

第四章

瓦斯及蒸發氣ノ流動

一七、彈性流體ノ流動 (Flow of elastic fluids),

流動トハ連續的ニ一方ニ進ム流體ノ總テノ運動ヲ意味シ其ノ内非彈性流體即チ液體ノ流動ニ關シテハ水力學ニ於テ學ブベク茲ニハ彈性流體即チ「ガス」及蒸發氣ニ就テ論ゼントス、而シテ彈性流體ノ流動ニ關スル實際ノ例トシテハ、(1) 燃料「ガス」、壓搾空氣、蒸氣等ノ移送管内ノ流動、(2) 扇車内ノ空氣或ハ「タービン」動翼内ノ蒸氣等ガ運動スル溝内ノ流動、(3) 噴孔 Orifice 或ハ「ノズル」 Nozzle 等ニ於ケル膨脹、流動等ニシテ之等ノ分析的研究ニ當リ其ノ基礎的關係式ヲ簡單ニ求ムル爲次ノ如キ假定ヲ行フ、

(1) 流體ノ各部分ハ總テ流レノ方向ニ流動線運動ヲナスモノトス、
Stream line motion

(2) 彈性流體ナルガ故ニ常ニ通路ヲ完全ニ充タシ連續流レノ式ニ從フモノトス、
Equation of continuity

即チ $Fw = Gv$ (4.1)

- 茲ニ F 通路ノ斷面積、 $(cm^2) \text{ or } (in^2)$
- w 斷面下ニ於ケル流體ノ平均速度、 $(\frac{cm}{sec}) \text{ or } (\frac{in}{sec})$
- G 單位時間ノ流量、 kg/sec
- v 斷面下ニ於ケル流體ノ比容、 $(\frac{cm^3}{kg}) \text{ or } (\frac{in^3}{lb})$

大ニニ面積ノ急増ハ... (3)
大ニニ面積ノ急増ハ... (3)
大ニニ面積ノ急増ハ... (3)

大ニニ面積ノ急増ハ...

大ニニ面積ノ急増ハ... (3)
大ニニ面積ノ急増ハ... (3)
大ニニ面積ノ急増ハ... (3)

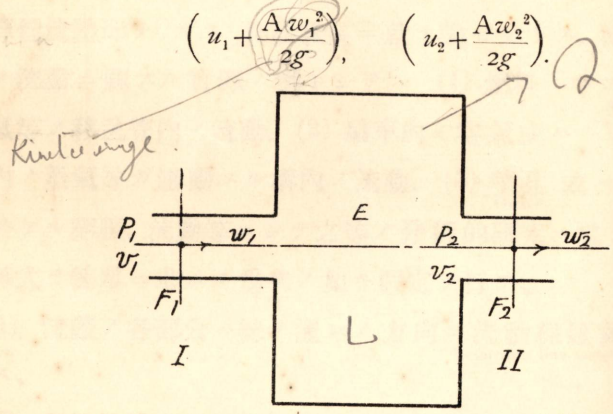
$Fw = Gv$

大ニニ面積ノ急増ハ... (3)
大ニニ面積ノ急増ハ... (3)
大ニニ面積ノ急増ハ... (3)

(3) 流體ノ状態ヲ決定スル ρ, v, T 並ニ w ハ任意ノ断面ニ於テ一定トス、換言スレバ是等ノ變數ハ時間的ニハ無關係ニシテ只断面ノ位置ノミニ依リ決定セラルルモノトス、

一八、彈性流體ノ一般「エネルギー」式、

今第 17 圖ノ如キ機關ヲ考ヘ I 及 II ヲ入口及出口ニ於ケル二断面トシ此ノ部ニ於ケル壓力、比容、速度及内部「エネルギー」ヲ夫々 ρ_1, v_1, w_1 , 及 u_1 並ニ ρ_2, v_2, w_2 及 u_2 トシ斷面積ヲ F_1 及 F_2 トスレバ I 及 II ニ於ケル流體ノ「エネルギー」ハ内部「エネルギー」ト運動ノ「エネルギー」トノ和トナル、即チ



第 17 圖

今断面 I 及 II ノ間ニ於テ起リ得ル「エネルギー」ノ總テノ變化ヲ考フルニ

- L 機關ニテナサル仕事、
- Q 輻射、傳熱等ニ依ル外部ヘノ放熱量、

トスレバ

Handwritten notes on the right page include:

- $v = \sqrt{2gh}$
- $h = \frac{v^2}{2g}$
- $m = \frac{1}{g}$
- Diagram of a vertical column of height h with a downward arrow labeled g .

断面 I = 於テ單位量ノ流體ヲ注入スル爲ニナサル仕事ハ $p_1 v_1$ ニシテ同様ニ断面 II = 於テ流體ヲ送出スル爲ニ流體ノナス仕事ハ $p_2 v_2$ トナルガ故ニ二断面間ニ於テ $(p_2 v_2 - p_1 v_1)$ ナル「エネルギー」ノ消費アリ、今若シ位置ノ差ニ依ル重力ニ逆フ「エネルギー」ヲ閉却スレバ第一法則ヨリ

$$\left(u_1 + \frac{A w_1^2}{2g}\right) - \left(u_2 + \frac{A w_2^2}{2g}\right) = AL + Q + A(p_2 v_2 - p_1 v_1)$$

即チ $(u_1 + A p_1 v_1) - (u_2 + A p_2 v_2) = AL + Q + A \left[\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right]$ (4.2)

然ルニ $i = u + A p v$ ナルガ故ニ

$$i_1 - i_2 = AL + Q + A \left[\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right] \dots \dots \dots (4.3)$$

