熱傳導率大ニシテ、而モ多クノ場合管壁ノ厚サハ管徑ニ

比シテ小ナル故, 管壁ノ熱傳導抵抗 $\frac{1}{2\pi\lambda} \log_e \frac{D_0}{D_i}$ ノ値ハ壁面ニ於ケル熱傳達抵抗ニ比シテ省畧シ得ルノガ普通デアリ, 従ツテ其ノ場合ニハ近似的ニ

$$\frac{1}{k'} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{1}{\alpha_0 D_0} \right)$$

ト看做シ得ル、

次ニ管表面溫度ハ同様ニシテ

$$\theta_i = t_i - \frac{1}{\alpha_i D_i} \frac{Q}{\pi L}$$

$$\theta_0 = t_0 + \frac{1}{\alpha_0 D_0} \frac{Q}{\pi L}$$

(ii) 同心多層圓管、

前ト同様ニシテ單位時間ニ對スル貫流熱量ハ

$$Q = k' (t_i - t_0) L$$

茲ニ

$$k' = \frac{1}{\pi \left[\frac{1}{\alpha_i D_i} + \sum \frac{1}{2\lambda} \log_e \frac{D'}{D_i} + \frac{1}{\alpha_0 D_0} \right]}$$

$$r_r = \frac{1}{k'} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{\alpha_i D_i} + \sum \frac{1}{2\lambda} \log_e \frac{D'}{D_i} + \frac{1}{\alpha_0 D_0} \right]$$

壁表面溫度並ニ各層接觸面溫度モ同様ニシテ、

$$\theta_i = t_i - \frac{1}{\alpha_i D_i} \frac{Q}{\pi L}$$

$$\begin{aligned} \theta' = \theta_i &= \frac{1}{2\lambda_1} \log_e \frac{D'}{D_i} \frac{Q}{\pi L} \\ &= t_i - \left(\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{1}{2\lambda_1} \log_e \frac{D'}{D_i} \right) \frac{Q}{\pi L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta'' &= \theta' - \frac{1}{2\lambda_2} \log_e \frac{D''}{D'} \frac{Q}{\pi L} \\ &= t_i - \left(\frac{1}{\alpha_i D_i} + \frac{1}{2\lambda_1} \log_e \frac{D'}{D_i} + \frac{1}{2\lambda_2} \log_e \frac{D''}{D'} \right) \frac{Q}{\pi L} \\ &= \dots\dots\dots \\ &= \dots\dots\dots \end{aligned}$$

$$\theta_0 = t_0 + \frac{1}{\alpha_0 D_0} \frac{Q}{\pi L}$$

[例] 蒸氣管 (鋼管 $\lambda = 50$), 内外徑 $^{200/210}$ 耗ノ表面 = 厚サ 38 耗ノ保溫劑 ($\lambda = 0.1$) ヲ塗布シ, ソノ上ヲ厚サ 2 耗ノ麻布 ($\lambda = 0.08$) ニテ被覆セリ、蒸氣溫度 320°C 外氣溫度 20°C , $\alpha_i = 100$, $\alpha_0 = 10$ ナル時ノ熱貫流率及裸管ト保溫管ニ對スル熱損失ヲ比較セヨ、

$$D_i = 0.2 \quad D' = 0.21 \quad D'' = 0.21 + 2 \times 0.038 = 0.289$$

$$D_0 = D'' + 2 \times 0.002 = 0.29$$

$$\lambda_1 = 50 \quad \lambda_2 = 0.1 \quad \lambda_3 = 0.08$$

$$t_i = 320^\circ\text{C} \quad t_0 = 20^\circ\text{C}$$

管長 1 米ニ對シ、

内表面熱傳達抵抗、 $\frac{1}{\pi \alpha_i D_i} = \frac{1}{\pi \times 100 \times 0.2} = \frac{0.05}{\pi}$

鋼管内熱傳導抵抗、

$$\frac{1}{2\pi \lambda_1} \log_e \frac{D'}{D_i} = \frac{\log_e 0.21/0.2}{2\pi \times 50} = \frac{0.049}{100\pi} = \frac{0.0005}{\pi}$$

保溫劑層内熱傳導抵抗、

$$\frac{1}{2\pi \lambda_2} \log_e \frac{D''}{D'} = \frac{\log_e 0.286/0.21}{2\pi \times 0.1} = \frac{0.3075}{0.2\pi} = \frac{1.538}{\pi}$$

被覆麻布層内熱傳導抵抗、

$$\frac{1}{2\pi\lambda_3} \log_e \frac{D_0}{D''} = \frac{\log_e^{0.29/0.286}}{2\pi \times 0.08} = \frac{0.0135}{0.16\pi} = \frac{0.084}{\pi}$$

外表面熱傳達抵抗、

$$\frac{1}{\pi a_0 D_0} = \frac{1}{\pi \times 10 \times 0.29} = \frac{0.345}{\pi} \quad (+)$$

故ニ熱貫流抵抗、

$$\frac{1}{k'} = \frac{1}{\pi} (0.05 + 0.0005 + 1.538 + 0.84 + 0.345) = \frac{2.018}{\pi}$$

$$\therefore Q = \frac{320 - 20}{2.018} \pi = 467 \quad (\text{Kcal/mh})$$

保溫劑ヲ塗布セザル裸管ニ對シテハ

熱貫流抵抗、

$$\begin{aligned} \frac{1}{k'} &= \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{a_0 D_i} + \frac{1}{2\lambda_1} \log_e \frac{D'}{D_i} + \frac{1}{a_0 D_0'} \right) \\ &= \frac{1}{\pi} \left(0.05 + 0.0005 + \frac{1}{10 \times 0.21} \right) = \frac{0.527}{\pi} \end{aligned}$$

$$\therefore Q = \frac{320 - 20}{0.527} = 1788 \quad (\text{Kcal/mh})$$

保溫劑層ニヨル熱損失ノ輕減ハ

$$\frac{1788 - 467}{1788} \times 100 = 73.9\%$$

(c) 保溫劑塗布ニ依ル熱絶對効果、

蒸氣管又ハ冷凍裝置管等ノ表面ニ保溫劑ヲ塗布スル事ニヨリ、裸管ノ場合ニ比シ著シク熱損失ヲ輕減シ得ル事ハ上ノ例題ノ結果ニ依リテモ明ラカナルガ、保溫劑層ノ熱傳導抵抗ハ層ノ厚サニ比例セズ、前述ノ如ク層外徑ト内徑トノ比ノ自然對數ニ比例スル故保溫劑使用量ト熱損失量トハ單純ニ反比例セズ、層ノ厚サ

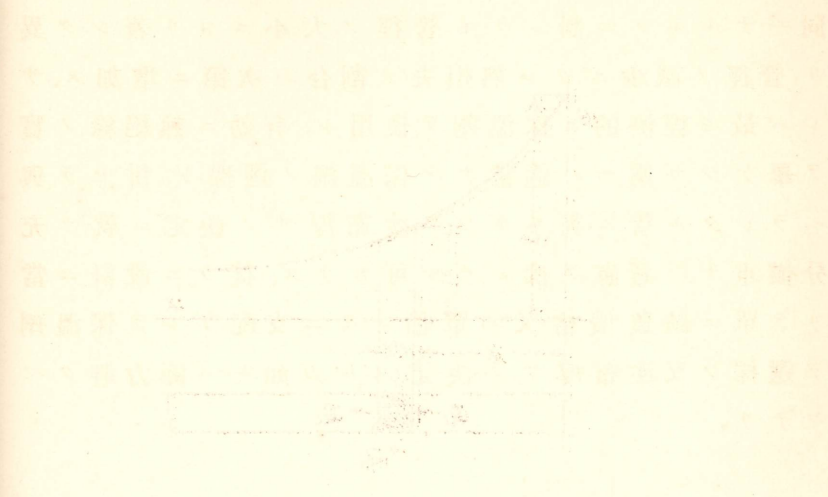
同一ナルモノニ對シテモ管徑ノ大小ニヨリ著シク異リ、管徑ノ減少ニツレ熱損失ノ割合ハ次第ニ増加ス、サレバ最モ經濟的ニ保溫劑ヲ使用シ、有効ニ熱絶縁ノ實ヲ擧ゲンガ爲ニハ適當ナル保溫劑ノ選擇ト、併セテ與ヘラレタル管ニ對スルソノ塗布厚サノ決定ニ就テ充分慎重ナル考慮ヲ拂ハザル可カラズ、徒ラニ設計ニ當リテ單ニ請負價格又ハ單價ノミニ支配サレテ保溫劑ヲ選擇シ又塗布厚サヲ決定スルガ如キハ極力避クベキナリ、

七、直線棒、

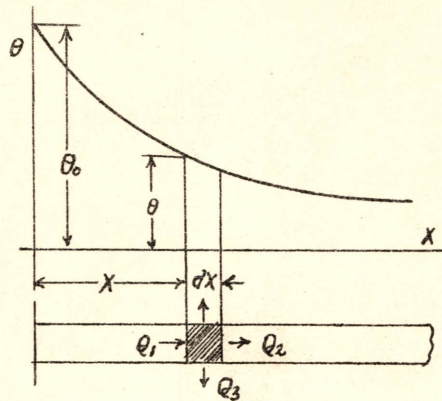
斷面積一樣ナル(斷面ノ形狀ニハ無關係)直線棒ノ一端又ハ兩端ヲ繼續的ニ熱シ、常ニ一定溫度ニ保チ、ソレヨリモ低溫度ナル空氣中又ハ他ノ流體內ニ放置セバソノ表面ヨリノ放熱ニ依リ棒内ノ溫度ハ棒端ヨリノ距タリニツレ低下ス、此ノ棒軸ニ沿ヒテノ溫度分布並ニ棒周圍ヨリノ放熱量基本式ハ棒狀溫度計指度誤差、一端軸受内ノ摩擦ニヨリ熱セララルル回轉軸ノ溫度分布、又ハ長キ金屬棒ヲ爐内ニ挿入加熱中爐外ニアル部分ヨリノ熱損失等ノ算定ニ有用ナルモノナリ、

(a) 無限ニ長キ棒、

棒内溫度分布ノ式ヲ求メンニ圖示ノ如ク棒端ヨリナル距離ニアル厚サ dx ナル微小棒片ヲ考ヘ、ソノ棒片ニ對スル熱出入量ノ關係ハ次ノ如ク求メ得、今



(a) 無限ニ長キ棒、
 (b) 有限ニ長キ棒、
 (c) 有限ニ長キ棒、
 (d) 有限ニ長キ棒、
 (e) 有限ニ長キ棒、
 (f) 有限ニ長キ棒、
 (g) 有限ニ長キ棒、
 (h) 有限ニ長キ棒、
 (i) 有限ニ長キ棒、
 (j) 有限ニ長キ棒、
 (k) 有限ニ長キ棒、
 (l) 有限ニ長キ棒、
 (m) 有限ニ長キ棒、
 (n) 有限ニ長キ棒、
 (o) 有限ニ長キ棒、
 (p) 有限ニ長キ棒、
 (q) 有限ニ長キ棒、
 (r) 有限ニ長キ棒、
 (s) 有限ニ長キ棒、
 (t) 有限ニ長キ棒、
 (u) 有限ニ長キ棒、
 (v) 有限ニ長キ棒、
 (w) 有限ニ長キ棒、
 (x) 有限ニ長キ棒、
 (y) 有限ニ長キ棒、
 (z) 有限ニ長キ棒、



θ_0 = 棒端 ($x=0$) の温度 (但シ外氣温度トノ差)

θ = x ナル點ノ温度 (但シ外氣温度トノ差)

U = 棒軸ニ直角ナル切斷面ノ周圍ノ長サ、

F = 斷面積、

a = 棒表面ニ於ケル熱傳達率、

λ = 棒材ノ熱傳導率、

トセバ dx ナル棒片ニ對スル熱出入量ハ

$$Q_1 = x \text{ 面ヨリ流入スル熱量} = -\lambda F \left(\frac{d\theta}{dx} \right)_x$$

$$Q_2 = (x + dx) \text{ 面ヨリ流出スル熱量} \\ = -\lambda F \left(\frac{d\theta}{dx} \right)_{x+dx} = -\lambda F \left(\frac{d\theta}{dx} + \frac{d^2\theta}{dx^2} dx \right)$$

$$Q_3 = x, (x + dx) \text{ 面間ノ外表面ヨリ外氣ヘノ熱傳} \\ \text{達量、}$$

$$= aU dx \cdot \theta$$

定常状態ニ於テハ

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$\therefore \frac{d^2\theta}{dx^2} = \frac{aU}{\lambda F}\theta = m^2\theta$$

茲ニ

$$m = \sqrt{\frac{aU}{\lambda F}}$$

之ヲ解ケバ

$$\theta = Ae^{mx} + Be^{-mx}$$

トナリ、此ノ未定積分恒數 A, B ハ棒兩端ノ限界條件ニヨリテ定メラル、即チ棒始端 $x=0$ ニ於テ θ_0 並ニ終端 $x=\infty$ ニ於テ外氣溫度ト等シキ故

$$x=0 \quad \theta_{x=0} = Ae^0 + Be^{-0} = A + B = \theta_0$$

$$x=\infty \quad \theta_{x=\infty} = Ae^{+\infty} + Be^{-\infty} = 0$$

之ヨリ

$$A=0 \quad B=\theta_0$$

從ツテ溫度分布式ハ

$$\theta = \theta_0 e^{-mx}$$

即チ溫度分布ハ負ノ冪數ヲ有スル指數函數ニテ表ハサルル事ヲ知ル、一般ニ e^{-mx} ノ値ハ x ノ増加ニツレテ急激ニ減少ス、尙此ノ冪數 $m = \sqrt{\frac{aU}{\lambda F}}$ ニ於テ $\frac{U}{F}$ ハ棒ノ斷面ノ形狀ニヨリテ影響ヲ受ケ、同一斷面積ニ對シテハ斷面圓ナルモノ最小ナリ、

$$\text{即チ 斷面圓ナル棒} \quad \frac{U}{F} = \frac{\pi D}{\pi D^2/4} = \frac{4}{D} \quad \therefore m = 2\sqrt{\frac{a}{\lambda D}}$$

$$\text{斷面正方形ナル棒、} \quad \frac{U}{F} = \frac{4L}{L^2} = \frac{4}{L} \quad \therefore m = 2\sqrt{\frac{a}{\lambda L}}$$

但シ D ハ直徑, L ハ邊ノ長サトス、

次ニ長サ x ($x=0$ ヨリ $x=x$ ノ間) ノ棒外表面ヨリ
單位時間ニ周圍流體ニナサルル放熱量ハ

$$\left[Q \right]_0^x = \int_0^x a\theta U dx = \int_0^x aU\theta_0 e^{-mx} dx = \frac{aU\theta_0}{m} (1 - e^{-mx})$$

無限ニ長キ棒ノ外表面ヨリノ全放熱量ハ同様ニシテ、

$$\left[Q \right]_0^\infty = \int_0^\infty a\theta U dx = \frac{aU\theta_0}{m}$$

尙此ノ放熱割合ハ溫度差最大ナル棒端 $x=0$ ニ於テ最大トナリ、 x ノ増加即チ e^{-mx} ノ冪數ノ増加ト共ニ急激ニ遞減スル事トナル、故ニ一定長以上トナラバ熱損失ハ殆ド棒ノ長サニ無關係ニ一定トナル、

[例] 空氣中ニテ回轉セル車軸 (直徑 60 耗) ガ軸受ニ於テ摩擦損失ノ爲ニ熱セラレ、ソノ軸受端ニ於ケル溫度 80°C 、空氣溫度 20°C ナル時溫度分布並ニ大氣中ヘノ放熱量ヲ求ム、但シ $\lambda = 50$ $a = 100$ トシ他ノ軸端ノ影響ナキモノトス、

$$D = 0.06_m, \quad \theta_0 = 80 - 20 = 60^\circ\text{C}$$

$$m = 2\sqrt{\frac{100}{50 \times 0.06}} = 11.54$$

全放熱量ハ

$$\left[Q \right]_0^\infty = \frac{100 \times \pi \times 0.06 \times 60}{11.54} = 98. \quad (\text{Kcal/h})$$

溫度分布ハ $\theta = \theta_0 e^{-mx} = 60e^{-11.54x}$

| | | | | | |
|------------|----|------|------|------|------|
| $x_{(m)}$ | 0 | 0.05 | 0.10 | 0.20 | 0.30 |
| θ_x | 60 | 33.7 | 18.1 | 6.0 | 1.8 |

但シ眞實溫度ハ $\theta_x + 20^\circ\text{C}$ ナルヲ注意スベシ、

(b) 有限ノ長サノ棒、

無限ノ長サノ棒ト異ル所ハ棒終端面ヨリノ放熱ノ影響ヲ受クル故、溫度分布ハ自然 (a) ノ場合ト異ル事トナルモ、溫度分布ノ微分方程式ソノモノハ前同様ニ與ヘラレ、唯末定恒數ヲ定ムベキ棒端ノ條件ノミ異ナル、即チ終端ニ於テ

$$-\lambda F \left(\frac{d\theta}{dx} \right)_{x=L} = a_L F \theta_L$$

茲ニ a_L ハ終端面ニ於ケル熱傳達率 (他ノ側面ニ於ケル α ト區別ス)

上ノ條件ヲ入レ $\frac{a_L}{m\lambda} = \epsilon$ ト置ク事ニヨリ溫度分布式ハ

$$\theta = \frac{\theta_0}{2} \left\{ \frac{(1-\epsilon)e^{-mL}}{\cosh mL + \epsilon \sinh mL} e^{mx} + \frac{(1+\epsilon)e^{mL}}{\cosh mL + \epsilon \sinh mL} e^{-mx} \right\}$$

ニヨリ與ヘラレ稍複雑ナリ、

乍併實際上ノ問題ハ任意ノ位置ノ溫度ヲ求ムル必要アル場合ヨリモ、棒終端即チ $x=L$ ニ於ケル溫度ヲ知ラントスル場合多シ、カカル場合ハ $x=L$ ト置ケバ

$$\theta_L = \theta_0 \frac{1}{\cosh mL + \epsilon \sinh mL}$$

分母ノ第一次ハ棒側面ノ冷却、第二次ハ終端面ノ冷却ニヨル影響ヲ表ス事トナル、サレバ若シ終端面ノ冷却ノ影響ヲ無視シ得ル場合ニハ更ニ簡單トナリ

$$\frac{\theta_L}{\theta_0} = \frac{1}{\cosh mL} = \frac{1}{\cosh \sqrt{\frac{aU}{\lambda F}} L}$$