即チ含熱量 i ノ減少ハ有效仕事ト外部ヘノ放熱量ト運動「エネルギー」ノ増加トノ和トナル、

若シ斷熱流動ニシテ而モ流動中仕事ヲナサザル場合ハ

$AL = 0, \quad Q = 0$

$$\therefore i_1 - i_2 = A \left[\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right] \dots \dots \dots (4.4)$$

之斷熱流動ニ對スル重要ナル基本式ナリ、

若シ流入速度ガ流出速度ニ比シ無視シ得ル程度ノ微速ナラバ

$w_1 = 0$ ナル故流出速度ハ只含熱量ノ差ヲ以テ與ヘラル、

即チ $w_2 = \sqrt{2g(i_1 - i_2)}$ $j = \frac{1}{A} \cdot 9.87$

又ハ $w_2 = 91.5 \sqrt{i_1 - i_2}$ m/sec. (4.5)

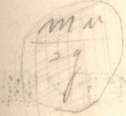
但シ i ノ單位ハ kcal./kg. トス、

又斷熱流動ニシテ而モ流入流出ノ速度ノ「エネルギー」ノ差ガ $(i_1 - i_2)$ ニ比シテ閉却シ得ル程度ノ微量ナラバ式 (4.3) ニ於テ

4.27 (2.8)

練習問題

- (1) 某機全ノ時 H.P. = 80000 S.H.P. = 67 W.P. 14.5 kg/cm² 圧ノ使用圧力 20 kg/cm² (gauge) 効率 98.5% 又 1 送流速度ヲ求メヨ ($\rho_w = 980$) 但シ管径 35 cm / 3 支氣管 4 本ヲ turbine = 吸入 2.5 m/sec (gauge)
- (2) 某機 高圧 turbine 並流管 (chest pressure) 16 kg/cm² 圧ノ 98.5% 効率 第一級管径 10 (1 at pressure) 5 kg/cm² 圧ノ 1 級管 (72 cm / 本) 之ヲ理論上 並流管 2 本ヲ求メヨ



$g = 9.8 \text{ dy-cm}$

$g = 80 \text{ m/sec} \cdot \frac{1}{100} \text{ m}$

$= 9.8 \text{ dy cm}$

$g = 9.8$

並流管 $91.5 \sqrt{h}$ m/sec

$w_1 = w_2, Q = 0$ ナル故

$\therefore AL = i_1 - i_2 \dots\dots\dots (4.6)$

即チ流動中爲シ得ル仕事ハ唯含熱量ノ差ニ依リ與ヘラルルコトヲ知り此ノ含熱量ノ減少 ($i_1 - i_2$) ヲ熱降下 (Heat drop) ト稱シ熱機關研究上重要ナル量トナル、

一九、摩擦ナキ流動ノ壓力降下及熱降下ノ圖示、

流路ニ於ケル壓力ハ一般ニ異ル斷面ニ於テ變化シ尙流レノ方向

ニ遞減スルヲ普通トス、渦流及

摩擦ヲ伴ハザルトキ第 18 圖ニ

於テ極メテ接近セル二斷面ヲ考

ヘ其ノ層ノ質量ヲ m 、流レノ方

向ニ働ク壓力ヲ p 、流レニ逆ヒ

テ働ク壓力ヲ $p + dp$ 及斷面積

ヲ F トスレバ流レノ方向ニ働ク力ハ $pF - (p + dp)F = -Fdp$ ト

ナル、今二斷面間ニ於ケル速度ノ増加ヲ dw トスレバ加速度ハ

$\frac{dw}{dt}$ トナリ力ハ $m \frac{dw}{dt}$ トナル、

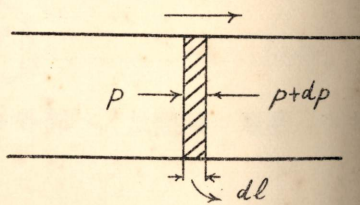
故ニ $-Fdp = m \frac{dw}{dt}$

流體ノ密度ヲ γ トシ二斷面間ノ間隔ヲ dl トスレバ

$m = \frac{\gamma F dl}{g} \quad \frac{dl}{dt} = w$

ソレ故流レノ方向ニ働ク力ハ

$-Fdp = \frac{\gamma F dl}{g} \cdot \frac{dw}{dt}$
 $= \frac{\gamma F dl w}{g} \frac{dw}{dt} = \frac{\gamma F w}{g} dw$



第 18 圖

$$= \gamma F \frac{w dw}{g}$$

$$\therefore -dp = \gamma \frac{w dw}{g} \dots \dots \dots (4.7)$$

即速度増加セバ壓力ノ降下ヲ伴ヒ逆ニ速度ノ減少ニ依リ壓力ノ上昇スルコトヲ知ル、即チ斷面積小ナル部分ヲ流體ガ通過スル時ハ其ノ速度増スヲ以テ壓力ハ降下シ又大ナル斷面積ヲ通過スル時ハ其ノ反對ニ壓力上昇ス、

$$\text{又 } \gamma = \frac{1}{v} \quad w dw = d\left(\frac{w^2}{2}\right)$$

ナルヲ以テ

$$\therefore -v dp = \frac{1}{g} w dw = d\left(\frac{w^2}{2g}\right) \dots \dots \dots (4.8)$$

之摩擦ヲ伴ハザル流動ニ對スル重要ナル基本式トナリ且此ノ場合斷熱ナルヲ要セズ、

今初壓 p_1 終壓 p_2 ナル二斷面間ノ變化ヲ積分スレバ運動「エネルギー」ノ増加ハ

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp \dots \dots \dots (4.8)'$$

$$\text{從テ (4.4) 式 } i_1 - i_2 = -A \int_{p_1}^{p_2} v dp \quad \text{断面流動} \dots \dots \dots (4.9)$$