ニテ與ヘラル、

第三節 不定常熱傳導

八、概説、

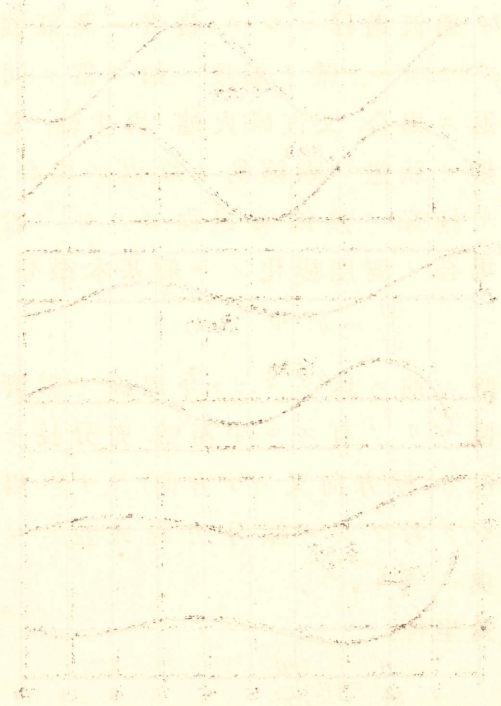
一般ニ不定常熱傳導過程ヲ溫度ノ時間的變化ノ狀況ニヨリ溫度ガ減衰スル過程ト溫度ガ週期的ニ變動スル過程トノ二ツニ分類シ得ル、前者ハ即チ鋼板製造ニ際シ、或ハ鋼片ヲ鍛練スルニ當リテノ爐内ニ於ケル鋼片加熱過程ノ如ク、又油槽内ニ灼熱セル鋼片ヲ投入燒入レスル際ノ冷却過程ノ如ク、一般ニ物體ノ加熱又ハ冷却過程デアリ、換言セバ定常状態ニ達スル迄又ハソノ中間ノ過渡過程ニシテ、後者ハ蒸氣機關又ハ内火機關ノ「シリンダー」壁ノ溫度ノ如ク常ニ同一變化ヲ繼續的ニ繰返ス場合、又汽罐火爐、再生爐、瓦斯發生爐壁ノ如ク不變ノ状態ヲ斷續的ニ繰返ス場合ノ如シ、兎モ角如何ナル種類ノ熱傳導過程ニシロ一般ニ不定常變化ヲナス場合ノ溫度變化ノ一般基本微分方程式ハ

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \nabla^2 \theta$$

ナル事ハ既ニ前ニ述ベタリ、今周縁ノ影響ヲ無視シ得ル程充分擴ガリヲ有スル平面壁、充分長キ圓柱等一次元的熱傳導(x軸方向又ハr方向)ヲナス場合ノミニ問題ヲ限定シテ考フレバ微分方程式並ニソノ特殊解ハ次ノ如ク與ヘラル、

(i) 直角坐標、

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$$



$$\therefore \theta = e^{-an^2\tau} A \cos(nx) \quad \text{並} \quad \theta = e^{-an^2\tau} B \sin(nx)$$

(ii) 圓柱坐標、

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right)$$

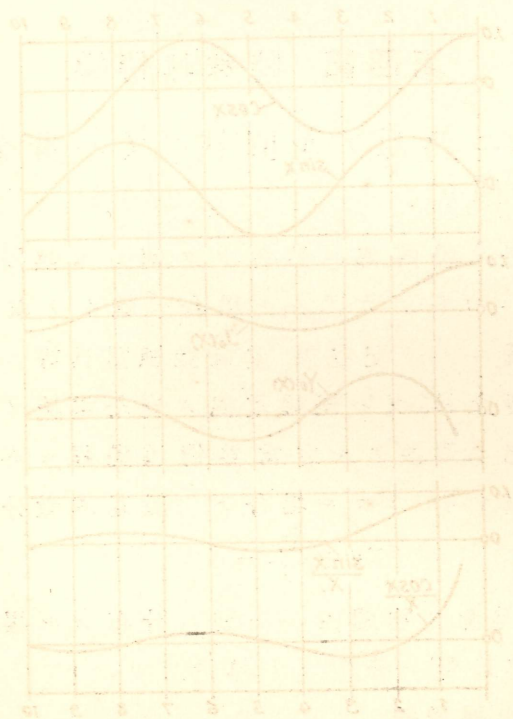
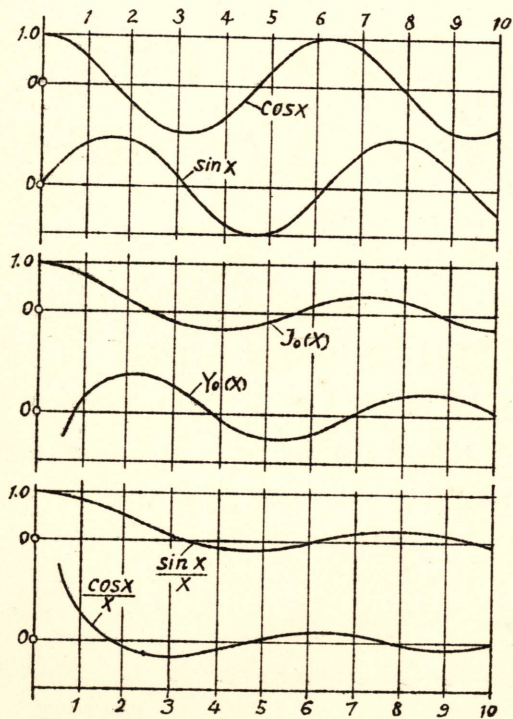
$$\therefore \theta = e^{-an^2\tau} A J_0(nr) \quad \text{並} \quad \theta = e^{-an^2\tau} B Y_0(nr)$$

茲 = J_0, Y_0 、零次ノ第一種並ニ第二種 Bessel 函數、

(iii) 球坐標、

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right)$$

$$\therefore \theta = e^{-an^2\tau} A \frac{\sin(nr)}{nr} \quad \text{並} \quad \theta = e^{-an^2\tau} B \frac{\cos(nr)}{nr}$$



茲ニ A, B, n ハ x (又ハ r) 及 τ フ含マザル恒數、

之等ノ特殊解ハ何レモ指數函數ト振動函數トヲ含ム式トナル、之等振動函數ハ圖示ノ如ク $\sin x$ ハ振幅一定ナルモ、Bessel 函數 $J_0(x), Y_0(x)$ ノ振幅ハ x ノ増加ト共ニ減衰シ、 $\frac{\sin x}{x}, \frac{\cos x}{x}$ ノ振幅ノ衰退ハ Bessel 函數ヨリモ更ニ著シキ事ヲ知ル、サレバ與ヘラレタル條件ニ對スル一般解ハ之等ノ解ヲ基トシ、限界條件ニ依リテ未定恒數ヲ求ムレバ所要溫度分布ノ式ハ求メ得ラルレドモ茲ニハ畧ス、

第四節 特殊熱傳導

九、内部ニ熱源アル圓柱 (又ハ針金) ノ定常熱傳導、

之迄ハ熱導體内部ニ熱源ナク何レモ熱授受ハ唯外部的原因ニヨリテナサルル場合ニ就イテ求メタルガ、電氣技術者ニトリ配電線、電氣機械器具等ニ於ケル電線内ノ溫度上昇、又ハ絶緣電線ノ安全電流ノ決定等熱導體内部ニ熱源アル定常熱傳導過程モ亦工學上重要ナル過程ナリ、カカル場合ノ一般基本微分方程式ハ

$$\nabla^2 \theta + \frac{W}{\lambda} = 0$$

茲ニ W ハ熱源ガ物体内ニ一樣ニ分布セル場合單位體積ニテ單位時間ニ發生スル熱量ナリ、

(a) 圓柱 (裸電線)

裸電線ニ電流ヲ通ズル場合ノ如ク半徑 R ニシテ充分長キ圓柱ヲ考へ、周圍流體溫度ヲ t 、導體ノ溫度ヲ θ トセバ半徑方向ニノミ熱傳導ヲナス場合ノ一般微分方程式ハ

$$\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} + \frac{W}{\lambda} = 0$$

之ヲ解キテ

$$\theta = -\frac{W}{4\lambda} r^2 + c_1 \log_e r + c_2$$

此ノ未定積分恒數 c_1, c_2 ハ中心並ニ外表面ニ對スル限界條件

$$r = 0 \quad \text{ニテ} \quad \left(\frac{d\theta}{dr} \right)_0 = 0$$

$$r = R \quad \text{ニテ} \quad -\lambda \left(\frac{d\theta}{dr} \right)_R = a(\theta_R - t)$$

ニヨリテ求ムレバ

$$c_1 = 0$$

$$c_2 = t + \frac{WR^2}{4\lambda} \left(1 + \frac{2\lambda}{aR} \right)$$

從ツテ所要溫度分布式ハ

$$\theta = t + \frac{WR^2}{4\lambda} \left[1 + \frac{2\lambda}{aR} - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

故ニ表面溫度ハ

$$r = R \quad \theta_0 = t + \frac{WR}{2a}$$

中心溫度ハ

$$r = 0 \quad \theta_m = t + \frac{WR^2}{4\lambda} \left(1 + \frac{2\lambda}{aR} \right)$$

從ツテ兩溫度差ハ

$$\theta_m - \theta_0 = \frac{WR^2}{4\lambda}$$

兩溫度比ハ

$$\frac{\theta_0}{\theta_m} = \frac{I}{1 + \frac{WR^2}{4\lambda} \left(t + \frac{WR}{2\alpha} \right)}$$

之等ノ關係ヨリ表面ト中心トノ溫度差ハ半徑ノ二乗ニ比例シ、熱傳導率ニ反比例スル事ヲ知ル、然シナガラ電線ノ如ク熱傳導率高ク、而モ半徑比較的小ナルモノニ於テハ斷面内ノ溫度分布ハ閑却シ得ル事ヲ知ル、次ニ單位體積ノ發生熱量 W ノ代リニ單位長サ (1 米ノ圓柱内ニ於ケル發生熱量 Q_i ヲ考フレバ表面溫度式ハ次ノ如クニ書キ換ヘラル、

即チ

$$\theta_0 = t + \frac{Q_i}{2\pi\alpha R} = t + \frac{Q_i}{\alpha F}$$

一般ニ電流ガ電線内ヲ通ル際ニハソノ抵抗損失ガ熱ニ變ル故長サ 1 米ニ對スル抵抗損失ヲ考フレバ

$$p = I^2 \frac{\rho}{\pi R^2 10^{-6}} \quad (\text{Watt/m h})$$

茲ニ

I 電流 (Amp/mm²)

ρ 長サ 1 米ニ對スル導體ノ比抵抗 (Ohm mm²/m)

R 圓柱半徑 (m)

尙 1 Kcal/h = $\frac{1}{0.86}$ Watt ナル故發生熱量ハ

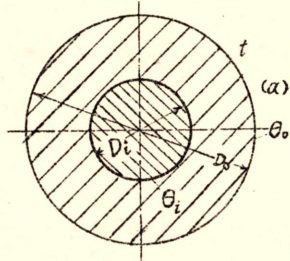
$$Q_i = 0.86 p = \frac{0.86 I^2 \rho}{\pi R^2 10^{-6}} = \frac{3.44 I^2 \rho}{\pi D^2 10^{-6}} \quad (\text{cal/m h})$$

$$\therefore \theta_0 = t + \frac{0.86 I^2 \rho}{2 a \pi^2 R^3 10^{-6}} = t + \frac{3.44 I^2 \rho}{a \pi^2 D^3 10^{-6}}$$

即チ電線最高温度ハ電線直径ノ3乗ニ反比例スル事ヲ知ル、

(b) 被覆サレタル圓柱 (被覆電線)

絶縁電線ノ如ク電線ヲ「ゴム」綿糸等デ被覆セル場合、被覆層ハ中空圓柱トナル故直線圓管ノ場合ノ式ガ適用サレ、圓柱内部ニハ温度ノ不同ナク長サ1米ニ對スル發生熱量ヲ Q_i トシ、圖ノ如ク



- $D_i D_0$ 被覆内外直径、
- θ_0 被覆外表面温度、
- θ_i 被覆内表面温度 = 圓柱温度、
- λ 被覆物ノ熱傳導率、
- a 外表面ニ對スル熱傳導率

トセバ、此ノ場合定常状態トシ内部發生熱量 Q_i ハ長サ1米ナル被覆外表面ヨリノ放熱量ニ等シキ事ヨリ

$$Q = Q_i = \frac{\theta_i - t}{\frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2\lambda} \log_e \frac{D_0}{D_i} + \frac{1}{a D_0} \right]}$$

故ニ最高温度、

$$\theta_i = t + \frac{Q_i}{\pi} \left(\frac{1}{2\lambda} \log_e \frac{D_0}{D_i} + \frac{1}{aD_0} \right)$$

尙電流ヲ通ズル場合ニハ

$$\theta_i = t + \frac{3.44 I^2 \rho}{\pi^2 D_i^2 10^{-6}} \left(\frac{1}{2\lambda} \log_e \frac{D_0}{D_i} + \frac{1}{aD_0} \right)$$

茲ニ興味アル事ハ小ナル圓柱即チ電線ノ如キ場合ニハ、被覆層ガ或一定ノ厚サニ達スル迄ハ反ツテ被覆ノ爲ニ放熱ハ促進サレ熱損失ノ増加ヲ來ス事ナリ、之被覆層ヲ増スニ從ヒ熱傳導面積ハ増シ、從ツテ熱貫流抵抗ヲ減ズル爲ナリ、從ツテ放熱割合最大トナル被覆層外直徑ヲ求ムルヲ得、即チ熱貫流抵抗ヲ被覆層内面ニテ測レバ周圍 πD_i ナルヲ以テ

$$A = \frac{D_i \log_e \frac{D_0}{D_i}}{2\lambda} + \frac{D_i}{aD_0}$$

D_0 ヲ變數トシ此ノ抵抗 A ノ最小ナル條件ヲ求ムレバ

$$\frac{dA}{dD_0} = \frac{D_i}{a\lambda D_0} - \frac{D_i}{aD_0^2} = 0$$

$$\therefore D_0 = \frac{2\lambda}{a}$$

即チ被覆層外徑ガ $\frac{2\lambda}{a}$ ニ達スル迄ハ被覆ノ爲ニ反ツテ放熱ハ促進サレ、ソレ以上厚サヲ増セバ再ビ遞減スル事ヲ知ル、之ハ亦蒸氣管等ニ保温劑ヲ塗布スル場合ソノ λ ノ値ノ影響並ニ塗布厚サノ決定ノ際ニモ適用サルル重要ナル關係ナリ、

第二章 對流ニ依ル傳熱

一〇、概説、

對流ノ過程ハ二種ニ大別セラレ、流動ノ生ズル原因即チ流體內ノ溫度不同ニ基ク密度ノ差ニヨリ生ズル浮力ニヨル自由流動ト、外力ニ依ル強制流動トニナリ、前者ハ固體壁ト傳熱ノ原因ナキ時ハ靜止シテ居ルベキ周圍流體トノ間ノ傳熱過程ニシテ、後者ハ液體ヲ固體壁面ニ沿ヒテ外力ニヨリ流動セシムル際ノ傳熱過程ナリ、勿論強制對流ノ場合ニモ自由對流ハ同時ニ起ルモノナルガ流速大ナル場合ニハソノ作用ハ看過シ得ル、

固體壁ト流體間ノ熱授受ハ主トシテ對流ニ依リ行ハルルモ、單純ニ對流ノミニヨリテ爲サルルニ非ズ、Prandtlノ說ニ從ヘバ如何ナル種類ノ流動ニ於テモ固體壁面ニ隣接セル部分ニハ殆ド靜止セル薄キ流體膜即チ限界層存在シ、ソノ層内ノ傳熱ハ純傳導ニ依リテ行ハレ、從ツテ熱傳達過程ハ嚴密ニハ最初傳導ニヨリ然ル後對流ニヨリ行ハル、即チ流動速度ハ流體ノ粘性ノ爲ニ壁面ニ於テハ零トナリ、一定ノ隔リニ於テ最大値

ニ達ス、同様ニ流體內ノ溫度モ壁溫度 θ ヨリ一躍シテ流體溫度 t 迄下降セズ、叙上ノ如ク溫度並ニ速度ノ主ナル變化ハ Prandtl ノ限界層内ニ於テ行ハル、今此ノ固體壁面ト流體間ノ熱授受ヲ考ヘテ見ルニ單位時間ニ對シ壁面ヨリ流體ヘノ對流ニヨル傳熱量ハ

$$Q_a = \alpha F (\theta - t)$$

限界層内ノ熱傳導ニヨル傳熱量、

$$Q_\lambda = -\lambda F \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_0$$

定常状態ニ於テ此ノ兩熱量ノ値ハ等シカルベク、從ツテ

$$\alpha = -\frac{\lambda \frac{\partial t}{\partial n}}{\theta - t}$$

之ヨリ見テ熱傳達率 α ハ流體ノ熱傳導率 λ 、壁並ニ流體溫度 θ, t 、限界層内ノ溫度ノ傾斜從ツテ限界層ノ厚サニ依リテ影響ヲ受クル事ヲ知ル、而シテ此ノ限界層ノ厚サハ流體ノ密度 ρ 、粘度 η 、流動速度 w 、流動状態(流線流動又ハ混亂流動)ニヨリテ影響ヲ受ク、更ニ傳熱量ハ面ノ形狀例ヘバ流動ガ平板ニ沿ヒテナサルルカ或ハ管内カ管外カ又ハ蛇管内ヲ流ルルカニ依リテモ影響ヲ受クル事トナル故 α ハ之等原因ノ複雑ナル函數トナル、

今此ノ α ニ影響ヲ及ボス之等總テノ原因ヲ綜合セバ

- (i) 流體ノ種類、 氣體、蒸氣、液體、
- (ii) 流體ノ状態、 溫度、壓力、密度、又ハ比重、比熱、粘度、

(iii) 運動状態、速度並ニ流動状態 (自由又ハ強制)、

(iv) 熱授受面ノ状態、温度並ニ幾何學の形狀、表面粗滑ノ程度、

從ツテ之等複雑ナル對流ニヨル熱傳達過程ヲ數學的ニ表ハサントセバ次ノ諸式ヲ基トシテ研究ヲ進メザル可カラズ、即チ

(1) 流動流體ニ對スル力ノ式 (Navier—Stokes ノ式)