若シ $w_1 = 0$ ト見做シ得ル場合ハ

$$\frac{w_2^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp \dots \dots \dots (4.9)'$$

今第 19 圖ニ於テ曲線 AB ガ斷面 F_1 ニ於ケル壓力 p_1 ヨリ斷面 F_2 ニ於ケル壓力 p_2 迄壓力降下ヲナス間ノ流體ノ狀態線トセバ曲線ト軸トノ面積ハ

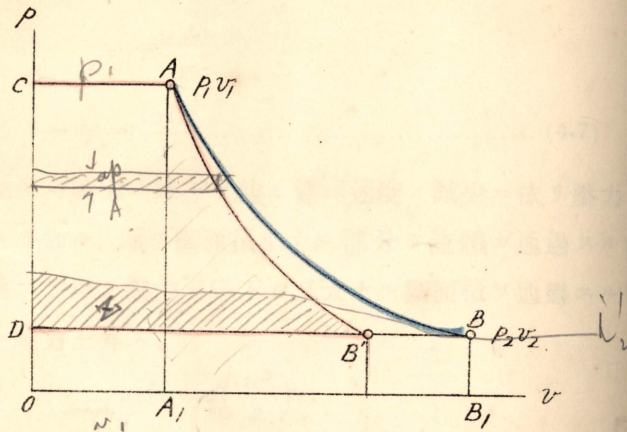
$$Li = \int_{p_2}^{p_1} v dp = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = \text{面積 ABDC トナリ、}$$

$$-v dp = \frac{1}{g} w dw = d\left(\frac{w^2}{2g}\right)$$

$$i_1 - i_2 = A \left[\frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} \right]$$

$$Lw' = \int_{p_1}^{p_2} -v dp = ABDC$$

$$= \frac{w_1^2}{2g}$$



第 19 圖

(4.9)' 式ノ右邊ハ明ニ面積 ABDC ニシテ即摩擦ナキ場合單位量ノ流體ノ運動「エネルギー」ノ増加ヲ表ハシ此ノ量ヲ壓力降下ト稱ス、又此ノ Li ヲ kcal ニテ表ハセバ ALi ハ熱降下トナル、從テ $\frac{w_1^2}{2g}$ = 面積 ABDC = Li トナリ $w = \sqrt{2gLi}$ ナル式ヲ得之レ水力學ニ於ケル噴流ノ式 ($v = \sqrt{2gH}$) = 類似セルモノナリ、

若シ流動ガ斷熱變化ナラバ狀態式ハ一般ニ

$$pv^k = \text{恒數} \dots\dots\dots (4.10)$$

- ・ 茲ニ $k = 1.40$ (二原子「ガス」)
- $= 1.035 + 0.1x$ (濕潤蒸氣、但シ x ハ最初乾度)
- $= 1.30$ (過熱蒸氣)

此ノ式ニ從フ狀態變化ハ 第 19 圖ニ於テ AB' 曲線ニテ表ハサレ其ノ仕事面積 AB' DC ガ面積 ABDC ヨリ小ナル時ハ曲線 AB ハ膨脹中受熱セルコトヲ表ハス、(4.10) 式ノ關係

$$pv^k = p_1 v_1^k = p_2 v_2^k = C$$

ヲ (4.8)' 式ニ代入スレバ

$$pv^k = p_1 v_1^k = p_2 v_2^k = C$$

$$pv^k = C$$

$$v = \left(\frac{C}{p}\right)^{\frac{1}{k}}$$

夫レ $\frac{1}{k} (v_1 - v_2)$ トリ 式 (4.9) ノ 2 邊 ス

斷熱流動ノ仕事降下 (= 仕事)

$$= 0C A A_1 + A_1 A B B_1 - 0 B D D_1$$

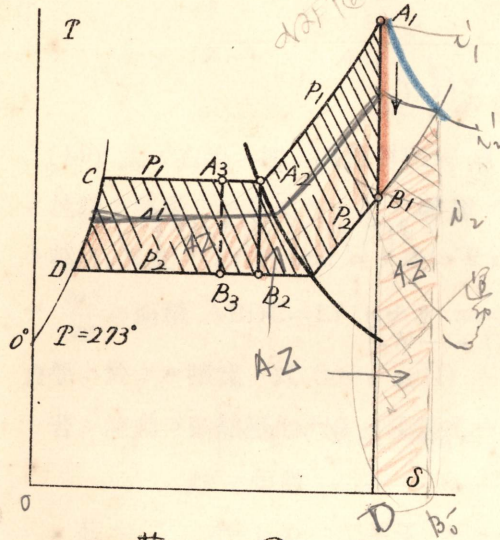
$$= p_1 v_1 - p_2 v_2 + Lw' \text{ (斷熱流動ノ仕事)}$$

$$\frac{1}{A} (w_1 - w_2)$$

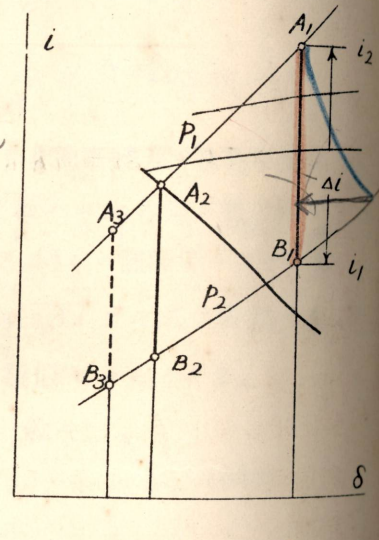
$$\left(\frac{1}{A} (v_1 - v_2)\right) = \text{斷熱流動ノ仕事}$$

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = \int_{p_2}^{p_1} v dp = \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) \dots \dots (4.11)$$

トナリ、含熱量ノ變化ニ依リテ爲サルル仕事ヲ表ハス、尙之等ノ關係ハ T-s 線圖及 i-s 線圖ニ依リ更ニ明瞭ニ圖示セラルルコト第 20 圖及第 21 圖ノ如シ、即チ摩擦ナキ斷熱變化ハ A₁B₁, A₂B₂, A₃B₃ ノ如ク T 軸又ハ i 軸ニ平行ニシテ熱降下ハ面積又ハ單ニ直線ノ長サニ依リテ表ハサレ之等ハ又 A $\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}$ = 等シ、



第 20 圖



第 21 圖

二〇、摩擦ニヨリテ爲サルル仕事ト

運動「エネルギー」ノ損失、

實際ニ於テハ流體ガ通路ヲ流ルルトキ必ず多少ノ損失ヲ伴フモノニシテ其ノ大部分ハ流體ト通路壁面トノ摩擦ナルモ尙混亂流 (Turbulent flow) ヲナストキニハ更ニ流體ノ内部摩擦ヲ生ズ、之等ノ場合ハ勿論摩擦ナキ場合ニ比シ流出速度ヲ減ジ從テ運動ノ「エネルギー」ノ減

$$U_i = \text{area } DC A_2 A_1 D \quad A_1 - A_2 = \Delta i$$

$$A_i = \text{area } DB_1 D$$

$$U_i = \int_{p_1}^{p_2} -v dp = \text{area } ABC$$

3.

少トナル、

今斷熱流動ニ對シ其ノ影響ヲ比較スル爲同一初狀態 p_1, v_1, w_1, i_1 ヨリ同一終壓力 p_2 迄變化スルトキ

摩擦ナキ場合 v_2, w_2, i_2 ナルニ對シ

摩擦ヲ伴フ場合 v_2', w_2', i_2' ヲ終狀態トスレバ式(4.4)ヨリ

摩擦ナキ場合、 $i_1 - i_1' = A \left(\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right)$

$$\frac{w_2^2}{2g} = \frac{w_1^2}{2g} + \frac{1}{A} (i_1 - i_2) \dots\dots\dots (4.12)$$

摩擦ヲ伴フ場合、

$$\frac{w_2'^2}{2g} = \frac{w_1^2}{2g} + \frac{1}{A} (i_1 - i_2') \dots\dots\dots (4.13)$$

從テ流體單位量ノ運動ノ「エネルギー」ノ損失ヲ Z トスレバ

$$Z = \frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_2'^2}{2g} = \frac{1}{A} (i_2' - i_2)$$

又ハ $AZ = i_2' - i_2 \dots\dots\dots (4.14)$

即チ「エネルギー」ノ損失 (AZ) ハ單位量ノ流體ヲ等壓ノ儘摩擦ナキ斷熱變化ノ終狀態ヨリ實際ノ終狀態ニナサシムルニ要スル熱量ト等シ、例ヘバ蒸氣ノ場合第 23 圖ニ於テ面積 $B_0B_1B_1'B_0'$ ヲ以テ圖示セラル、更ニ B_1' ヨリ等 i_2' 線ヲ描キ A_1 ヨリノ斷熱線トノ交點ヲ E_1 トスレバ運動ノ「エネルギー」ノ損失ハ又面積 DFE_1B_1 ニテ表ハサル、

即チ $AZ = (DFE_1B_1) = (B_0B_1B_1'B_0')$

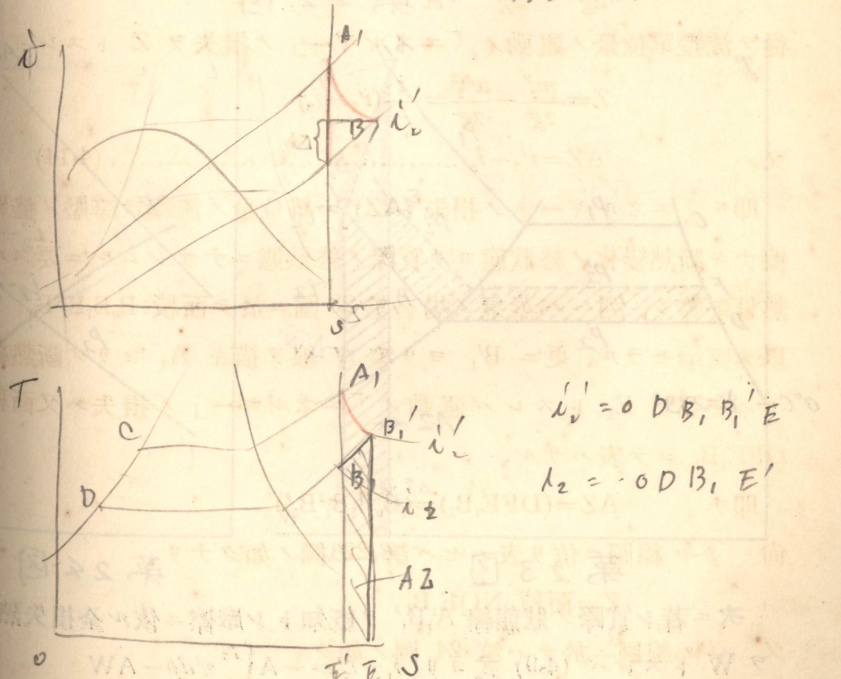
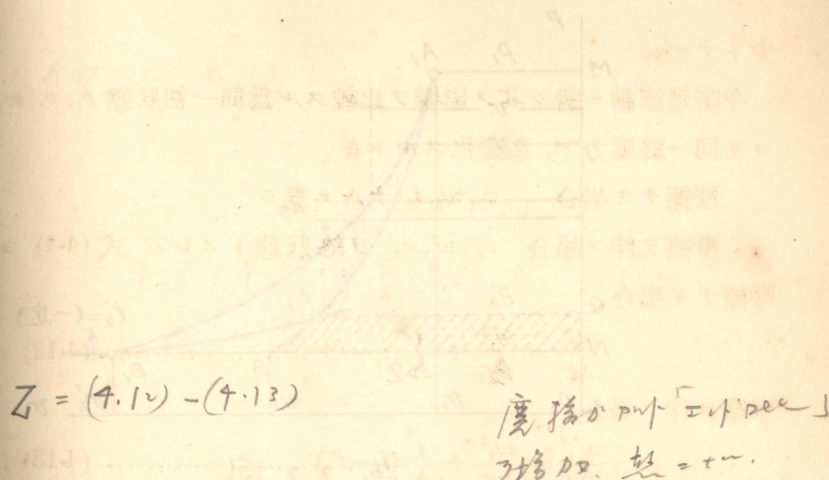
尙 $p-v$ 線圖ニ依リ表ハセバ第 22 圖ノ如クナリ、