(2) 連續流レノ式、

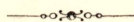
(3) 流動流體內ノ熱傳導ノ式、

(4) 傳熱面ニ於ケル熱傳達ノ式、

而シテ之ニ限界條件ヲ入レテ決定セザル可カラズ、カクノ如ク限界條件ニヨリ之等ノ四式ヲ解カバ、熱傳達率 α ニ錯綜的ナ影響ヲ及ボス諸變數ノ間ノ關係ヲ數學的ニ闡明シ得ル事ニナルモ、實際上現在ノ知識ノ範圍ニ於テハ所要ノ結果ヲ得ル事ハ不可能デアリ、唯流體ノ粘性ヲ閑却スル等假定ヲ單純化スル場合ニ於テノミ可能トナル、從ツテカカル純數學的ノ考察ヲ離レ全然立場ヲ變ヘ純實驗的ニ一定條件ノ下ニ行ハレタル實驗結果ヲ集積シテ、ソノ間ニ存スル關係ヨリ歸納シテ α ニ影響ヲ及ボス諸因子間ノ關係ヲ明ニシ、延イテ全過程ノ理論ヲ導キ出サントスル企テガ行ハルベキハ當然デアリ、又永年カカル方面ノ研究ガ多クノ人々ニ依リ行ハレ來タルモ、唯 α ニ及ボス最モ顯著ナル流動速度ノ影響ノミヲ漠然ト知リ得タル程度ニ止マ

第三章

輻射ニヨル傳熱



一一、概説、

輻射トハ一般ニ物體ヨリ生ズル波—光波ト等シキ性質ヲ有ス—ガ四方ニ傳播スル現象ノ總稱ニシテ「エネルギー」傳播ノ一態ヲ表ハスニ外ナラズ、今太陽ノ輻射ヲ考フル時ソノ白色光線ハ「スペクトル」分析ニヨリ連続的ニ異ル波長ニ分タレ、可視光線ノ外ニ更ニ不可視線即チ長波長側ニ赤外線（又ハ熱線）短波長側ニ紫外線（又ハ化學線）ノ存在ヲ知ルモ、電磁説ニ依レバカカル可視光線輻射及不可視線輻射ノ間ニハ本質的ニ區別ナク、我々が電磁的裝置ニ依リ作り得ルX線又ハ「ラヂヲ」ノ如キ電波ト全ク等シク、之等相互ノ差異ハ唯ソノ波長ノ相違ニ歸ス、

今之等ノ異ル輻射ノ真空内ニ於ケル波長ヲ擧グレバ、

| | |
|------------|--------------------------------|
| γ線、 | 0.005 Å — 1 Å |
| Röntgen 線、 | 0.05 Å — 10 μμ |
| 紫外線（化學線） | 0.01 μ — 0.39 μ |
| 可視線（光線） | { 紫、 0.39 μ 赤、 0.76 μ |

總テ、物體ハ絶對溫度零ナラザルマテ

輻射線ヲ出ス。

各物體ノ溫度ガ同一ニナラバ後始テ輻射線ノ後核
ル。

赤外線 (熱線)

0.76 μ — 7 m.m

電波、

0.01 cm — ∞

ナリ、從ツテ高温度物體ガ中間ニ介在スル物質ノ助ヲ
 藉ラズシテ他ノ物體ヲ熱スルハ物體ノ分子運動ノ「エ
 ネルギー」ガ波動トナリテ四圍ニ傳播シ他ノ物體ニ到
 達シソノ分子ノ運動ヲ旺ナラシムル故デ、温度ガ絶對
 零度ナラザル限リ總テノ物體內ノ分子ハ運動セル爲
 如何ニ低温度ニ於テモ常ニ其ノ表面ヨリ幾何カノ輻
 射ヲナシ、從ツテ空間内ニ孤立セル物體ハ假令熱ノ傳
 導、對流ノ作用ヲ全然伴ハザル真空内ニ於テモ不斷ニ
 冷却又ハ加熱サルル事トナルナリ、

サレバ外部ニ對シテ全ク熱ヲ遮斷セル室内ニ於テ、
 ソノ中ニ置カレタル物體ノ温度ガ一定ナル事ハ自ラ
 ノ輻射ニ依ル放熱量ト周圍物體ヨリノ輻射ニ依ル受
 熱量トガ相等シク平衡状態ニアル事ヲ意味スルモノ
 ニシテ、温度ガ變化セル間ハ兩熱量ニ過不足アル事ヲ
 意味シ、吸收熱量ガ輻射スル熱量ヨリモ大ナラバ温度
 ハ上昇シ逆ノ場合ニ於テハ温度ノ降下ヲ來ス、例ヘバ
 定常温度ノ室内ニ懸垂サレタル温度計ガ一定ノ温度
 ヲ指示セル事ハソレ自身ガ失フ熱量ト周圍ヨリ得ル
 熱量トガ等シク平衡ノ状態ニ達セル事ヲ意味スルモ
 ノデアリ、若シ氷塊ノ如キ低温度物體ヲ温度計ノ附近
 ニ置ク時ハソノ爲ニ周圍物體ヨリ温度計ニ入射スル
 輻射ノ一部分ハ遮ギラルルノミナラズ、氷塊ヘノ輻射
 ノ影響ヲ受ケ温度計ノ全吸收熱量ハ減ジ温度ハ新ナ

... (Faint, mostly illegible text in the right column) ...

... (Faint, mostly illegible text in the right column) ...

平衡状態ニ達スル迄下降ス、從ツテ状態ニ應ジ温度計ヲ適當ニ保護シ又ハ配置セザレバ氣體ノ眞實ノ温度ハ指示シ得ザル事トナリ、正確ナル測定ハ極メテ困難トナル、之汽罐火爐内又ハ煙道氣體温度ノ測定ニ當リテ屢々經驗スル所ナリ、

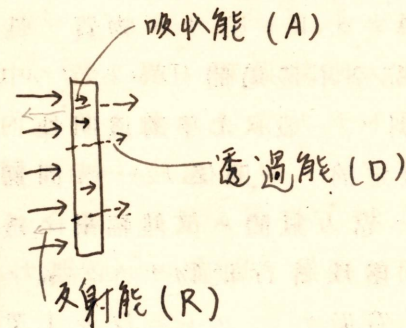
如斯熱輻射ハ他ノ傳熱過程ト異リ管ニ中間ノ媒體ノ存在ニハ無關係トナリ、叙上ノ如ク眞空内ニ於テモ起リ得ルノミナラズソノ傳播速度ハ光ト同ジク眞空内ニ於テ1秒間ニ30万軒ナル故此ノ場合ニハ傳導、對流過程ノ如ク時間的經過ヲ顧慮スル必要ナシ、

第一節 輻射吸收ニ關スル基礎理論

一、輻射能、吸收能及完内黑體、

輻射體ノ單位面積ヨリ單位時間ニ放射スル特定波長ノ輻射「エネルギー」ヲソノ表面ノソノ波長ニ對スル輻射能ト稱ス、乍併一般ニハ物體ノ表面ヨリハ同時ニ多クノ異ル輻射線ヲ放射スルヲ普通トスル故、單位面積ヨリ單位時間ニ輻射スル「エネルギー」ノ總和ヲソノ面ノ全輻射能(又ハ單ニ輻射能)ト云フ、カカル輻射ガ他ノ物體ノ表面ニ入射スル時ハ光ト同様一部分ハ反射サレ一部分ハ透過シ殘リノ部分ガ吸收サレ、ソノ吸收サレタル部分ノ「エネルギー」ノミガ再ビ分子運動ノ「エネルギー」ニ變ジテ温度上昇ヲ來ス、此ノ入射「エネルギー」ニ對スル吸收、反射、透過「エネルギー」ノ割合ヲ

輻射能 ----- 單位面積ヨリ、單位時間ニ發スル energy.



A, D, R, 入射 energy, 割合也.

$$A + D + R = 1 \quad \text{入射 energy} = 1 \text{ として}$$

吸收、透過、反射能、energy = 非ズル割合也
2) = 注意スベシ.

D=1 1) 完全透過

A=0
R=0 Diatherman

D=0 Diatherman

吸收能(A), 反射能(R), 透過能(D) ト名付ケ入射「エネルギー」ヲ 1 ニテ表スト

$$A + R + D = 1$$

勿論 A, R, D ハ何レモ 0 ト 1 トノ間ノ數值トナリ, 完全透過即チ $D = 1$ ($A = 0, R = 0$) ナル物質ノ性質ヲ **Dia-therman** ト名付ケ完全不透過體 ($D = 0$) ナル場合 **Adia-therman** ト呼ビ區別ス, 一般ニ光學的透明性ト熱輻射透過性トノ間ニハ確定的ナル關係ナキモ, 固體液體ニ比シ光學的透過性ニ富ム氣體ハ又熱輻射ノ透過性ニモ富ミ例ヘバ乾燥シ塵埃等浮泛物ナキ空氣ノ如キハ事實上完全透過體ト看做サレ, ソレニ反シ工業用固體材料並ニ液體ハ完全不透過體トナル, カカル不透過體ニ於テハ入射「エネルギー」ハ常ニ反射及吸收「エネルギー」ノ和トナリ

$$A + R = 1$$

表面狀態ノ如何ニ拘ハラズ吸收能ト反射能トノ和ハ 1 トナル, 更ニ此ノ完全不透過體ニ於テ入射セル如何ナル波長ノ輻射ヲモ總テ吸收スル時ハ

$$A = 1 \quad (R = 0)$$

逆ニ總テヲ反射スル時ハ

$$R = 1 \quad (A = 0)$$

トナリ, 前者ノ表面ハ完全黒後者ノ表面ハ完全白ト呼ビテ區別ス, 茲ニ完全黒及白トハ完全吸收及完全反射ノ謂ニテ一般ニハ光ヲヨク吸收スルモノハ黑色ヲ呈シ, 粗雜ナル表面程吸收能ハ大デアリ, 白色又ハ金屬性

光學的透過性ヲ有スルハ輻射線ヲ又透過性ヲ有ス

$$A + R = 1$$

$$A = 1 \\ R = 0$$

完全黒 (完全吸收)

$$A + R = 1$$

$$A = 0 \\ R = 1$$

完全白 (完全反射)

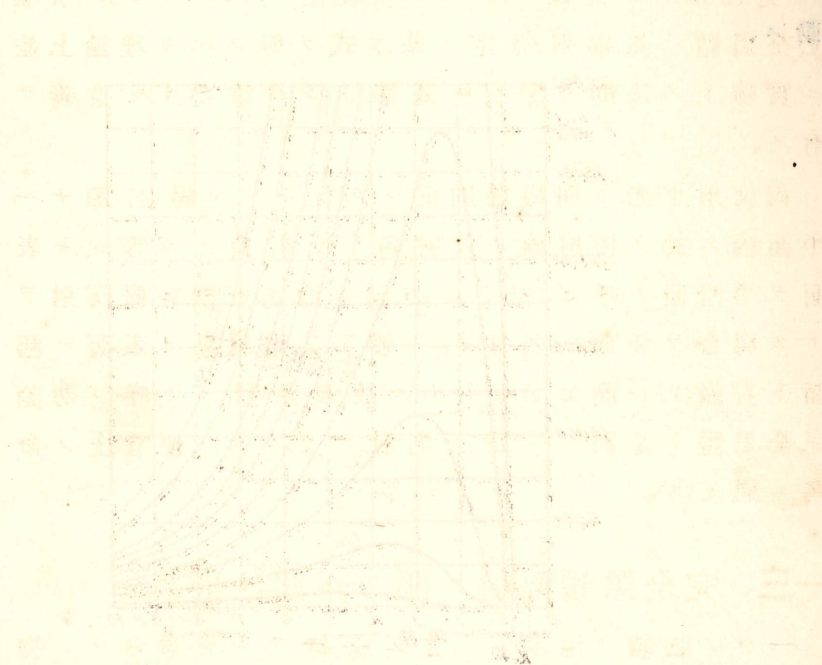
光澤ヲ有スル表面程反射能ハ大ナリ、然シ茲ニ定義セル如キ完全黒又ハ白ノ表面ヲ有スル物體ハ實在セズ、(一見純黒ナル黒煤スラソノ吸収能ハ0.90~0.96ナリ)、唯完全黒體ハ熱輻射算定ノ基本式ヲ與フベキ理論上並ニ實驗上ノ法則ヲ定ムル基準トシテ重要ナル意義ヲ有ス、

尙反射ガ光ト同様規則正シク行ハルル場合、即チ一平面内ニ於テ輻射線ノ入射角ト反射角トガ等シキ表面ヲ平滑面ト呼ビ、總テノ方向ニ而モ一様ニ亂反射ヲナス場合ヲ粗面ト名付ク、一般工業用材料ノ表面ハ粗面ト看做サレ而モ $A < 1$ ナル故灰色體トモ呼ブ勿論完全黒體ト區別スル爲ニ名付ケラレタル便宜上ノ命名ニ過ギズ、

一三、完全黒體輻射ニ關スル諸法則、

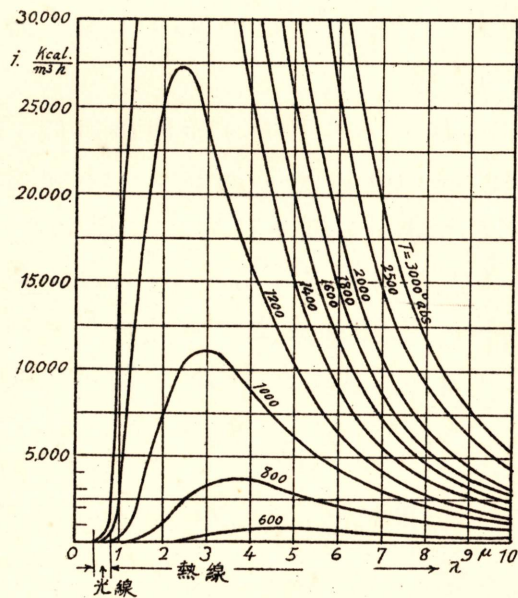
一ツノ物體ノ溫度ガ一定ニ保持サルル事ハソノ物體ガ一定時間内ニ吸收スル輻射「エネルギー」トソレ自身ヨリ輻射スル「エネルギー」トガ相等シキ事ヲ意味スル故、ソノ溫度ニ於ケル總テノ波長ノ輻射線ヲ吸收スルト考フル完全黒體ニアリテハ、又總テノ波長ノ輻射線ヲ同一割合ニテ輻射ス、カクノ如キ輻射ヲ黒體輻射ト呼ブ、如斯完全黒體ハ總テノ波長ノ輻射ヲナセドモ、與ヘラレタル溫度ニ於テソノ輻射ノ強サハ總テノ波長ニ互リテ決シテ等シカラズ圖示ノ如ク各ノ波長ハ與ヘラレタル溫度ニ於テ各一定ノ強サヲ持チ、一般ニ

温度 = 依リテ波長、強サヲ異ニス



温度 = 依リテ波長、強サヲ異ニス

波長零ヨリ漸次増加スルニ從ヒソノ強サハ増シ最大値ニ達シタル後再び減少シ、而モ此ノ強サノ等溫曲線最高點ハ圖示ノ如ク溫度上昇ト共ニ短波長側ニ移動ス、

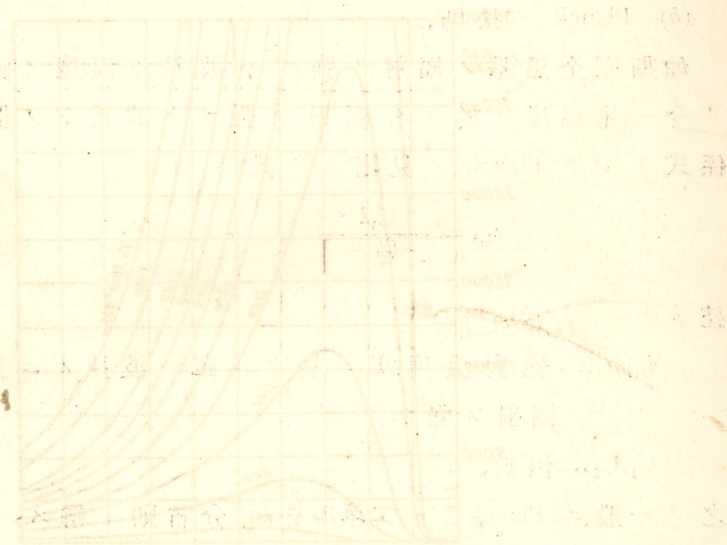


(a) Wien ノ 法 則、

上ノ事實即チ一定波長ニ於テ輻射ノ強サガ最大トナル事ト、ソノ波長ハ溫度ノ上昇ト共ニ漸次短波長側ニ變位スル事トヲ確メシハ Wien 氏ニシテ之ヲ **Wien ノ 變位法則**ト名付ク、 *displacement law*

一般ニ物體ヲ加熱スル時比較的低溫度ニ於テハ輻射ノ強サハ弱ク其輻射ハ波長ノ長キ所謂赤外線ナル爲肉眼ニハ感ゼザルモ、溫度上昇ト共ニ先ヅ波長長キ

(From the text on the opposite page, which is mostly illegible due to fading and bleed-through.)



(From the text on the opposite page, which is mostly illegible due to fading and bleed-through.)