$$Z = \text{面積 } NQE_1B_1$$

又 $i-s$ 線圖ニ於テハ第 24 圖ノ如ク

$$AZ = i_2' - i_2 = E_1B_1$$

トシテ表ハサル、



摩擦ナキ場合 $AW=0$

$$\therefore 0 = i_2 - i_1 - A \int_{p_1}^{p_2} v dp. \text{ 但シ } v \text{ ハ壓力 } p_2 \text{ = 於ケル}$$

斷熱變化ニ對スル體積トス、

兩式ヨリ i_1 ヲ消去スレバ

$$AW = i'_2 - i_2 + A \int_{p_2}^{p_1} (v' - v) dp. \\ = AZ + A \int_{p_2}^{p_1} (v' - v) dp \dots\dots\dots (4.15)$$

此ノ式ニ於テ $\int_{p_2}^{p_1} (v' - v) dp$ ハ第 22 圖ニ於テ面積 $A_1B_1'B_1$ ニテ表ハサレ又夫ニ相當スル熱量ハ第 23 圖ニ於テ面積 $A_1B_1'B_1$ トナリ面積 $B_0A_1B_1'B_0'$ ハ摩擦ニ依ル全損失 AW ヲ表ハス、此ノ摩擦ニ依ル全損失 AW ハ運動ノ「エネルギー」ノ損失 Z トハ等シカラズ即チ摩擦損失ハ常ニ直ニ熱ニ換ヘラレソノ熱ノ一部ハ状態變化中有效ニ利用サレ得ルガ故ニ Z ハ W ヲリ面積 $A_1B_1'B_1$ ダケ少シ、夫故若シ逆ニ摩擦損失ヲ知ラバ摩擦ニ打勝ツ爲ニナサルル仕事ハ熱 $H=AW$ ニ換ヘラレ從テ其ノ爲ニ増加スル「エントロピ」ハ

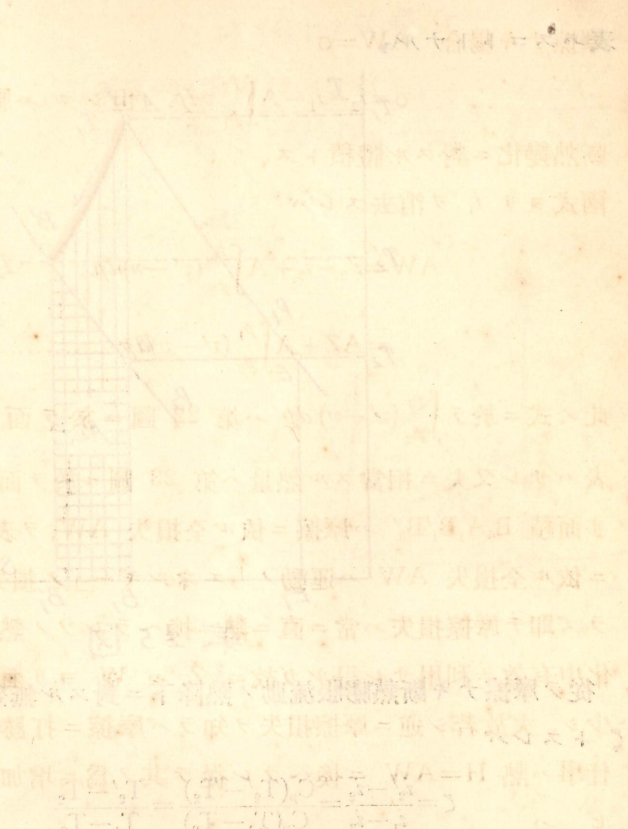
$$\Delta s = \int_1^{2'} \frac{dH}{T} = A \int_1^{2'} \frac{dw}{T}.$$