暗赤色 (約 530°C) ヲ帶ビ漸次赤色 (約 700°) 橙色 (約 850°) 黃色 (約 1000°C) 白色 (約 1100°C) トナリ、更ニ高溫度トナラバ紫側ノ光モ増加シ遂ニハ青色ヲ呈スルニ至ル、此ノ事實ハ Wien ノ法則ニヨリ明カナリ、

(b) Planck ノ法則、

如斯完全黒體ノ輻射ノ強サハ波長ト溫度ノ函數ナリ今一定溫度ニ於ケル輻射ノ強サト波長トノ間ノ關係式トシテ Planck ノ見出セル式ハ

$$i_{\lambda, b} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{-\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

茲ニ

black body
 $i_{\lambda, b}$ …… 絶對溫度 T ニ於ケル單一波長 λ ニ對スル輻射ノ強サ、

C_1, C_2 …… 恒數、

之ヲ一般ニ Planck ノ「エネルギー」分布則ト稱ス、

(c) Stefan-Boltzmann ノ法則、

Stefan 氏ガ實驗的研究ノ結果種々ノ溫度ニ於ケル黒體ノ發スル全輻射 (即チ總テノ波長ノ輻射) ニ關シテ見出シタル法則ハ次ノ如シ、

黒體ガ一秒間ニ輻射スル全「エネルギー」ハ其ノ絶對溫度ノ四乗ニ比例ス、

即チ今輻射體ノ單位表面積ヨリ發スル全「エネルギー」ヲ $E_{b, T}$ トシ絶對溫度ヲ T トセバ

$$E_{b, T} = \sigma_b T^4$$

ナル關係アリ、茲ニ σ_b ハ完全黒體ノ輻射恒數ニシテ其

ノ値ハ

$$\sigma_b = 4.95 \times 10^{-8} \quad [\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{T}^4]$$

ナリ、Boltzmann ハ更ニ理論的ニ此ノ法則ノ成立スル事ヲ證明セリ、仍テ之ヲ **Stefan-Boltzmann** ノ法則ト云フ、

尙工學上ノ計算ニハ此ノ式ヲ

$$E_{b,T} = C_b \left(\frac{T}{100} \right)^4 = 4.95 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad [\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h}]$$

ノ如クニ變形シ、 $(T/100)^4$ ノ表ヲ作製シ之ヲ用ヒテ計算ノ便宜ニス、

一四、非黑體（灰色體）輻射、

一般ニ固體ヨリノ輻射ハ完全黑體ノ如ク總テノ波長ニ互リテ規則正シキ分布ヲナサズ、アル波長域ノモノハ全然輻射ヲナサザル事モアリ、又如何ナル域ニ於テモ同一波長ノ黑體輻射「エネルギー」ヨリ大トハナリ得ズ、サレバカカル非黑體ノ輻射能ハ完全黑體ノ輻射能ヨリハ常ニ小サク、而モ完全黑體ノ如ク常ニソノ絶對溫度ノ四乗ニ比例スルモノトハ斷定シ得ズ、然シカカル非黑體輻射ガ假ニ總テノ波長ニ互リテ行ハレ、而モ各波長ニ於ケル輻射ノ強サガ同一波長ノ黑體輻射ト常ニ同一ナル分數的關係ニアルモノト考ヘ得ルナラバソノ輻射能ハ黑體輻射ノ場合ト同様唯輻射恒數ノミニ考慮ヲ拂ハバ Stefan-Boltzmann ノ法則ヲソノ儘適用シ得ル事トナリ、總テノ計算モ亦ソノ爲ニ簡潔ニ行ヒ得ルナリ、一般ニ如斯輻射能ガソノ絶對溫度ノ四乗ニ比例スルト考ヘ得ル非黑體ヲ灰色體ト名付

ケ、ソノ輻射ヲ黑體輻射ニ對シ灰色體輻射ト稱シテ區別ス、

工學上ニ於テ取扱フ殆ド總テノ固體ノ輻射ハ事實上充分ナル正確サヲ以テ近似的ニ灰色體ト看做サレ、ソレニ對スル Stefan-Boltzmann ノ法則ハ次ノ如クニ書キ表ハサル、

$$E = \sigma T^4 = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 = \epsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 = \epsilon \times 4.95 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (\text{Kcal/m}^2\text{h})$$

茲ニ $\epsilon < 1$ ニシテ金屬ニ於テハ表面状態ニヨリソノ値ヲ異ニシ、磨カレタル表面ニ對スル値ハ著シク小トナリ粗面並ニ酸化面ニ對シテハ著シク大ナリ、而シテ吾人ハ表面ノ粗滑度並ニ表面特性ニ對シテハ嚴密ナル定義ヲ下シ得ズ、又表面特性ガ變化セザル物體ニ於テモ輻射恒數ハ一定デナク溫度ト共ニ増加スルヲ以テ、此ノ値ヲ正確ニ決定スル事ハ極メテ困難ナリ、乍併一般燃燒裝置ニ於テ問題トナル例ヘバ灼熱セル石炭層高溫度耐火煉瓦、並ニ表面酸化シ又ハ煤煙ノ附着セル鐵管ニ對スル C ノ値ハ約 3.5~4.5 ノ範圍ノ數值ヲ採用シ得、

一五、輻射ノ強サト距離トノ關係並ニ Lambert ノ法則、

點形輻射源ヲ考フレバ輻射ハ球狀ニ傳播シ半径ノ自乗ニ比例シテ増加スル表面積上ニ一樣ニ分布スベキ事ヨリ、輻射ノ強サハ輻射源ヨリノ距離ノ自乗ニ逆比例スルヲ知ル、



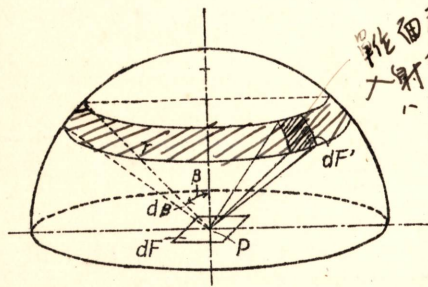
乍併距離 r ニ對シ輻射源ノ表面積ガ増加セバ最早此ノ關係ハ成立セズ、極限ノ場合即チ擴ガリ無限大ナル輻射面ヲ考フレバ、ソノ輻射ノ強サハ雷ニソノ面ヨリノ距離ニツレ減ゼザルノミナラズ距離ニ無關係ニ一定トナルナリ、此ノ事ハ輻射高温計ニ對シテ重要ナル意味ヲ持チ、輻射體ガ熱電對ヲ蔽フ丈ノ大サアレバ無限大ノ擴ガリヲ有スルモノト看做サレ、距離ニハ無關係ニ溫度ヲ測定シ得ル事トナルナリ、

次ニ與ヘラレタル表面積ヨリノ全輻射ガ異ル方向ニ對シテハ次ノ式ニテ與ヘラル、

$$E_{\beta} = E_n \cos \beta$$

茲ニ E_n ハ垂直方向ノ輻射能、 β ハ垂直方向トナス角之ヲ Lambert ノ餘弦ノ法則ト云フ、

次ニ全輻射能 E ト垂直輻射能 E_n トノ間ノ關係ヲ求メン、



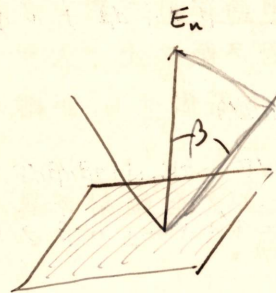
$dF' = \text{band, area.}$

此面積 = 放射エネルギー

今圖ノ如ク表面 dF ヨ
ノ輻射ヲ考フレバ
全輻射「エネルギー」ハ

$$Q = E dF$$

此ノ量ハ又 dF 上ノ P
點ヲ中心トシ任意ノ
半徑 r ニテ描ケル半
球面上ニ入射スル全
「エネルギー」ト等シキ
故、今之ヲ求メンニ圖



$$E_{\beta} = E_n \cos \beta$$



ニ於テソノ半球面上ニ dF 面上ノ法線ト任意ノ角 β ヲ
ナス位置ニアル單位表面積ニ入射スル「エネルギー」ヲ
考フレバ

$$Q_{\beta} = \frac{E_n \cos \beta}{r^2} dF \quad dQ_{\beta} = \frac{E_n \cos \beta}{r^2} dF dF'$$

尙圖示ノ如ク此ノ半球面上ニ $\beta, \beta + d\beta$ ナル角ヲナ
ス帶輪ノ全面積ハ dF'

$$dF' = 2\pi r \sin \beta (r d\beta) = 2\pi r^2 \sin \beta d\beta$$

$$\therefore dQ_{\beta} = \frac{E_n \cos \beta}{r^2} \cdot 2\pi r^2 \sin \beta d\beta dF = \pi E_n \sin 2\beta d\beta dF$$

故ニ半球面上ニ入射スル全「エネルギー」ハ β ヲ 0 ヲリ
 $\frac{\pi}{2}$ 迄積分スル事ニヨリ

$$Q = \int_{\beta=0}^{\beta=\frac{\pi}{2}} dQ_{\beta} = \pi E_n dF \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin 2\beta d\beta = \pi E_n dF$$

然ルニ此ノ量ハ dF 面ヨリノ全輻射「エネルギー」ト等
シキヲ以テ

$$Q = E dF = \pi E_n dF$$

$$\therefore E = \pi E_n \quad (\text{Kcal/m}^2\text{h})$$

即チ單位表面積ヨリノ輻射「エネルギー」即チ輻射能ハ
ソノ表面ニ垂直ナル方向ノ輻射能 E_n ノ π 倍ナル事ヲ
知り、一般輻射表面積下ニ對シテハ

$$Q = \pi Q_n \quad (\text{Kcal/h})$$

ナリ、尙此ノ Q ハ Stefan-Boltzmann ノ法則ヨリ輻射恒數
並ニ絶對溫度ノ項ニテ表ハシ得ル故垂直方向ノ輻射ハ

$$Q_n = \frac{Q}{\pi} = \frac{1}{\pi} CF \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (\text{Kcal/h})$$

從ツテ任意ノ方向 β ニ於ケル輻射「エネルギー」ハ

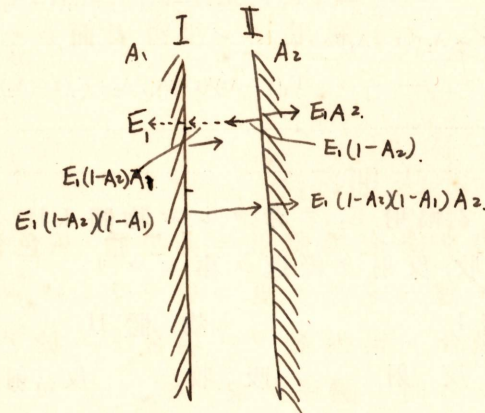
$$Q_{\beta} = \frac{1}{\pi} CF \left(\frac{T}{100} \right)^4 \cos \beta \quad (\text{Kcal/h})$$

之等ノ關係ハ任意ノ位置ニ置カレタル有限ノ大サノ表面ニ對スル熱授受量決定ニ當リ役立つ重要ナル基礎式トナル、唯茲ニ注意スベキハ此ノ Lambert ノ餘弦ノ法則ハ粗面ニ對シテノミ適用サレ平滑表面ニハ用ヒラレザル事ナリ、

一六、Kirchhoff ノ法則、

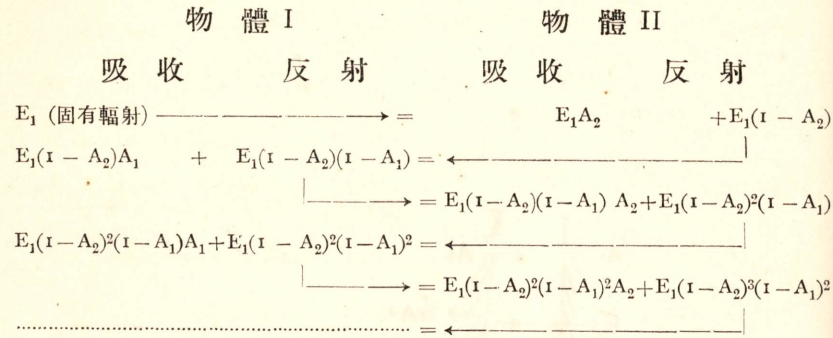
之迄ノ諸節ハ專ラ完全黒體並ニ非黒體（灰色體ノ）輻射ノ法則ニ就キ述べタルガ更ニ與ヘラレタル物體ガ被輻射體タル場合ト輻射體タル場合トニ於テツノ吸收能ト輻射能トノ間ノ關係ヲ求メン、

今ツノ爲ニ一表面ヨリノ輻射ガ他ノ表面ニ總テ入射スル場合ヲ抽象センガ爲ニ大ナル擴ガリヲ有スル異ル溫度ノ二表面ヲ近接シテ置キタル場合ヲ考ヘ、最初物體 I ヨリノ輻射ガ迎ル経路ヲ考フレバ Stefan-Boltzmann ノ法則ヨリツノ單位表面積ヨリ單位時間ニナサルル輻射「エネルギー」ハ $E_1 = C_1 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4$ ナリ、之ガ表面 II ニ吸收サルル部分ハ $E_1 A_2$ ニシテ、残り $E_1 (1 - A_2)$ ハ反射サレ再び表面 I ニ還リ、表面 I ニ於テツノ内 $E_1 (1 - A_2) A_1$ ハ吸收サレ殘部 $E_1 (1 - A_2) (1 - A_1)$ ハ反射サレテ再び II ニ戻ル、從ツテ物體 I ヨリ輻射サルル「エネルギー」 E_1 ハ物體 I, II ノ間ニ次ノ如キ吸收反射ノ

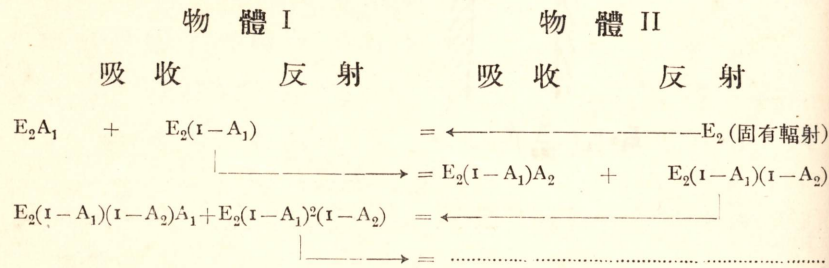


$$E_1 = C_1 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4$$

過程ヲ繰返ス、



次ニ物體 II ヨリノ輻射 E_2 ヲ考フレバ物體 I, II ノ間ニ E_1 ト同様ナル吸収, 反射ヲ繰返ス事ニヨリ



結局物體 I ヨリ物體 II ニ實際ニ輻射スル「エネルギー」
 Q_{12} ハソノ固有輻射 E_1 ヨリ物體 I ニテ再ビ吸収サルル
 「エネルギー」ノ總和 Q_1 ト物體 II ノ固有輻射 E_2 ノ中實
 際ニ物體 I ニテ吸収サルベキ「エネルギー」ノ總和 Q_2 ヲ
 減ゼル差ヲ以テ與ヘラル事トナル即チ

$$Q_{12} = E_1 - Q_1 - Q_2$$

然ルニ

[Faint handwritten notes and bleed-through from the reverse side of the page.]

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= E_1(1 - A_2)A_1 + E_1(1 - A_2)^2(1 - A_1)A_1 \\
 &\quad + E_1(1 - A_2)^3(1 - A_1)^2A_1 + \dots \\
 &= E_1(1 - A_2)A_1[1 + (1 - A_2)(1 - A_1) \\
 &\quad + (1 - A_2)^2(1 - A_1)^2 + \dots] \\
 &= \frac{E_1(1 - A_2)A_1}{1 - (1 - A_1)(1 - A_2)} = \frac{E_1(1 - A_2)A_1}{A_1 + A_2 - A_1A_2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= E_2A_1 + E_2(1 - A_1)(1 - A_2)A_1 \\
 &\quad + E_2(1 - A_1)^2(1 - A_2)^2A_1 + \dots \\
 &= E_2A_1[1 + (1 - A_1)(1 - A_2) \\
 &\quad + (1 - A_1)^2(1 - A_2)^2 + \dots] \\
 &= \frac{E_2A_1}{1 - (1 - A_1)(1 - A_2)}
 \end{aligned}$$

故 =

$$\begin{aligned}
 Q_{12} &= E_1 - \frac{E_1(1 - A_2)A_1}{1 - (1 - A_1)(1 - A_2)} - \frac{E_2A_1}{1 - (1 - A_1)(1 - A_2)} \\
 &= \frac{A_2E_1 - A_1E_2}{A_1 + A_2 - A_1A_2}
 \end{aligned}$$

此ノ式ハ等温度ノ場合ニモ適用シ得ルヲ以テソノ時
ハ兩物體ハ互ニ熱授受ヲナサザルヲ以テ

$$Q_{12} = \frac{A_2E_1 - A_1E_2}{A_1 + A_2 - A_1A_2} = 0$$

此ノ式ニ於テ A_1, A_2 及 A_1A_2 ハ常ニ 1 ヨリ小ナル故分
母ハ無限大トハナリ得ズ, 從ツテ此ノ條件ヲ満足スル
爲ニハ分子ガ零ナラザル可カラズ、

故 =

$$A_2E_1 = A_1E_2 \quad \therefore \frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \text{恒數}$$

更ニ此ノ場合之等兩物體ノ中何レカーツ例ヘバ物體

II フ完全黒體ニ選ビ、尙共通溫度ヲ T トセバ

$$A_2 = A_b = 1 \quad E_2 = E_{b,T}$$

トナル故

$$\frac{E_1}{A_1} = E_{b,T} = \sigma_b T^4 = C_b \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

同様ニ物體 I フ完全黒體トセバ

$$\frac{E_2}{A_2} = E_{b,T} = \sigma_b T^4 = C_b \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

$$\therefore \frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = E_{b,T} = C_b \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

即チ一定溫度ニ於テハ總テノ物體ノ輻射能ト吸收能トノ比ハ恒數トナリ、ソノ溫度ニ於ケル完全黒體ノ輻射能ト等シキ事ヲ知ル、此ノ關係ヲ **Kirchhoff** ノ法則ト呼ブ、

此ノ法則ヨリ任意ノ物體ノ輻射能ハ吸收能大ナルモノ程大トナリ、吸收能大ナル黑色粗面ノ物體ハ又輻射能モ大ニシテ、金屬性光澤面ヲ持ツ物體ノ輻射能ハ極メテ小ナル事ヲ知ル、 A_1, A_2, \dots ハ常ニ 1 ヨリ小ナル故一定溫度ニ於ケル輻射「エネルギー」ハ常ニ同一溫度、同一形狀並ニ表面積等シキ完全黒體ニ對スルモノヨリ小ナル事ヲ知ル、尙上式ハ輻射ノ全量ニ對スル關係ナルモ各波長各ノ輻射ニ就キテモ同様ナル關係ガ適用サレ

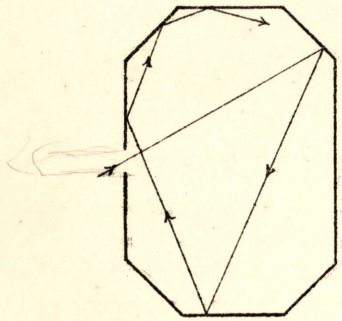
$$\frac{E_{\lambda 1}}{A_{\lambda 1}} = \frac{E_{\lambda 2}}{A_{\lambda 2}} = \dots = E_{\lambda, b} = f(\lambda, T)$$

ナリ、



一七、Kirchhoff ノ空洞ニヨル黒體輻射ノ實現、

先ニ規約セルガ如キ完全黒體ハ勿論實在セザルモ次ノ如キ空洞ヨリノ輻射ハ近似的ニ完全黒體輻射ト



看做シ得ル、即チ四圍ノ壁ガ總テ等溫度ナル空洞ヲ想像シ、ソノ壁ノ一ヶ所ニ小孔ヲ穿テバ外部ヨリノ輻射ハ此ノ小孔ヲ通ツテ内部ニ入射シ、圖ノ如ク空洞内壁面ニテ反射ヲ繰返ス事トナリ、而モ常ニ異ル面ニ入射スル度毎ニ吸収サルル故ソノ強サハ次第ニ弱メラレ、結局穿タレ

タル孔ガ此ノ空洞空間ニ比シ極メテ小ナル時ニハ近似的ニ入射セル輻射ノ全部ハ吸収サレ、從ツテ此ノ小孔ノ吸收能ハ1ト看做サル、カクシテ任意ノ吸收能ヲ持ツ材料ヲ用ヒテ黒體輻射ヲ實現シ得ルナリ、如斯基方法ニヨル黒體輻射ノ實現ハ輻射恒數ノ決定、輻射高溫計光學高溫計ノ檢度ノ場合等ニ屢々用ヒラルル重要ナルモノナリ、尙此ノ事ヨリ汽罐爐内周圍ノ溫度ガ近似的ニ等溫度ト看做シ得ル場合視孔等、爐壁小孔ヨリノ輻射ハ近似的ニ黒體輻射ト看做シ得ル、サレバ又爐内ノ溫度ヲ完全黒體ノ輻射ニテ檢度セル高溫計ヲ用ヒテ測定スル場合ニハ比較的正確ナル溫度ヲ指示

$$\begin{array}{l}
 E \rightarrow \quad EA_1 \\
 E(1-A_1) \rightarrow \quad E(1-A_1)A_1 \\
 E(1-A_1)^2 \rightarrow \quad E(1-A_1)^2 A_1
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 & EA_1 + EA_1(1-A_1) + E(1-A_1)^2 A_1 + \dots \\
 & = EA_1 [1 + (1-A_1) + (1-A_1)^2 + (1-A_1)^3 + \dots] \\
 & = EA_1 \frac{1}{1-(1-A_1)} = EA_1 \frac{1}{A_1} = E
 \end{aligned}$$

スル事ヲ知ル、

一八、輻射高温計、

比較的高温ナル例へバ汽罐火爐内温度又ハ熔融セル金屬ノ温度等ヲ正確ニ測定スル事ハ工學上極メテ重要ナルモノナルガ、廣ク用ヒラルル水銀温度計、電氣抵抗温度計、熱電温度計等ニテ測定シ得ル最高温度ハ比較的低ク、カカル高温ノ測定ハ不可能ナルノミナラズ測定上被測定體ニ接觸セシメザル可カラザル等又實用上ノ不便ヲ伴フ、

然ルニ工學上高温測定ニ廣ク用ヒラルル輻射高温計及光學高温計ハ輻射ノ原理ニ依リ作製サレタルモノナルヲ以テ他種高温計ト異リ、被測定體ニ接觸スル必要ナク、又距離ニモ無關係ニ温度ヲ測定シ得ル事トナリ實用上便利ナリ、

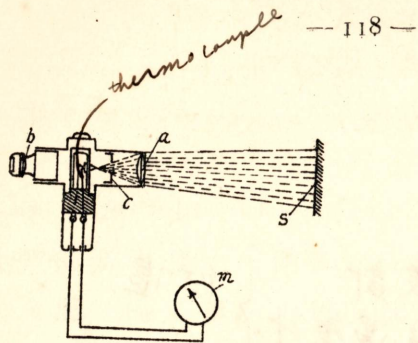
此ノ輻射高温計ノ原理ハ完全黒體ノ温度ト全輻射「エネルギー」トノ間ノ關係ヲ與ヘル Stefan-Boltzmann ノ法則ヲ基トシ、光學高温計ハ一定波長ノ黒體輻射ノ強サト温度トノ關係ヲ與ヘル Wien-Planck ノ法則ヲソノ原理トシテ作ラレタルモノニシテ、次圖ハソノ構造ヲ示ス、

輻射高温計ハ高温體ヨリノ輻射ヲ望遠鏡ノ對物「レンズニ」依リテ收斂セシメ、吸收ニ依ル其ノ温度ノ上昇ヲ熱電對ヲ用ヒテ測リ、豫メ既知温度ニテ檢度セル電流計ノ指度ニ依リテ高温體ノ温度ヲ間接ニ測定セン

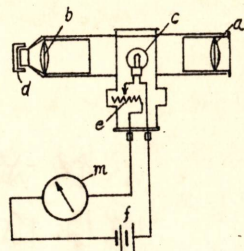


水銀温度計 } 付温.
電氣抵抗温度計 } 接觸セルヲ要ス.
熱電温度計 }

輻射高温計 } 高温を測気.
距離 = 無關係



輻射高温計
(s 輻射體, a 對物レンズ, b 對
眼レンズ, c 絞リ, m 電流計)



光學高温計
(c フキラメント, d 赤硝子, e 抵抗,
f 電池, a, b, m は左圖と同じ)

トスルモノニシテ, 製作者ニ依リ對物「レンズ」ノ代リ
ニ鏡面ヲ用ヒテ輻射ヲ收斂スル等構造上ニハ差異ア
ルモ, ソノ原理ハ何レモ等シ, 唯此ノ高温計ニテ温度ヲ
測定スルニ當リ注意スベキハ測定セントスル高温體
ノ像ガ常ニ熱電對ヲ蔽フニ足ルダケノ太サヲ持タザ
ル可カラザル事ナリ。

光學高温計ハ輻射ノ強サ即チ高温體ノ照明作用ハ
温度ニ依リテ異ルヲ以テ, 標準「ランプ」ノ光度ト高温
輻射體ノ光度トヲ比較シテ相關的ニ温度ヲ定メント
スルモノニシテ, 圖ノ如ク望遠鏡ニ依リテ高温體ノ像
ヲ生ズル所ニ標準「ランプ」ヲ置キ, 測定サルベキ高温
體ノ像ト「ランプ」ノ「フキラメント」トヲ重ネ, 「フキラメ
ント」ニ電流ヲ通ジ一定波長ノ光(普通ニハ赤色)ニ於
テ高温體ノ像ト同ジ明ルサニ見ユル迄電流ノ調節ヲ
行ヒ, ソノ電流ヲ豫メ既知温度ニツキ檢度セル電流計
ヲ用ヒテ測リ, ソノ指度ヨリ直ニ高温體ノ温度ヲ求メ

距離 = 無関係.

光, energy $\propto d^2 = \lambda^2$ 比例.

像 $\propto d^2$ 逆比例 $\propto \lambda^{-2}$.

故 = unit area, energy $\propto \text{const}$

ントスルモノナリ、勿論高温體單位表面積ヨリノ輻射ノ強サハ距離ノ自乗ニ逆比例スルモ同時ニ像ノ大キサモ距離ノ自乗ニ逆比例スル故事實上像ノ單位面積ノ明ルサハ距離ニハ無關係ナリ、從ツテ前同様高温計ト輻射體トノ距離ニハ無關係ニ溫度ヲ測定シ得、此ノ場合ニハ輻射高温計ノ如ク高温體ノ像ガ「ランプ」ノ「フキラメント」ノ全部ヲ蔽フ必要ハナイ、乍併一般使用上ヨリハ輻射高温計ノ方調節モ容易ニシテ且光學高温計ニ比シテ比較的低温度ニ使用スル事ガ出來テ便利ナリ、

之等高温計ノ檢度ハ完全黒體ノ輻射ヲ基トシテ行フ、然ルニ被測定體ノ吸收能ハ常ニ1ヨリ小ナル上、酸化セル表面ヲ有スル鐵片ノ如ク溫度ニ依リ吸收能ヲ異ニシ、又熔融セル金屬等モ溫度ニ依リ吸收能ハ一定ナラズ、而モソノ表面ニ酸化物ヲ生ゼル時ニハ又著シク吸收能ニ變化ヲ及ボス、從ツテ之等ノ點ヲ考慮シテ指度ニ修正ヲ施サザレバ眞實溫度ハ求メ得ズ、勿論高温體ニ接近シテ成ル可ク黒色物體例ヘバ炭素ノ如キモノヲ置クカ、又ハ金屬ノ酸化表面等ナルベク黒色部分ヲ測レバ測定誤差ハ減ジ得ルモ、光澤面ヲ持ツ金屬面ノ如ク完全黒體ニ比シテ輻射能著シク小ナルモノニ對シテハ必ズ指度ニ相當ノ修正ヲ施サザル可カラズ、

即チ任意ノ高温體ノ輻射能ハ

$$\frac{E}{A} = E_b$$

$$E = AE_b = A\sigma_b T^4 \\ = AC_b \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

光... 像小^ニテモ可
調節困難 取扱困難
最低 700~900°C

輻... 像ハ thermo coupleヲ蔽フヲ要ス。
取扱容易
最低 500~600°C

然ルニ完全黒體ニ於テハソレヨリ低温度 T_1 ニテ同一輻射ヲナス故

$$E = \sigma_b T_1^4$$

サレバ眞實温度 T ト高温計ノ指度(見掛ケノ温度) T トノ間ニハ

$$A\sigma_b T^4 = \sigma_b T_1^4$$

$$\therefore T = \sqrt[4]{\frac{1}{A}} T_1$$

即チ輻射光温計ニ於テハソノ指度 $= \frac{1}{\sqrt[4]{A}}$ ナル修正ヲ施スベキ事ヲ知ルモ、實際上各々ノ場合ニ就テ吸收能 A ノ正確ナル値ヲ知ル事ハ極メテ困難ナリ、

第二節 輻射ニヨル二固體間ノ熱授受

一九、一物體ガ他物體ニ圍マレタル場合、

以後考ヘントスル物體ハ鏡面又ハ金屬性表面ヲ有セズ常ニ散反射ヲナス粗表面ヲ有スルモノトシ、而モ Stefan-Boltzmann ノ法則ニ從フベキ灰色體輻射カ黒體輻射ヲナス事ヲ假定シ、更ニ二物體ヲ距ツル氣體層ハ輻射ノ完全透過體ト看做ス、今閉ザサレタル室内ニ置カレタル高温物體例ヘバ室内ニアル暖房用「ラヂエーター」又ハ蒸氣管ト周圍ノ壁トノ間ニナサルル輻射ニ依ル熱授受ノ如ク、異ル温度ノ二物體ノ中表面積 F_1 ナル一ツノ物體 I ガ全然表面積 F_2 ナル他ノ物體 II ニテ圍マレタル場合、圖ニテ明ナル如ク内部物體 I ヨリノ輻射

熔融ニ銅

A=0.14

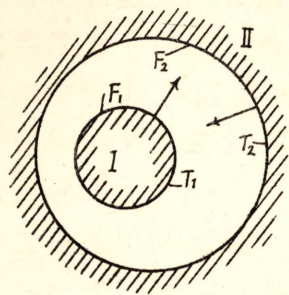
reading - 1100°
real - 560°

熔融ニ鉛

A=0.29



IIハ凸凹ナリ
場合=限ル



ハ物體 II ノ内表面ニ全部入射スルニ對シ物體 II ヨリノ輻射ガ物體 I ニ入射スルハソノ一部分ニ過ギズ、殘リノ大部分ハ物體 II ノ他ノ部分ニ入射ス、今物體 II ノ單位面積ヨリナサル輻射ノ内φ部分ノミガ直接物體 I ニ入射スルモノトセバ Kirchhoff

ノ法則ヲ導出セル場合ト同様ニシテ熱受熱量ハ

$$Q_{12} = \frac{A_2 E_1 F_1 - \phi A_1 E_2 F_2}{A_2 + \phi A_1 (1 - A_2)}$$

此ノ關係ハ兩物體ノ溫度等シキ時ニモ成立スルヲ以テ此ノ場合兩物體間ニハ熱授受ナク

$$Q_{12} = 0$$

ナリ、然ルニ上式ノ分母ハ如何ナル場合ニ於テモ無限大トハナリ得ズ、從ツテ分子ガ零ナル場合ノミ上ノ關係ヲ満足スルヲ以テ

$$A_2 E_1 F_1 = \phi A_1 E_2 F_2 \quad \text{又ハ} \quad \phi = \frac{A_2 E_1 F_1}{A_1 E_2 F_2}$$

然ルニ Kirchhoff ノ法則ヨリ等溫度ナル場合

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = E_b \quad \text{又ハ} \quad A_2 E_1 = A_1 E_2$$

之ヲ前式ニ代入セバ

$$\phi = \frac{F_1}{F_2}$$

斯クノ如クφハ簡單ナル關係式ニテ確定サレ、而モ此ノ値ハ兩物體ノ表面積ニヨリテノミ影響ヲ受ケ、ソノ

... (mirrored bleed-through text from the reverse side) ...

$$\frac{A_2 E_1 F_1 - \phi A_1 E_2 F_2}{A_2 + \phi A_1 (1 - A_2)} = 0$$

$$\frac{A_2 E_1 F_1 - \frac{A_2 E_1 F_1}{A_1 E_2 F_2} A_1 E_2 F_2}{A_2 + \frac{A_2 E_1 F_1}{A_1 E_2 F_2} A_1 (1 - A_2)} = 0$$

$$\frac{A_2 E_1 F_1 (1 - \frac{A_1}{A_1})}{A_2 + A_2 (1 - A_2)} = 0$$

$$\frac{0}{A_2} = 0$$

... (mirrored bleed-through text from the reverse side) ...

兩面ノ状態又ハ相關的位置ニハ無關係ナルヲ知ル、唯茲ニ注意スベキハ此ノ關係ハ唯内部物體 I ガ完全ニ外部物體 II ニ圍マレ而モ之等兩表面ハ深キ凹ミヲ有セザル時ノミ成立スルモノナリ、何故ナラバ物體 I ニ例ヘバ鍔付「ラヂエーター」ノ如ク表面ニ凹所アラバソノ表面ヨリノ輻射ハ全部ソレヲ圍ム物體 II ニハ入射セズ一部分ハソノ凹所内ニテ吸收反射ヲ行フ、次ニ前式ヲ内部物體ノ表面積 F_1 ノ項ニテ表ハサバ

$$Q_{12} = \frac{A_2 E_1 - A_1 E_2}{A_2 + \varphi A_1 (1 - A_2)} F_1 = E_{12} F_1$$

茲ニ

$$E_{12} = \frac{A_2 E_1 - A_1 E_2}{A_2 + \varphi A_1 (1 - A_2)} = \frac{A_2 E_1 - A_1 E_2}{A_2 + \frac{F_1}{F_2} A_1 (1 - A_2)}$$

此ノ E_{12} ハ内部物體 I ノ單位面積ヨリ外部物體 II ノ表面ニ輻射ニヨリテ與ヘル傳熱量ヲ表ス、換言セバ物體 II ニ對スル物體 I ノ有効輻射能ナリ、尙此ノ傳熱量 Q_{12} ヲ兩物體ノ溫度並ニ輻射恒數ノミノ項ニテ表ハサバ Stefan-Boltzmann ノ法則ヨリ

$$E_1 = C_1 \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \quad E_2 = C_2 \left(\frac{T_2}{100} \right)^4$$

Kirchhoff ノ法則ヨリ

$$\frac{E_1}{A_1} = C_b \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \quad \frac{E_2}{A_2} = C_b \left(\frac{T_2}{100} \right)^4$$

$$\therefore A_1 = \frac{C_1}{C_b} \quad A_2 = \frac{C_2}{C_b} \quad 1 - A_2 = \frac{C_b - C_2}{C_b}$$

從ツテ之等ノ關係ヲ上式ニ代入セバ

$$\begin{aligned}
 Q_{12} &= \frac{C_1 C_2 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - C_1 C_2 \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{C_2 + \frac{F_1 C_1}{F_2} \frac{C_b - C_2}{C_b}} F_1 \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_b}\right)} \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] F_1 \\
 &= C_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] F_1
 \end{aligned}$$

茲ニ

$$\begin{aligned}
 C_{12} &= \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_b}\right)} = C_1 \frac{1}{1 + \frac{F_1}{F_2} A_1 \left(\frac{1}{A_2} - 1\right)} \\
 &= \frac{C_b}{\frac{1}{A_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{A_2} - 1\right)}
 \end{aligned}$$

此ノ C_{12} ハ有効輻射恒數トナリ、兩物體ノ輻射恒數 C_1, C_2

又ハ吸收能 A_1, A_2 並ニソノ表面積比 $\varphi = \frac{F_1}{F_2}$ ノ函數ト

ナル、
$$\varphi = \frac{F_1}{F_2} \approx 0$$

次ニ特別ナル場合トシテ比較的大ナル室内ニ置カレタル暖房管ノ如ク内部ノ物體即チ管表面積 F_1 ニ比シソレヲ圍ム室ノ内壁面積 F_2 ガ著シク大ニテ

$$\varphi = \frac{F_1}{F_2} = 0$$

ト看做シ得ル場合ヲ考フレバ

$$C_{12} = C_1$$

トナル、即チ極メテ大ナル空間内ニテ輻射スル物體ノ有効輻射恒數 C_{12} ハソノ固有輻射恒數 C_1 ト等シク、恰モ外部物體 II ガ完全黒體ナル場合ト結果ニ於テ等シ、

... 大ナル室内ニ置カレタル暖房管ノ如ク内部ノ物體即チ管表面積 F_1 ...

... 大ナル室内ニ置カレタル暖房管ノ如ク内部ノ物體即チ管表面積 F_1 ...

... 大ナル室内ニ置カレタル暖房管ノ如ク内部ノ物體即チ管表面積 F_1 ...

... 大ナル室内ニ置カレタル暖房管ノ如ク内部ノ物體即チ管表面積 F_1 ...

... 大ナル室内ニ置カレタル暖房管ノ如ク内部ノ物體即チ管表面積 F_1 ...