故ニ此ノ式ヨリ第 23 圖ニ於ケル状態線 A_1B_1' ヲ求メ得、

完全「ガス」ニ對シテモ同様ニシテ摩擦ヲ伴フ斷熱膨脹線ハ第 25 圖ニ於テ AB' トナリ摩擦損失 AW ハ面積 $B_1AB'B_1'$ 運動「エネルギー」又ハ有效仕事ノ減少ハ

$$AZ = i'_2 - i_2 = C_p(T'_2 - T_2) = \text{面積 } B_1BB'B_1'$$

トナリ面積 $AB'B$ ハ全摩擦損失ノ内有效ニ利用サレ得ル熱量ヲ

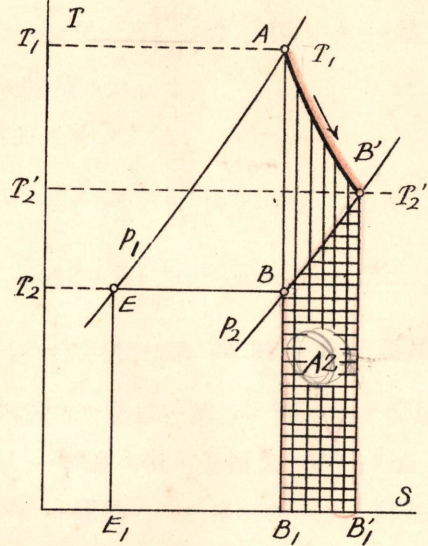


完全ガ

変化中比較的多イ

Additional faint text and diagrams at the bottom of the right page, including some mathematical expressions and a small sketch.

表ハスコトトナル、



第 25 圖

從テ摩擦ナキ斷熱膨脹流動ノ熱降下ニ對スル無效損失ノ割合ヲ
ζ トスレバ

$$\zeta = \frac{i_2' - i_2}{i_1 - i_2} = \frac{C_p(T_2' - T_2)}{C_p(T_1 - T_2)} = \frac{T_2' - T_2}{T_1 - T_2}$$

但シ $i_1 - i_2 = \int_{T_2}^{T_1} C_p dT = C_p(T_1 - T_2)$ ナリ、

二一、移送管内ニ於ケル摩擦ニ依ル壓力降下、

實驗ノ結果ニ依レバ流速ガ連續流レノ式ノ適用限度ナル限界速
度以上ナルトキニハ摩擦力ハ流體ノ密度並ニ接觸面積ニ比例シ且
速度ノ n 乗ニ比例ス、今摩擦力ヲ S トスレバ

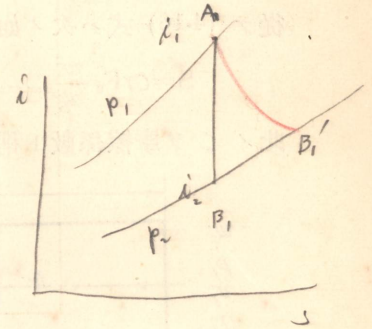
實驗式: $S = \varphi \gamma F_0 v^n \dots\dots\dots (4.16)$

「 φ 」ノ速度係數 $\varphi = \frac{\text{實際ノ出口速度 } w'}{\text{理論ノ出口速度 } w}$

「 φ 」ノ流量係數 $\varphi = \frac{\text{實際流量 } Q'}{\text{理論ノ流量 } Q}$

「 φ 」ノ効率 = $\frac{\text{實際ノ有用ノ仕事}}{\text{理論ノ有用ノ仕事}} = \frac{w_1 - w_2'}{w_1 - w_2}$
 $= \frac{\frac{w_1^2}{2g} - \frac{w_2'^2}{2g}}{\frac{w_1^2}{2g} - \frac{w_2^2}{2g}} = \frac{w_1^2 - w_2'^2}{w_1^2 - w_2^2}$

いゝいゝ測る



運動 energyノ損失

茲 = φ = 接觸表面ノ性質, 形狀, 大サ = 依ル係數,

γ = 流體ノ密度,

F_0 = 流體ガ接觸スル面積,

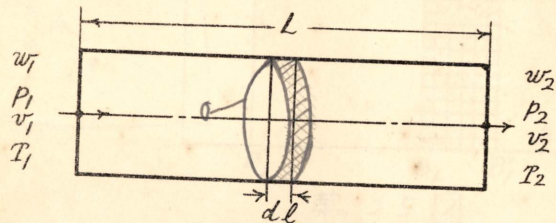
w = 平均速度,

n = 近似的 = 2 ト看做サル

從テ (4.16) 式ハ次ノ如ク書キ換フルコトヲ得

$$S = \zeta \gamma F_0 \frac{w^2}{2g} \dots \dots \dots (4.16')$$

此ノ ζ ヲ摩擦係數ト稱ス、



第 26 圖

第 26 圖ノ如ク液體ノ薄キ層 dl ヲ考フルトキ

O = 流體 = 接觸スル横斷面ノ周邊ノ長サ

トスレバ $dF_0 = Odl$

從ツテ式 (4.16)' = 代入シテ

$$ds = \zeta \gamma Odl \frac{w^2}{2g}$$

摩擦力 = 打勝ツ爲ニナサルル仕事ハ

$$dsdl = \zeta \gamma \frac{w^2}{2g} Odl dl$$

故 = 此ノ dl ナル層 = 對スル仕事ハ式 (4.7) ヨリ

$$-Fdpdl = \gamma Fdl \frac{wdw}{g} + \zeta \gamma \frac{w^2}{2g} Odl dl$$

兩邊ヲ γFdl ニテ割レバ

(一) ママナリノ流體ノ基本式

(二) 摩擦ヲ伴フ流動ノ基本式

$$S = \zeta \gamma F_0 \frac{w^2}{2g} = \zeta \gamma F_0 \frac{w^2}{2g}$$

(4.16)

(dynamic mean depth)

スレバ

式ヲ用テ

p. 50

$$-Fdp = \gamma F \frac{wdw}{g}$$

$$-Fdp dl = \gamma F dl \frac{wdw}{g}$$

$$\int -F dp = \gamma F \int \frac{wdw}{g} + \zeta \gamma \frac{w^2}{2g} Odl dl$$

(4.14)