何トナレバ物體 II が完全黒體ナル時空間ノ大サニハ無關係ニ

$$C_2 = C_0 \quad A_2 = 1$$

トナリ從ツテ C_{12} ノ分母ノ第二項ハ零トナルヲ以テナリ、故ニ一般ニ外部ノ物體ノ吸收能 A_{12} ガ大ナレバ大ナル程又輻射體ニ比シ周圍ノ空間が大ナレバ大ナル程即チ $\frac{F_1}{F_2}$ ノ減少ニ伴ヒ C_{12} ノ分母ノ第二項ノ値ハ次第ニ減ジ、尙且 $\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}\right)$ ノ値モ亦一般ニ小トナル故、結局カカル場合ノ有効輻射恒數 C_{12} ハ簡單ニ内部物體 I ノ固有輻射恒數 C_1 ヲ採用シ得ル事トナリ、從ツテ内部物體 I ヨリソレヲ圍ム物體 II ノ傳熱量ハ簡單ニ次式ニテ與ヘラル、

$$Q_{12} = C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_1$$

[例] 外徑 25 糎ナル暖房用主蒸氣管ガ次ノ如キ大サノ暗渠、廊下、廣間内ニ設置サレタル場合ノ有効輻射恒數ヲ求ム、但シ管ニ對シテ $C_1 = 3.7$ 並ニ壁ニ對シテ $C_2 = 4.0$ トス、

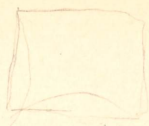
| | 暗渠 | 廊下 | 廣間 |
|--------|-----|-----|----|
| 幅 [m] | 0.5 | 1.0 | 10 |
| 高サ [m] | 0.5 | 2.5 | 4 |

各室ニ對スル有効輻射恒數ヲ比較スル爲ニ長サ 1m フトリ、而モ室前後端ノ面積ヲ考慮セザレバ



$\frac{F_1}{F_2}$ が小トナル程 } C_{12} ハ C_1 = 近ヅク
 外部 A_2 が大ナル程 }

(Faint handwritten notes and calculations on the right page, including some equations like $Q_{12} = C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_1$ and other mathematical expressions.)



$$F_1 = 0.25\pi = 0.786$$

$$\text{暗渠 } F_2 = 2 \times (0.5 + 0.5) = 2.0 \quad \therefore \frac{F_1}{F_2} = 0.393$$

$$\text{廊下 } F_2 = 2 \times (1.0 + 2.5) = 7.0 \quad \frac{F_1}{F_2} = 0.112$$

$$\text{廣間 } F_2 = 2 \times (10 + 4) = 28.0 \quad \frac{F_1}{F_2} = 0.028$$

尚

$$\left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_b}\right) = \left(\frac{1}{4.0} - \frac{1}{4.9}\right) = 0.25 - 0.204 = 0.046$$

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{3.7} = 0.27$$

故 =

$$\text{暗渠 } C_{12} = \frac{1}{0.27 + 0.393 \times 0.046} = \frac{1}{0.274} = 3.64$$

$$\text{廊下 } C_{12} = \frac{1}{0.27 + 0.112 \times 0.046} = \frac{1}{0.271} = 3.68$$

$$\text{廣間 } C_{12} = \frac{1}{0.27 + 0.028 \times 0.046} = \frac{1}{0.270} = 3.69$$

二〇。無限大ノ二表面ガ平行ニ置カレタル場合、

非常ニ大ナル平面表面ヲ有スル二物體ガ接近シテ平行ニ置カレタル場合ノ輻射ニ依ル傳熱量ハ

$$Q_{12} = \frac{A_2 E_1 - A_1 E_2}{A_1 + A_2 - A_1 A_2}$$

ナリ、今之ヲ前同様實用上便利ナル温度 T_1, T_2 並ニ輻射恒數 C_1, C_2 ノミノ項ニテ表サン、ソレニハ前ニ述ベシ二物體ヲ同心球ト考ヘソノ直径ガ無限大トナル極根ノ場合ト考フレバ、 $F_1 = F_2$ 従ツテ $\varphi = 1$ ト置キテ

| 暗渠 | 廊下 | 廣間 |
|-------|-------|-------|
| 0.393 | 0.112 | 0.028 |
| 3.64 | 3.68 | 3.69 |

求メ得ラル、即チ

$$Q_{12} = C_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F$$

茲ニ

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_b}} = C_1 \frac{1}{1 + \frac{A_1}{A_2} - A_1}$$

$$C_b = \frac{1}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} - 1}$$

異ル C_1, C_2 ノ値ニ對スル C_{12} ヲ求ムレバ次表ノ如キ數
值ガ得ラレ、ソノ結果ハ下圖ノ如シ、

| C_2 | C_1 | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 |
| 0.5 | 0.263 | 0.357 | 0.406 | 0.435 | 0.455 | 0.469 | 0.480 | 0.488 | 0.495 |
| 1.0 | 0.357 | 0.556 | 0.683 | 0.770 | 0.835 | 0.884 | 0.923 | 0.954 | 0.980 |
| 1.5 | 0.406 | 0.683 | 0.990 | 1.036 | 1.156 | 1.253 | 1.363 | 1.398 | 1.455 |
| 2.0 | 0.435 | 0.770 | 1.036 | 1.253 | 1.432 | 1.583 | 1.720 | 1.823 | 1.921 |
| 2.5 | 0.455 | 0.835 | 1.156 | 1.432 | 1.671 | 2.881 | 2.066 | 2.230 | 2.378 |
| 3.0 | 0.469 | 0.884 | 1.253 | 1.583 | 1.881 | 2.150 | 2.396 | 2.620 | 2.825 |
| 3.5 | 0.480 | 0.923 | 1.363 | 1.720 | 2.066 | 2.396 | 2.706 | 2.994 | 3.266 |
| 4.0 | 0.488 | 0.954 | 1.398 | 1.823 | 2.230 | 2.620 | 2.994 | 3.351 | 3.696 |
| 4.5 | 0.495 | 0.980 | 1.455 | 1.921 | 2.378 | 2.825 | 3.266 | 3.696 | 4.119 |

兩物體ガ共ニ完全黒體ナル時ハ $C_{12} = C_b = 4.95$ ナリ
一物體ノミガ完全黒體ナル時有効輻射恒數 C_{12} ハ完全
黒體ナラザル面ノ輻射恒數ト等シクナリ、一般ニ C_{12} ノ
値ハ兩物體ノ輻射恒數ノ内ソノ小ナルモノヨリモ尙
小トナル、

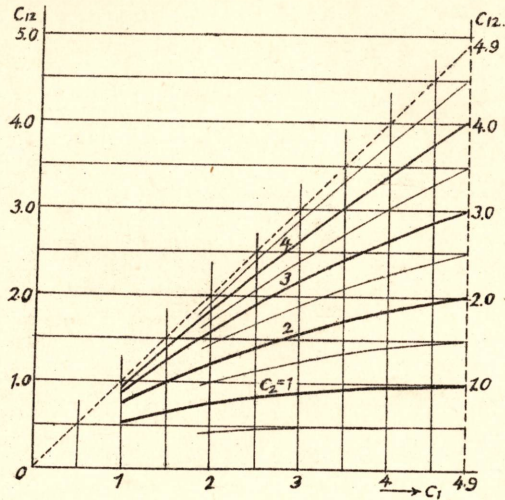
Handwritten notes and diagrams on the right page, including a diagram of two parallel plates and some calculations.

Diagram showing two parallel plates with radiation exchange. Labels include C_1, C_2, C_b and arrows indicating radiation flux.

Equation: $C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_b}}$

Text: 輻射恒數ノ内ニ小ナルモノヨリモ尙小トナル、

ヨリ
下
力
ス
レ
イ
ル
ス



[例] 「パネルヒーティング」鐵板壁 ($C_1 = 4.0$) トソレニ平行ナル紙張板壁 ($C_2 = 3.5$) ノ間ノ有効輻射恒數ヲ求ム、但シ無限大ノ平面ノ看做ス

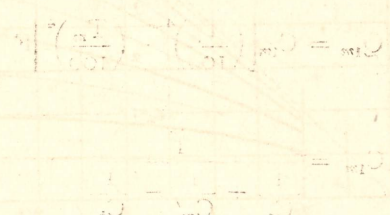
前式及表ヨリ

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{4.0} + \frac{1}{3.5} - \frac{1}{4.95}} = \frac{1}{0.25 + 0.286 - 0.202} = 2.99$$

二一、平行二表面ノ中間ニ防熱板ヲ設ケタル場合、

輻射ニ依ル二物體間ノ熱授受量ガソノ中間ニ輻射ヲ透過セザル所謂防熱壁ヲ設クル事ニ依リ著シク削減シ得ル事ハ日常屢々經驗スル所ニシテ、例ヘバ汽罐焚口扉ヲ二重ニシ、又ハ建築物ニ於テ防火戸ヲ設クル

... (faint text, likely bleed-through from the reverse side)



... (faint text, likely bleed-through from the reverse side)

... (faint text, likely bleed-through from the reverse side)

... (faint text, likely bleed-through from the reverse side)

ガ如キハ此ノ防熱効果ノ利用ニ外ナラズ、今此ノ中間防熱板ガ傳熱上如何ナル効果ヲ齎スカヲ知ル爲ニ問題ヲ簡單ニシ、二物體ノ表面ト平行ニ置カレタル防熱板ヲ考ヘソノ内部ニテハ溫度降下ナキ程ソノ厚サハ薄ク、且對流等ニ依ル影響ヲ受ケザルモノトセバ、表面 I ト防熱板トノ間ノ傳熱量ハ

$$Q_{1m} = C_{1m} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right] F \quad \text{--- ①}$$

茲ニ

$$C_{1m} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{m'}} - \frac{1}{C_b}}$$

$C_{m'}$ 防熱板ノ輻射恒數 (表面 I ニ面セル側)

T_m 防熱板ノ絶對溫度、

防熱板ト表面 II トノ間ノ傳熱量ハ同様ニシテ

$$Q_{m2} = C_{m2} \left[\left(\frac{T_m}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F \quad \text{--- ②}$$

茲ニ

$$C_{m2} = \frac{1}{\frac{1}{C_{m''}} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_b}}$$

$C_{m''}$ 防熱板ノ輻射恒數 (表面 II ニ面セル側)

定常状態ニ於テハ

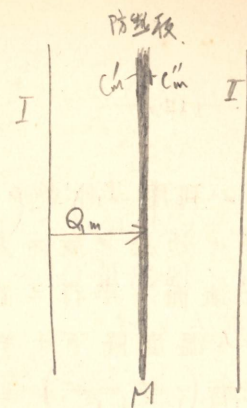
$$Q_{1m} = Q_{m2} = Q_{12}'$$

ナルヲ以テ

$$Q_{12}' = C_{1m} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right] F = C_{m2} \left[\left(\frac{T_m}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F$$

T_m ヲ消去セバ

$$\text{①} \times C_{m2} \text{ 十 } \text{②} \times C_{1m}$$



$$Q_m = C_m \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right] F$$

$$C_m = \frac{1}{\frac{1}{C} + \frac{1}{C_{m'}} - \frac{1}{C_b}}$$

$$Q_{m2} = C_{m2} \left[\left(\frac{T_m}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F$$

$$C_{m2} = \frac{1}{\frac{1}{C_{m''}} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_b}}$$

$$Q_{12}' = \frac{C_{1m} C_{m2}}{C_{1m} + C_{m2}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F$$

然ルニ防熱板ナキ場合ノ傳熱量 Q_{12} ハ前ニ與ヘラレタル故、兩熱量ノ割合ヲ求ムレバ

$$\frac{Q_{12}'}{Q_{12}} = \frac{1}{C_{12}} \left(\frac{C_{1m} C_{m2}}{C_{1m} + C_{m2}} \right)$$

トナル、尙防熱板ノ溫度ハ

$$T_m = 100 \left[\frac{1}{C_{1m} + C_{m2}} \left\{ C_{m2} \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 + C_{1m} \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right\} \right]^{\frac{1}{4}}$$

問題ヲ簡單ニシ、防熱板兩表面ノ輻射恒數ハ互ニ等シク、而モ表面 I 並ニ II ノ輻射恒數モ互ニ等シキ場合ヲ考フレバ

$$C_m' = C_m'' = C_m$$

$$C_1 = C_2 = C$$

$$C_{1m} = C_{m2} = C_{12}'$$

從ツテ

$$\frac{Q_{12}'}{Q_{12}} = \frac{1}{2} \left(\frac{C_{12}'}{C_{12}} \right) = \frac{1}{2} \frac{\frac{1}{C} + \frac{1}{C} - \frac{1}{C_b}}{\frac{1}{C} + \frac{1}{C_m} - \frac{1}{C_b}}$$

更ニ物體 I, II 並ニ防熱板ガ同一材料ニテ作ラレ、而モ表面狀態等シキ時ハ

$$C = C_m \quad C_{12}' = C_{12}$$

從ツテ

$$Q_{12}' = \frac{1}{2} Q_{12}$$

カカル場合傳熱量ハ防熱板ノ爲ニ半減スル事ヲ知ル、次ニ同一材料ノ防熱板ヲ二枚置キタル場合ヲ考ヘ、

Special case

$$C_m' = C_m'' = C_m$$

$$C_1 = C_2 = C$$

$$C_{1m} = C_{m2} = C_{12}'$$

$$\frac{Q_{12}'}{Q_{12}} = \frac{1}{C_{12}} \left[\frac{C_{12}'^2}{2 C_{12}'} \right] = \frac{1}{2} \frac{C_{12}'}{C_{12}}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\frac{1}{C} + \frac{1}{C} - \frac{1}{C_b}}{\frac{1}{C} + \frac{1}{C_m} - \frac{1}{C_b}} \quad Q_{12}' = \frac{1}{2} Q_{12}$$

ソノ防熱板ノ溫度ヲ T_{m1}, T_{m2} トセバ前ト同様ニ定常狀態ニ於テ

$$\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{m1}}{100}\right)^4 = \left(\frac{T_{m1}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{m2}}{100}\right)^4 = \left(\frac{T_{m2}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4$$

即チ

$$T_1^4 + T_{m2}^4 = 2T_{m1}^4 \quad T_{m1}^4 + T_2^4 = 2T_{m2}^4$$

$$\therefore T_{m1}^4 = \frac{1}{3}(2T_1^4 + T_2^4) \quad T_{m2}^4 = \frac{1}{3}(T_1^4 + 2T_2^4)$$

從ツテ

$$\begin{aligned} Q_{12}' &= C \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \frac{2}{3} \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \frac{1}{3} \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] \\ &= \frac{1}{3} C \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] = \frac{1}{3} Q_{12} \end{aligned}$$

一般ニ同一材質ノ防熱板ヲ n 枚設ケル場合ニハ

$$Q_{12}' = \frac{1}{n+1} Q_{12}$$

ナル關係ニ依リ傳熱量ハ減ジ得、

[例] 表面酸化セル溫度攝氏 300° 及 30° ナル二枚ノ鐵板 ($C_1 = C_2 = 4.3$) ヲ平行ニ置キタル時、次ノ如キ表面狀態等シキ一枚ノ防熱板ヲ設ケタル場合ト設ケザル場合トニ就キ輻射ニ依ル傳熱量並ニ防熱板ノ溫度ヲ求ム、

(i) 防熱板ヲ設ケザル場合、

有効輻射恒數ハ

$$C_{12} = \frac{1}{\frac{1}{4.3} + \frac{1}{4.3} - \frac{1}{4.9}} = \frac{1}{0.233 + 0.233 - 0.204} = 3.82$$

$$T_1 = 300 + 273 = 573, \quad T_2 = 30 + 273 = 303$$

$$\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 = \left(\frac{573}{100}\right)^4 = 1078, \quad \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 = \left(\frac{303}{100}\right)^4 = 84.3$$

故 = 傳熱量ハ

$$Q_{12} = 3.82(1078 - 84.0) = 3800 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$$

(ii) 防熱板ガ鐵板 ($C_m = 4.3$) ナル場合、

此ノ場合ニハ

$$C_1 = C_2 = C_m$$

$$\therefore Q_{12}' = \frac{1}{2} Q_{12} = \frac{3800}{2} = 1900 \text{ kcal/m}^2/\text{hr}$$

從ツテ防熱板ノ温度ハ、

$$T_m = 100 \times \left[\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{573}{100}\right)^4 + \left(\frac{303}{100}\right)^4 \right\} \right]^{\frac{1}{4}} = 490$$

$$\therefore t_m = 490 - 273 = 217^\circ\text{C}$$

(iii) 防熱板ガ銅板 ($C_m = 0.8$) ナル場合、

有効輻射恒數ハ

$$C_{12}' = \frac{1}{\frac{1}{4.3} + \frac{1}{0.8} - \frac{1}{4.9}} - \frac{1}{0.233 + 1.25 - 0.204} = 0.78$$

故 = 傳熱量ハ

$$Q_{12}' = \frac{1}{2} \left(\frac{C_{12}'}{C_{12}}\right) Q_{12} = \frac{1}{2} \frac{0.78}{3.81} \times 3800 = 388$$

又 $C_{1m} = C_{m2} = C_{12}'$ ナルヲ以テ防熱板ノ温度ハ

$$T_m = 100 \left[\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{573}{100}\right)^4 + \left(\frac{303}{100}\right)^4 \right\} \right]^{\frac{1}{4}} = 490$$

$$\therefore t_m = 490 - 273 = 217^\circ\text{C}$$

上ノ例ニ於テ (ii) ト (iii) トヲ比較スル時前者ニ於ケル傳熱量ハ防熱板ナキ場合ノ 50% トナルニ對シ後者ニ於テハ僅カ 10% ニ輕減シ得ルニ至ル如斯中間ニ設ク

防熱板ノ厚シキニ依リ輻射係數ハ大ニ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク
輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク
輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク
輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

學藝學識全ノ學藝學識全ニ依リ二二

原ノ觀點ニ依リ輻射係數ハ大ニ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

輻射係數ハ輻射係數ニ依リ變ジ得ル事ハ前記ノ如ク

ル防熱板ノ防熱効果ハソノ材質及特ニソノ表面状態ニ依リ著シク影響ヲ受クルガ故ニ高温度ニ於テ變質セズ、而モ輻射恒數ノ値小ナル塗料ヲソノ表面ニ塗布スル事ニ依リ、有効ニ防熱板効果ヲ高メ得ル事ヲ知ル、