式ヲ用テ

式ヲ用テ

式ヲ用テ

式ヲ用テ

式ヲ用テ

式ヲ用テ

式ヲ用テ

(4.14)

$$\therefore \frac{dp}{\gamma} + \frac{wdw}{g} + \zeta \frac{w^2}{2g} \frac{O}{F} dl = 0,$$

$$\text{又ハ } \boxed{vdp + \frac{wdw}{g} + \frac{\zeta}{m} \frac{w^2}{2g} dl = 0} \dots\dots\dots (4.17)$$

茲ニ $m = \frac{F}{O}$ 流體平均深サ (Hydraulic mean depth)

$$v = \frac{I}{\gamma}.$$

(4.17) 式ハ摩擦ヲ伴フ流動ノ基本式ニシテ長サ dl ノ間ニ於テ
單位量ノ流體ニ對スル摩擦損失ハ $dW_r = \frac{\zeta w^2}{m 2g} dl$ ナリ、

斷面ガ圓ナル管ニ對シ其ノ直徑ヲ d トスレバ

$$m = \frac{\frac{1}{4}\pi d^2}{\pi d} = \frac{d}{4}$$

故ニ式 (4.17) ハ

$$vdp + \frac{wdw}{g} + \frac{4\zeta}{d} \frac{w^2}{2g} dl = 0 \dots\dots\dots (4.18)$$

今 $\zeta_r = 4\zeta$ ト置キ之ヲ圓管ノ摩擦係數トセバ式 (4.18) ハ又

$$\boxed{vdp + \frac{wdw}{g} + \frac{\zeta_r dl}{d} \frac{w^2}{2g} = 0} \dots\dots\dots (4.19)$$

之直徑 d ナル管内ニ於ケル摩擦ヲ伴フ流レノ一般基本式ナリ、

今管長 L ノ間直徑一定トシ管ハ水平ニ置カルルモノトシ又壓力降下ガ初壓力 p_1 ニ比シテ僅カナルトキ v, w ノ變化モ少キ故

式 (4.19) ニ於テ $dw = 0$ ト看做セバ

$$-vdp = \zeta_r \frac{dl}{d} \frac{w^2}{2g}$$

$$p_1 - p_2 = \dots$$

近似的ニ w, v ヲ一定トシテ積分スレバ

$$\boxed{p_1 - p_2 = \zeta_r \frac{L}{vd} \frac{w^2}{2g}} \dots\dots\dots (4.20)$$

$$-v \int_{p_1}^{p_2} dp = \frac{\zeta_r w^2}{d 2g} \int_0^L dl$$

$$-v [p]_{p_1}^{p_2} = \frac{\zeta_r w^2}{d 2g} [l]_0^L$$

$$\therefore \Delta p = p_1 - p_2 = \zeta_r \frac{L}{vd} \frac{w^2}{2g}$$

尚連續流レノ條件ヨリ

$$w = \frac{G}{F} v = \frac{Gv}{\pi d^2} = \frac{Gv}{0.785 d^2}$$

$Fw = Gv$

$$\frac{I}{v} = \frac{G}{0.785 d^2 w}$$

之等ヲ式 (4.20) ニ代入スレバ

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{I}{2g(0.785)^2} \zeta_r \frac{G^2}{d^5} vL$$

$$= 0.0828 \zeta_r \frac{G^2}{d^5} vL \dots\dots\dots (4.21)$$

又ハ

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{I}{2g(0.785)} \zeta_r \frac{G}{d^3} wL$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 0.065 \zeta_r \frac{G}{d^3} wL \dots\dots\dots (4.22)$$

kg/m^2

而シテ摩擦係數 ζ_r ハ實用的計算ニ於テハ蒸氣ノ場合近似値トシテ

$$\zeta_r = 0.02$$

ヲ採用セラレ式 (4.21) (4.22) ハ普通近似的ニ蒸氣管内ノ壓力降下及 G, d, w, v, L ノ間ノ關係ヲ表ス式トシテ一般ニ用キラル、

以上ハ移送管内ノ斷熱流動ノ場合直管ニ就キ論ジタルモ特殊ノ場合トシテ蒸氣管内ノ弁嘴彎曲部等ヲ流過スル場合ヲ考フルニ其ノ部ニ於ケル抵抗ハ其ノ部分ノ狀態及形狀ニ大ナル關係ヲ有スルモノニシテ實驗ノ結果之等ノ部分ニ於ケル壓力降下ハ渦流抵抗ニ關係アルモノト考ヘラレ速度ノ二乗ニ比例シテ増加シ之ヲ kg/cm^2 ニテ表ハセバ

$$\Delta p = \frac{I}{10,000} \zeta_r \frac{w^2}{2g} \gamma \dots\dots\dots (4.23)$$

kg/cm^2

$$\Delta p = \text{壓力降下 (kg/m}^2)$$

$$G = \text{流量 (kg/sec)}$$

$$w = \text{流速 (m/sec)}$$

$$L = \text{管長 (m)}$$

$$d = \text{管径 (m)}$$

ナル式ニテ與ヘラレ Brabbei ノ水ニ對スル實驗ノ結果ハ次ノ如シ、

普通ノ弁ニ對シ	$\zeta_r = 7 \sim 6.5$
90°ノ屈曲ニ對シ	$\zeta_r = 1.5 \sim 2$
90°ノ彎曲 ($r > 5d$)ニ對シ	$\zeta_r = 5$
普通ノ鑄鐵彎曲部ニ對シ	$\zeta_r = 0.3$