二二、輻射ニ依ル熱傳達率ト全熱傳達率、

高温物體ノ表面ヨリ失ハルル熱量ハ周圍流體ガ氣體ナル場合輻射ノミナラズ傳導、對流ニ依リテモ起リソノ全放熱量ハ Newton ノ冷却則ヨリ

$$Q_T = a_T F (\theta - t)$$

茲ニ a_T ハ全熱傳達率ニシテ之ヲ傳導、對流ニヨル a ト輻射ノミニ依ル a_R トニ分チ

$$a_T = a + a_R$$

トス、而シテ物體表面ヨリノ輻射ニ依ル放熱量ハソレニ面接スル他ノ物體ノ存在ニ依リテ影響ヲ受ケ、ソノ量ハ

$$Q_R = \varphi C_{12} F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

茲ニ φ ハ面接セル物體ノ位置、大サ等ニ關スル常數ナリ、今輻射面並ニ受熱面ノ温度ヲ θ_1 並ニ θ_2 トセバ

$$\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 = c (T_1 - T_2) = c (\theta_1 - \theta_2)$$

ト書クヲ得、從ツテ Q_R ハ簡單ニ次ノ如クニ與ヘラル

$$Q_R = \varphi \cdot C_{12} \cdot F \cdot c (\theta_1 - \theta_2)$$

茲ニ

$$c = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{\theta_1 - \theta_2}$$

サレバ一般ニ温度 θ_1 ナル固体表面 F ヨリ温度 t ナル
 周圍流體ヘノ全傳熱量ハ

$$Q_T = a_T F (\theta_1 - t) = a F (\theta_1 - t) + \varphi C_{12} F c (\theta_1 - \theta_2)$$

故ニ全熱傳達率ハ

$$a_T = a + \varphi C_{12} c \left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 - t}\right) = a + a_R$$

此ノ中輻射ノミニ依ル熱傳達率ハ

$$a_R = \varphi C_{12} c \left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 - t}\right) \quad C; \text{温度ニ依リ}$$

之等ノ結果ヨリ輻射ノミニヨル熱傳達率 a_R ハ傳導、對流ニ依
 ル熱傳達率ト異リ周圍ニ存在スル被輻射體ヲ對稱ト
 シ、ソノ値ハ相互間ノ有効輻射恒數 C_{12} 及 φ ニヨルノ
 ミナラズ、温度係數 c 即チ單ニ温度差ニ依ラズ温度ノ
 高サニ依リテ著シク變化スル事ヲ知ル、

[例] 外氣温度攝氏 (20°) 周圍壁温度 50° ナル時ト輻射
 面温度ガ攝氏 100° 並ニ 500° ナル場合ノ輻射ニ依ル熱
 傳達率ヲ比較セヨ、但 φ 並ニ C_{12} ハ等シトス

$$c = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{\theta_1 - \theta_2} \text{ ナル關係ヨリ}$$

$$\theta_1 = 100^\circ\text{C} \quad \text{ノ時} \quad c = 1.70$$

$$\theta_1 = 500^\circ\text{C} \quad \text{ノ時} \quad c = 7.71$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{a_R(500)}{a_R(100)} &= \frac{7.71 \left(\frac{500 - 50}{500 - 20}\right)}{1.70 \left(\frac{100 - 50}{100 - 20}\right)} \\ &= \frac{7.22}{1.06} = 6.8 \end{aligned}$$

此結果ヨリ一般傳熱過程ニ於テ物件ノ温度高マルニ
ツレ輻射ノ影響ハ著シク増加シ、逆ニ低温度ニ於テハ
傳導、對流ニ比シテ閉却シ得ル程微弱トナル事實ヲ理
解シ得ルナリ、

I. 固体ノ特性値

λ = 熱傳導率 [Kcal/mh°C]

γ = 比重 [Kg/m³]

c = 比熱 [Kcal/Kg°C]

a. 金属材料

| | γ | λ | t°C | c |
|------------------|-----------|-----------|---------|-------------|
| アルミニウム (99%) | 2560—2750 | 173—176 | 6—100 | 0.21—0.228 |
| | — | 198—230 | 300—500 | 0.248—0.268 |
| アルミニウム合金 | | | | |
| 92Al+8Cu | — | 112—115 | 30—70 | — |
| 88Al+10Zn+2Cu | — | 126—130 | 30—70 | — |
| 鉛 (純) | 11290 | 29.5—27.6 | 0—100 | 0.031 |
| 鋼 (0.1%C以下) | 7850 | 47—29 | 100—900 | 0.12 |
| (0.9%C ") | 7780 | 36—25 | 100—900 | — |
| (1.5%C ") | 7680—7750 | 32—25 | 100—900 | — |
| 鑄鐵 | 6850—7280 | 42—53.6 | 30 | — |
| 鍊鐵 | 7800 | 48.2—38 | 0—400 | 0.12—0.14 |
| | — | 38.0—28.2 | 400—900 | — |
| クローム鋼(900°Cヨリ放冷) | | | | |
| 0%Cr | — | 36 | 30 | — |
| 0.5—5% " | — | 35.6—26.3 | " | — |
| 10—20% " | — | 18.7—15.5 | " | — |
| " (900°Cヨリ急冷) | | | | |
| 0%Cr | — | 35.3 | 30 | — |
| 0.5—5% " | — | 32—15.8 | " | — |
| 13% " | — | 11.9 | " | — |
| ニッケル鋼 | | | | |
| 0%Ni | — | 36 | 30 | — |
| 5—10% " | — | 25—22 | " | — |
| 20—40% " | — | 14—9 | " | — |
| 60—95% " | — | 14—29 | " | — |

| | γ | λ | t°C | c |
|------------------------------------------------------|--------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| 金 | 19300 | 268—266 | 0—200 | 0.041 |
| 銅 (純) | 8840 | 326—332 | 0—200 | 0.091 |
| 銅 (不純) | — | 45—122 | 20 | — |
| 銅合金 ブロンズ (85.7 Cu+7.15 Zn +6.39 Sn+0.58 Ni) | 8560—8900 | 51—61 | 18—100 | 0.091—0.094 |
| 銅ニッケル, コンスタンタン (60 Cu+40 Ni) | — | 19.4—23 | — | 0.098—0.102 |
| 真鍮 | 8400—8700 | 79—90 | 20—100 | 0.092 |
| マグネシウム | 1740 | 135 | 0—100 | 0.248 |
| ニッケル (96.8%) | 8800 8350 | 47.5—47.0 42.5—51.0 | 0—200 400—900 | 0.108 0.148—0.161 |
| 白金 (純) | 21400 | 60.2 | 0—200 | 0.032 |
| 銀 (99.9%) | 10470 | 360±5% | (-160) -(+100) | 0.057 |
| 水銀 | 13595 (0°C) | 8.9—13.8 | 0—150 | 0.033 |
| 亜鉛 (純) | 7100—7190 | 100 97—88 | -170 0—300 | — 0.095 |
| 錫 (純) | 7280—7330 | 70 57.0—28.8 | -170 0—300 | 0.056 — |

b. 土木, 建築材料

| | γ | λ | t°C | c |
|--------------|----------|------------------------|---------------|-----------|
| アスファルト (道路用) | 2120 | 0.52—0.56 0.60—0.64 | 0—10 20—30 | 0.22 — |
| バサルト | 2700 | 1.1—2.4 | 0—100 | 0.205 |

| | γ | λ | t°C | c |
|------------------|-----------|-----------|-------|-------|
| 生土 (粘土質, 14% 湿度) | 2020 | 2.0 | 0 | — |
| " (乾燥) | 1340—1900 | 0.45 | 20 | 0.20 |
| 陶土 | 1775 | 0.80 | 25 | — |
| 砂 (細粒, 乾燥) | 1520 | 0.26—0.28 | 0—20 | 0.22 |
| " (6.9% 湿度) | 1640 | 0.97 | — | — |
| 砂利 | 1850 | 0.29—0.32 | 0—20 | — |
| 混凝土 | 2270 | 1.10 | 20 | 0.211 |
| " (完全乾燥) | 2180 | 0.65 | 20 | 0.27 |
| 鐵筋混凝土 | — | 1.3 | 0—20 | — |
| セメント | 820—1950 | 0.78 | — | 0.27 |
| 煉瓦 (手仕上, 乾燥) | 1568 | 0.34 | 25 | 0.177 |
| " (機械仕上, ") | 1620 | 0.42 | 50 | 0.22 |
| 煉瓦壁 (古, 乾燥) | 1850 | 0.35—0.38 | 20—47 | — |
| " (新, 濕) | 1961 | 1.2 | 10 | — |
| " (同, 4½月後) | 1763 | 0.84 | 10 | — |
| 花崗岩 | 2500—3050 | 2.7—3.5 | — | 0.203 |
| 大理石 | 2700 | 1.1—2.9 | — | 0.21 |
| 片岩 (層=⊥) | 2650—2700 | 0.3—1.7 | — | — |
| " (層=//) | 2650—2700 | 2.0—2.9 | — | — |
| 砂岩 (濕) | 2260 | 1.44 | 20 | — |
| " (乾燥) | 2250 | 1.11 | 50 | 0.174 |
| 石膏板 | 1250 | 0.37 | 20 | 0.20 |
| リノリウム | 1183 | 0.16 | 20 | — |
| 厚紙 (硬質) | 625 | 0.22 | 20 | — |

c. 木材, 硝子, 其他雜

| | γ | λ | t°C | c |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|--------|-------|
| 懈 (空氣乾燥) // | 819—825 | 0.31—0.37 | 20—50 | 0.57 |
| " " ⊥ | 819—825 | 0.17—0.18 | 0—15 | 0.57 |
| " (生材) // | 600—610 | 0.34 | 40—70 | — |
| " ⊥ | 600—610 | 0.127 | 32 | — |
| 松 // | 551 | 0.30—0.32 | 20—25 | — |
| " ⊥ | 546 | 0.12—0.14 | 0—30 | — |
| リグナムバイテ | 1160 | 0.216—0.259 | 20—100 | — |
| マホガニー | 550 | 0.184—0.216 | 20—100 | — |
| チーク (乾燥) // | 604—642 | 0.32—0.34 | 12—50 | — |
| " ⊥ | | 0.14—0.17 | 0—50 | — |
| クラウン硝子 | 2450—2720 | 0.587 | 10—15 | 0.17 |
| プリント硝子 | 3150—3900 | 0.515 | 10—15 | 0.117 |
| エナ硝子 (71 SiO ₂ +14B ₂ O ₃ +10 Na ₂ O+5Al ₂ O ₃) | — | 0.817 | 22 | — |
| (79 PbO+21 SiO ₂) | — | 0.389 | 28 | — |
| 板硝子 | 2490—2600 | 0.642—0.725 | 20—100 | — |
| 陶器 | 2240—2500 | 0.893 | 95 | 0.25 |
| 護謨 (硬質) | 1190 | 0.133—0.137 | 0—50 | 0.339 |
| (軟質) | 1100 | 0.151 | 30 | — |
| グラフアイト | 1900—2300 | 4.2 | — | 0.20 |
| 木炭 | 184—241 | 0.045—0.07 | 15—80 | — |
| 石炭 | 1200—1500 | 0.12—0.15 | 20—100 | 0.31 |
| 微粉炭 | 730 | 0.1073 | 30—150 | 0.31 |
| 粉狀コークス | 1000 | 0.130 | 20 | 0.294 |
| 罐石 | 2030—2500 | 0.2—2.0 | 300 | — |
| 皮 | 1000 | 0.137 | 30 | 0.357 |
| パラフィン | 920 | 0.230 | 23 | — |
| セルロイド | 1400 | 0.180 | 30 | 0.312 |
| 氷 | 880—920 | 1.9 | | 0.5 |
| 雪 | 50 | 0.0061 | | — |
| " | 100 | 0.0216 | | — |
| " | 450 | 0.493 | | — |
| " | 900 | 1.97 | | — |

d. 一般保温材料

| | γ | λ | t°C | c |
|---------------------------|----------|-------------|---------|-------------|
| アスベスト (軟填充) | 567 | 0.13—0.18 | 0—100 | — |
| " (") | — | 0.186—0.204 | 200—500 | — |
| " (硬填充) | 702 | 0.207—0.213 | 50—100 | — |
| アスベスト85%マグネシア (高壓蒸汽管用) | 297—357 | 0.068—0.073 | 70 | 0.20 |
| アスベスト板 | 930 | 0.10—0.14 | 40 | — |
| コルク板 | 200 | 0.045—0.05 | 0—50 | — |
| 綿 | 81 | 0.048—0.059 | 0—100 | — |
| 絹 | 100 | 0.043—0.048 | 0—50 | — |
| 羊毛 | 105—40 | 0.030—0.036 | 30 | — |
| 羊毛布 | 330 | 0.045 | 30 | — |
| 馬毛 (壓縮) | 172 | 0.015 | 0—20 | — |
| 羽毛 | 79 | 0.021 | 80 | — |
| " | 109 | 0.017 | 80 | — |
| 硝子毛 | 200 | 0.030—0.045 | 0—100 | 0.20 |
| " | 200 | 0.062—0.09 | 200—300 | — |
| 輕石 (乾燥) | 300 | 0.08—0.20 | 20 | — |
| 鎔鑛爐鑛滓 (海綿狀) | 300—400 | 0.09—0.12 | 0—20 | 0.169 |
| 汽罐燃滓 | 700—750 | 0.12—0.14 | 0—20 | — |
| 珪藻土 | 448—840 | 0.062—0.146 | 50 | 0.21—0.25 |
| " | 448—840 | 0.069—0.151 | 200 | — |
| " 一煉瓦 | 200 | 0.071—0.120 | 50—400 | 0.199—0.201 |
| " | 410 | 0.090—0.122 | 50—300 | — |
| " | 732 | 0.113—0.137 | 50—300 | — |
| 鋸屑 (空氣乾燥) | 190—215 | 0.050—0.060 | 0—20 | — |
| 鉋屑 (") | 95—140 | 0.050—0.055 | 0—20 | — |
| 藁纖維 | 140 | 0.039—0.043 | 0—20 | — |

e. 低温度ニ對スル保温材料

| | γ | c | λ | | | | |
|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | -200 | -150 | -100 | -50 | 0°C |
| アスベスト (軟填充) | 470 | 0.195 | 0.072 | 0.102 | 0.117 | 0.127 | 0.132 |
| " (硬 ") | 702 | — | 0.134 | 0.181 | 0.189 | 0.195 | 0.201 |
| 綿 | 81 | 0.319 | 0.028 | 0.033 | 0.038 | 0.043 | 0.048 |
| 絹 | 100 | 0.330 | 0.020 | 0.027 | 0.032 | 0.038 | 0.043 |

f. 高温耐火材料

| | γ | c | γ[±20%] | | |
|--------|-----------|-------------|---------|------|--------|
| | | | 200 | 600 | 1000°C |
| シリカ | 1510—2100 | 0.246—0.277 | 0.56 | 0.88 | 1.19 |
| ダイナス | 約 1800 | — | 0.74 | 0.93 | 1.13 |
| シヤモツト | 1650—2200 | — | 0.51 | 0.66 | 0.82 |
| マグネサイト | 2150—2800 | — | 1.15 | 1.29 | 1.43 |
| 煉瓦土 | 1400—2000 | 0.22 | 0.47 | 0.83 | 1.11 |

II. 流體ノ特性値

a. 水ニ對スル特性値

μ = 粘度 [kgs/m²]

[μ_m]₀^t = 温度 0°—t° 間ノ平均粘度 [kgs/m²]

例. 10°C ノ粘度 : μ = 0.0001322 [kgs/m²]

| t°C | γ | c | λ* | μ·10 ⁶ | [μ _m] ₀ ^t ·10 ⁶ |
|-----|-------|--------|--------|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| 0 | 999.9 | 1.0075 | 0.4769 | 182.9 | 182.9 |
| 10 | 999.7 | 1.0018 | 0.491 | 132.2 | 159.3 |
| 20 | 998.2 | 0.9985 | 0.5055 | 101.3 | 136.2 |
| 30 | 995.7 | 0.9970 | 0.520 | 80.8 | 120.5 |
| 40 | 992.2 | 0.9973 | 0.534 | 67.1 | 108.7 |
| 50 | 988.1 | 0.9983 | 0.549 | 56.6 | 99.3 |
| 60 | 983.0 | 0.9996 | 0.563 | 48.1 | 91.4 |
| 80 | 972.0 | 1.0036 | 0.592 | 35.9 | 78.8 |
| 100 | 958.0 | 1.0086 | 0.620 | 28.3 | 69.4 |
| 120 | 943.0 | 1.0157 | 0.649 | 23 | — |
| 140 | 926.0 | 1.0245 | 0.677 | 19.5 | — |
| 160 | 908.0 | 1.0347 | 0.706 | 17.5 | — |
| 180 | 887.0 | 1.0468 | 0.735 | 16 | — |
| 200 | 862.0 | 1.0605 | 0.764 | 15 | — |

* λ = 0.4769 (1 + 0.002984 t) [kcal/m h°C]

b. 水以外ノ液體ニ對スル特性値

| 液 體 | γ | λ | t°C | c |
|--------------------------|--------------|-------------|-------|------------|
| アルコール | 806—772 | 0.166—0.144 | 0—40 | 0.55—0.65 |
| ベンジン | 680—700(15°) | 0.112—0.109 | 30—75 | 0.419 (0°) |
| ベンゾール | 879 (20°) | 0.102 | 20 | 0.43 |
| グリセリン (無水) | 1260 (0°) | 0.25 | 10—25 | 0.58 |
| " (50% H ₂ O) | 1130 | 0.36 | — | 0.81 |
| オリーブ油 | 911 | 0.15 | 10 | 0.40 |
| パラフィン油 | — | 0.125 | 17 | — |
| ペトロリウム | 800 (15°) | 0.13 | 15 | 0.50 |
| シリンダー油 | 920 (20°) | 0.105 | 81 | 0.40 |
| タール (木材) | 1200 | 0.12 | 80 | — |
| 水 銀 | 13558 | 5.4—7.1 | — | — |

水以外ノ液體ノ粘度 ($\mu \cdot 10^6$ [kg^s/m²])

| 液體 | 0 | 50 | 100 | 200°C |
|----------|--------|-----|-----|-------|
| アルコール | 180 | 72 | 30 | — |
| ベンゾール | 87 | 44 | 26 | 11 |
| グリセリン | 520000 | — | — | — |
| ターペンティン油 | 230 | 65 | 56 | — |
| 水銀 | 172 | 146 | 122 | 102 |

c. 空氣ニ對スル特性値

熱傳導率 λ [kcal/mh°C] 並ニ比熱 c [kcal/kg°C]

| t°C | γ | c | t°C | λ | c |
|-----|----------|-------|------|-----------|-------|
| 0 | 0.0203 | 0.240 | 500 | 0.0460 | 0.255 |
| 20 | 0.0216 | 0.241 | 600 | 0.0503 | 0.260 |
| 40 | 0.0228 | 0.241 | 700 | 0.0544 | 0.263 |
| 60 | 0.0240 | 0.242 | 800 | 0.0586 | 0.266 |
| 80 | 0.0252 | 0.242 | 900 | — | 0.269 |
| 100 | 0.0263 | 0.243 | 1000 | — | 0.272 |
| 150 | 0.0293 | 0.245 | 1500 | — | 0.288 |
| 200 | 0.0318 | 0.246 | 2000 | — | 0.303 |
| 300 | 0.0368 | 0.249 | 2500 | — | 0.315 |
| 400 | 0.0418 | 0.252 | 3000 | — | 0.334 |

$$\lambda = 0.00167 \frac{(1 + 0.000194T) \cdot \sqrt{T}}{1 + \frac{117}{T}} \quad [\text{kcal/mh}^\circ\text{C}]$$

$$c = 0.240 + 0.00031 \cdot t \quad [\text{kcal/kg}^\circ\text{C}]$$

空氣ノ比重 γ [kg/m³]

| 壓力 kg/cm ² | 0° | 20° | 40° | 60° | 80° | 100° | 200° | 300° | 400° | 500°C |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 0.1 | 0.125 | 0.117 | 0.109 | 0.103 | 0.097 | 0.092 | — | — | — | — |
| 0.5 | 0.627 | 0.584 | 0.547 | 0.513 | 0.485 | 0.459 | — | — | — | — |
| 1 | 1.25 | 1.17 | 1.09 | 1.03 | 0.97 | 0.92 | 0.72 | 0.60 | 0.51 | 0.44 |
| 2 | 2.51 | 2.33 | 2.19 | 2.05 | 1.94 | 1.84 | 1.45 | 1.32 | 1.02 | 0.88 |
| 3 | 3.76 | 3.63 | 3.28 | 3.03 | 2.91 | 2.75 | 2.17 | 1.79 | 1.52 | 1.33 |
| 4 | 5.01 | 4.67 | 4.37 | 4.11 | 3.83 | 3.67 | 2.89 | 2.38 | 2.03 | 1.77 |
| 5 | 6.27 | 5.84 | 5.46 | 5.14 | 4.85 | 4.59 | 3.61 | 2.99 | 2.54 | 2.21 |
| 6 | 7.52 | 7.01 | 6.56 | 6.16 | 5.81 | 5.50 | — | — | — | — |
| 7 | 8.77 | 8.17 | 7.65 | 7.19 | 6.78 | 6.42 | — | — | — | — |
| 8 | 10.02 | 9.35 | 8.75 | 8.22 | 7.76 | 7.34 | — | — | — | — |
| 9 | 11.27 | 10.51 | 9.84 | 9.26 | 8.73 | 8.26 | — | — | — | — |
| 10 | 12.53 | 11.68 | 10.98 | 10.27 | 9.70 | 9.18 | — | — | — | — |
| 11 | 13.8 | 12.8 | 12.0 | 11.3 | 10.7 | 10.1 | — | — | — | — |
| 12 | 15.0 | 14.0 | 13.1 | 12.3 | 11.6 | 11.0 | — | — | — | — |
| 13 | 16.3 | 15.2 | 14.2 | 13.4 | 12.6 | 11.9 | — | — | — | — |
| 14 | 17.5 | 16.3 | 15.3 | 14.4 | 13.6 | 12.8 | — | — | — | — |
| 15 | 18.8 | 17.5 | 16.4 | 15.4 | 14.5 | 13.8 | — | — | — | — |
| 16 | 20.0 | 18.7 | 17.5 | 16.4 | 15.5 | 14.7 | — | — | — | — |

d. 一般氣體ノ特性値

1. 蒸氣ノ熱傳導率 λ [kcal/mh°C]

| t°C | λ^* | t°C | λ | t°C | λ |
|-----|-------------|-----|-----------|-----|-----------|
| 100 | 0.0201 | 130 | 0.0246 | 260 | 0.0292 |
| 120 | 0.0212 | 200 | 0.0258 | 280 | 0.0303 |
| 140 | 0.0223 | 220 | 0.0269 | 300 | 0.0315 |
| 160 | 0.0235 | 240 | 0.0281 | 350 | 0.0344 |

* 蒸氣: $\lambda = 0.00578 \frac{c_v \sqrt{T}}{1 + \frac{327}{T}} \quad [\text{kcal/mh}^\circ\text{C}]$

2. 一般瓦斯ノ熱傳導率 λ [kcal/mh°C]

| | λ | | | | | | | | |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | -252° | -183° | -78° | ±0°C | +100° | +200° | +300° | +400° | +500°C |
| 空氣 | — | 0.0072 | 0.0153 | 0.0203 | 0.0263 | 0.0318 | 0.0368 | 0.0418 | 0.0460 |
| 酸素 | — | 0.0070 | 0.0154 | 0.0205 | 0.0268 | | | | |
| 窒素 | — | 0.0073 | 0.0155 | 0.0204 | 0.0258 | | | | |
| 一酸化炭素 | — | 0.0066 | — | 0.0195 | — | | | | |
| 炭酸瓦斯 | — | — | 0.0079 | 0.0121 | 0.0179 | | | | |
| 水素 | 0.0116 | 0.0533 | 0.1105 | 0.145 | 0.184 | | | | |
| 蒸汽 | — | — | — | — | 0.0201 | 0.0258 | 0.0315 | | |

III. 輻射恒數

C = 輻射恒數 [kcal/m²hK⁴]

C_b = 完全黑體輻射恒數 = 4.95 [kcal/m²hK⁴]

$$\epsilon = \frac{C}{C_b} \times 100 = \text{完全黑體輻射恒數ニ對スル比} \%$$

a. 酸化セザル金屬

| 金屬 | 表面狀態 | C | ϵ | 測定溫度 | |
|--------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 鉛 | 研 磨 面 | 0.28—0.37 | 5.7—7.5 | 130—230 | |
| 鋅 | 鐵 | 研 磨 面 | 1.42 | 28.7 | — |
| | | 液 狀 | 4.5 | 90.8 | 1270—1350 |
| 鍊 | 鐵 | 平 研 面 | 3.7 | 74.7 | — |
| | | 滑 磨 面 | 1.3—1.7 | 26.2—34.4 | 40—250 |
| 鐵 板 | 鋼 板 | 粗 磨 面 | 1.2 | 24.2 | 20 |
| | | 壓 延 肌 面 | 3.3 | 66.6 | 21 |
| 金 | 研 磨 面 | ガルバニック沈澱 | 2.35 | 47.5 | — |
| | | 研 磨 面 | 0.17 | 3.4 | 630 |
| 銅 | 壓 延 粗 磨 面 | 粗 磨 面 | 3.1—3.6 | 62.6—72.7 | — |
| | | 粗 磨 面 | 0.6—0.8 | 12.1—16.2 | 50—280 |
| | | 粗 磨 面 | 0.19—0.25 | 0.8—5.1 | 19 |
| アルミニウム | 不 粗 磨 面 | 磨 磨 面 | 0.35 | 7.1 | 26 |
| | | 磨 磨 面 | 0.26 | 5.3 | 23 |
| | | 磨 磨 面 | 0.19—0.28 | 3.8—5.7 | 230—580 |
| 眞 鍍 | 粗 粗 磨 面 | 磨 磨 面 | 1.0 | 20.2 | 50—350 |
| | | 磨 磨 面 | 0.34 | 6.87 | 22.3 |
| | | 磨 磨 面 | 0.25—0.15 | 5.0—3.0 | 20—300 |
| 白金 | 研 磨 面 | 0.27—0.52 | 5.5—10.5 | 230—630 | |
| 水銀 | | 0.9 | 18.2 | — | |
| 銀 | 研 磨 面 | 0.10—0.16 | 2.0—3.2 | 230—630 | |
| 亞鉛 | | 1.0 | 20.2 | — | |
| 錫 | | 0.6 | 12.1 | — | |
| ニッケル | 研 磨 面 | 0.35—0.40 | 7.1—8.1 | 230—380 | |

| 金 屬 | 表 面 状 態 | C | ε | 測定温度 |
|----------------|-----------------------|-----------|-----------|---------|
| 鍍金鐵板 ニッケル鍍金 | 研 磨 面 粗 面 | 0.27—0.30 | 5.5—6.1 | 22 |
| | | 0.54—0.56 | 10.9—11.3 | 20 |
| 錫 鍍金 亞鉛鍍金 | 研 磨 面 粗 面 灰 色 面 | 0.28—0.43 | 5.7—8.7 | 22—28 |
| | | 0.22—0.26 | 4.5—5.3 | 230—330 |
| | | 1.04 | 21.0 | 55—287 |
| | | 1.37 | 27.7 | 24 |

b. 酸 化 金 屬

| 金 屬 | 表 面 状 態 | C | ε | 測定温度 |
|-------------------|-------------------------------|-----------|-----------|----------|
| 鉛 | 灰 色 酸 化 | 1.39 | 28.1 | 24 |
| 鑄 鐵 | 酸 化 著 シ 粗 面 放 シ 面 | 4.6—4.8 | 93.0—97.0 | 40—250 |
| | | 3.98—4.06 | 80.4—82.0 | 23 |
| 鍊 鐵 鐵 板 鋼 板 | 酸 化 粗 面 赤 錆 面 厚 キ 酸 化 層 | 4.5—4.8 | 90.8—97.0 | 20—360 |
| | | 3.4 | 68.7 | 20 |
| | | 4.06 | 82.0 | 24 |
| 銅 | 黑 色 面 酸 化 面 | 3.86 | 78.0 | 25 |
| | | 2.8—3.6 | 56.6—72.7 | 600 |
| ニッケル | 酸 化 面 灰 色 面 | 2.0—3.7 | 40.4—74.7 | 330—1330 |
| | | 1.30 | 26.3— | 21 |

c. 金 屬 面 塗 布 層

| エメラルラック 噴撒セル、ラック アルミニウム・ラック | 純白、厚(赤鐵板面) 輝黑、薄(") " (鐵板面) | 4.50 4.35 1.98—1.85 | 90.8 87.9 40.0—37.4 | 25 25 — |
|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| エナメル | 白 (鐵板面) | 4.45 | 89.9 | 24 |
| 紙 | 薄 (鐵板面) " (黑ラック塗鐵板面) | 4.58 | 92.5 | 20 |
| | | 4.68 | 94.5 | 19 |
| 油 | 研磨鐵板上ノ油層ノ厚サ | 0 mm | 5.9 | 19 |
| | | 0.05 " | 44.4 | 19 |
| | | 0.1 " | 64.6 | 19 |
| | | 0.2 " | 80.0 | 19 |
| | | ∞ " | 82.0 | 19 |
| | | | 0.29 | 5.9 |

d. 建築材料並ニ雜

| 材 料 | 表 面 状 態 | C | ε | 測定温度 |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------|
| アスベスト板 | 粗 面 | 4.76 | 96.2 | 23 |
| 玄武岩板 雲 丹 花崗岩 大理石 | 平 滑 面 淡 灰、研 磨 面 溶 解 粗 面 厚 サ 1/2mm 赤 色、平 滑 面 | 3.42 | 69.0 | 60—200 |
| | | 3.7 | 74.7 | — |
| | | 2.1 | 42.4 | 60—200 |
| | | 2.7 | 54.5 | 60—200 |
| | | 4.62 | 93.5 | 22 |
| 石 英 石膏 砂 岩 | | 4.61 | 93.1 | 22 |
| | | 4.48 | 90.5 | 20 |
| | | 2.9 | 58.6 | 60—200 |
| 土 壤 粘 土 漆 喰 ドロマイト・カルク | 白、粗 面 | 3.1 | 62.6 | — |
| | | 1.85 | 37.4 | — |
| | | 4.5 | 91.0 | 40—250 |
| | | 2.0 | 40.4 | 60—200 |
| 煉 瓦 シヤモット シリケート | 粗 " 面 粗 " 面 | 4.61 | 93.0 | 22 |
| | | 3.7 | 74.8 | 1000 |
| | | 4.0—4.2 | 80.8—84.9 | 1000—1100 |
| 織物、綿等 | | 3.86—4.0 | 8.0—80.8 | — |
| 陶 器 | 釉 藥 | 4.58 | 92.5 | 22 |
| 護 謨 (軟 質) (硬 質) | 灰 色 粗 面 平 滑 黑 面 | 4.26 | 86.0 | 25 |
| | | 4.69 | 95.0 | — |
| 櫛 | 飽 仕 上 | 4.44 | 89.8 | — |
| 石 炭 黑 煤 | 滑 面 0.9% 灰分 | 3.9 | 78.8 | 630 |
| | | 4.6 | 92.8 | — |
| 建築紙 紙 | | 3.42 3.96 | 69.0 80.0 | 21 — |
| 硝 子 | 平 滑 面 | 4.4—4.65 | 89.0—94.0 | 22 |
| 氷 | | 3.1 | 62.6 | — |
| 水 | | 3.2 | 64.7 | 60 |

機 關 長 主 管

| | | 備 考 |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>器具主管別表</p> | <p>○空壓機 唧筒 ○水壓唧筒機 ○水壓送回 (炮塔送回水) (外=アルミ) 發電機 主配電盤 (若以管制盤) 電動機</p> | <p>會計法規下卷 兵器經理規程 P 118 別表甲一</p> |
| <p>甲一種消 耗品目表</p> | <p>電動送風機 電動發電機 直流電機 二次電器 (動力) =主管=踏車運電話 伝音管站 電機 機關科=專原也通信裝置 機關科諸要員 送管電鐘及電路 (一方機關用) 電燈 電路 電氣加熱器 炭庫電氣寒暖計 上述附原器具及試驗器具</p> | <p>九年度達号参照</p> |
| <p>甲一種消 耗品目表</p> | <p>問座及衛帶類 復水管 注油器用硝子 硝子 電球、覆硝子類 滴瓶 硝子管 試驗管類 調葺類 二次電池基板隔離用不製品類 各種補用線 電機器具及電路並二次電器修理及保存=要也消耗器具</p> | <p>別表甲=乙 消耗兵器各端 相互流用ニト ヲ得</p> |
| <p>甲一種消 耗品目表</p> | <p>○石油發動機用燒玉 ○同用口金 ○同用霧吹口金</p> | <p>別表甲四号 1. 本表/貸去期間ハ一年ヲ入 2. 各種職技(職員用)講習 研究 實驗等施行ノ際又ハ 臨時 特別任務中必要期間ヲ限 隨時貸去スニテ得</p> |
| <p>甲一種消 耗品目表</p> | <p>寒暖計 比重計 (大、小) 注液瓶 硝子瓶 硝子板 (二次電器用) 工不工作製品 電池用漏斗 (大、小) スボ付一〇不吸入 護護製手桶 三号外筐 三、四型 硫酸注射器 (硝子製) 護護手袋 三号外筐 二次電池用護護管各種 乾電池 帆布製覆 電球受金各種 應急電線各種</p> | <p>別表甲乙号</p> |

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 船隻各件 | 機房科諸室周圍/防熱裝置. 機房科專用信管 機房科專用通風裝置. 機房科專用天窗通風筒及 昇降口. ○水庫存貯裝置(岸外). ○ <u>ice tank</u> | 諸例卷三 p. 357 |
| 其他 | ○ <u>蒸氣煉房</u> 是. 機房科專用通路. 機房科特殊車庫 機房科匠士居住浴室. 機房科浴室. 機械室 | |
| 主管地方 | ○ <u>補助機械室</u> . 指進軸路. ○ <u>長室</u> . ○ <u>補助室</u> . ○ <u>昇車機室</u> | |
| 樁 = 1架 2~ | ○ <u>配電所</u> . ○ <u>電動機化機室</u> . ○ <u>揚錨機室</u> . ○ <u>揚進機室</u> ○ <u>脫取機室</u> . (脫取機室 7 除) ○ <u>水壓機室</u> . ○ <u>砲塔外 = 7~</u> | |
| 規定 | ○ <u>脫回機室</u> . ○ <u>空氣壓縮機室</u> . ○ <u>通風機室</u> ○ <u>製冰機室</u> . ○ <u>冷卻機室</u> . ○ <u>蒸溜器室</u> . ○ <u>蒸化器室</u> ○ <u>補印復水器室</u> . ○ <u>諸噴筒機室</u> . ○ <u>乾燥室</u> | |
| | 主管電線及諸管通路. 電氣工場. ○ <u>二次電池室</u> . | |
| | ○ <u>石炭庫</u> . ○ <u>水庫</u> . ○ <u>重油庫</u> . ○ <u>油庫</u> (船外) (即構成心) | |
| | ○ <u>給水</u> (船外). ○ <u>預備水</u> (船外). ○ <u>真水</u> (船外). ○ <u>消防管</u> . 機房科 | |
| | 諸倉庫. 藥庫及格級所. 機械室. 浴室及補助機械室. | |
| | F = 倉庫. 機部艇. 機房室及燃料庫. 針子使用 | |
| | 2~ 信聲管及空氣信送管. 其他主務工使用 2~ 主管 | |
| | 機房. 機房附屬物及備置. 職室及指針等. 格級心 包所. | |
| 船隻裝備 | ○ <u>砲塔</u> 砲回部以外. 水壓管及同用排出管. ○ <u>空氣壓縮噴筒</u> | |
| | ○ <u>大砲噴氣裝置</u> . 蒸氣蓄器 = 2~ 導氣管. ○ <u>空氣壓縮噴筒</u> | |
| | ○ <u>裝氣柱</u> 及. 縱舵機調整用氣蓄器 = 2~ 導氣管 | |
| 水壓管. | × <u>研電機</u> 電路. × <u>主電路</u> . × <u>船飾</u> 電路. × <u>重油船</u> 諸電路. | 諸例例 卷三 p. 361 |
| | × <u>暖房及防霜</u> 電路. × <u>兼用</u> 電氣房. 機房科 = 專屬 裝置. | |
| 導氣管及各 | × <u>電部機</u> 及. 電燈. 通信器用電路. × <u>其他</u> . 他主管其管 | |
| 電路主管別 | = 專屬 7~ 電路. | |
| 此 | | |

第四十三期生徒

山本壯吉

| | |
|----------|---------|
| 整理号 | |
| 寄贈者名 | 山本壯吉 |
| 贈日 寄年 | 43.5.25 |
| 連号 一巻 | 4115 |