例題

1. 蒸氣管長 30 m. 毎時ノ移運蒸氣量 48,000 kg. 壓力 20 kg/cm² (guage) 乾度 98% 速度 25 m/sec. ナル時必要ナル管徑及壓力降下ヲ求メヨ、但シ速度ノ變化ハ少キモノトス、
2. 或ル蒸氣機關ガ毎時 300°C, 10 kg/cm² abs ノ過熱蒸氣 450 kg. 費消ス、蒸氣管ノ長サ 50 m. 途中二個ノ弁ヲ有スルモノトシ蒸氣速度 30 m/sec ナル時管ノ直徑及總壓力降下ヲ求メヨ、

50.
 $\zeta = 0.02 \times 2$

✓(1) 某弁盤ニ於テノ蒸氣壓力 20 kg/cm² 乾度 98% 蒸氣ニ對シ
 入口ニ於テノ蒸氣壓力 19 kg/cm² 乾度 92% ナリトシ
 或レノ熱電カ主蒸氣管ニ於テ熱電カ

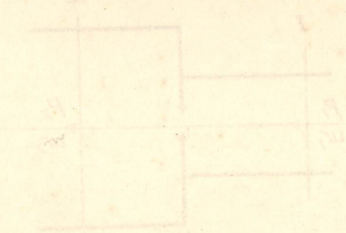
✓(2) 比容 0.1 m³ 純體壓力 10 kg/cm² 蒸氣ノ其ノ乾度如何

✓(3) 蒸氣計ガ 7.5 kg/cm² 而シ 或日ノ晴雨計ガ 710 mmHg ナリトシ
 蒸氣純體壓力如何

✓(4) 軍艦天龍ノ蒸氣使用壓力 18.3 kg/cm² 過熱度 47°C ナリトシ
 蒸氣ノ性質ヲ C-S 綫圖及蒸氣表ニ對シテ

✓(5) 壓力 10 kg/cm² (abs) 乾度 98% 蒸氣ガ 1 m³ 純體
 真空 70 cm 迄斷熱降下スル時 蒸氣ノ効率ガ 85% ナリトシ
 流出速度ヲ求メヨ

✓(6) 入蒸氣ニ對シ 70°C 水ヲ 10 kg/cm² (gag) 蒸氣ニ送給シ
 蒸氣モ 20°C 増大シテ「エネギー」ノ變化ヲ論ズ



第五章

「絞り」過程ニ於ケル状態變化

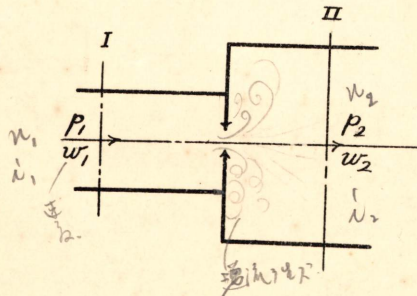
二、「絞り」過程ニ於ケル含熱量ノ不變、

一般ニ狭メラレタル断面ヲ有スル流路内ニ「ガス」又ハ蒸發氣ヲ流ス時通路ノ壓力ハ狭断面ノ先ニ於テ低下ス、斯ノ如クシテ爲サルル壓力低下ヲ一般ニ「絞り」(又ハ絞氣)ノ過程ト稱ス、

Throttling or Wire drawing

「絞り」ニ依ル壓力低下ノ程度ハ雷ニ流體ノ性質及状態ニ依ルノミナラズ流過面積狭小ノ割合流路内ノ速度及流體ノ比重等ニ依リ變化ス、

此ノ現象ハ蒸氣ガ管系中ノ弁嘴ヲ通過スル際、蒸氣筒ノ蒸氣孔ヲ通過スル時或ハ CO₂, NH₃, 「ガス」ガ冷却機械ノ膨脹弁ヲ通過スル際等ニ常ニ經驗スル所ニシテ此ノ絞り現象ハ明カニ非可逆過



第 27 図

ニ於テ高壓ノ先ニ於テ流體ノ速度ニ依リ壓力ノ低下ス、此ノ現象ハ蒸氣ガ管系中ノ弁嘴ヲ通過スル際、蒸氣筒ノ蒸氣孔ヲ通過スル時或ハ CO₂, NH₃, 「ガス」ガ冷却機械ノ膨脹弁ヲ通過スル際等ニ常ニ經驗スル所ニシテ此ノ絞り現象ハ明カニ非可逆過

$$(14) \dots\dots\dots \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \dots\dots\dots$$

此ノ現象ハ蒸氣ガ管系中ノ弁嘴ヲ通過スル際、蒸氣筒ノ蒸氣孔ヲ通過スル時或ハ CO₂, NH₃, 「ガス」ガ冷却機械ノ膨脹弁ヲ通過スル際等ニ常ニ經驗スル所ニシテ此ノ絞り現象ハ明カニ非可逆過

$$(15) \dots\dots\dots \dots\dots\dots$$

此ノ現象ハ蒸氣ガ管系中ノ弁嘴ヲ通過スル際、蒸氣筒ノ蒸氣孔ヲ通過スル時或ハ CO₂, NH₃, 「ガス」ガ冷却機械ノ膨脹弁ヲ通過スル際等ニ常ニ經驗スル所ニシテ此ノ絞り現象ハ明カニ非可逆過

$$\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \dots\dots\dots$$

程ニシテ有效「エネルギー」ノ損失ヲ伴フコト勿論ナリ、

今此ノ過程ヲ簡單ニ示ス爲第 27 圖ノ如ク流路ニ細孔ヲ有スル
隔板前後ノ二断面ヲ考ヘ其ノ断面ニ於ケル速度並ニ内部「エネルギー」ヲ夫々 w_1, w_2 及 u_1, u_2 トスレバ「絞り」過程中外部ニ對スル機械的仕事及熱ノ出入ナキモノト考ヘ得ル故一般「エネルギー」式 (4.3) ニ於テ $AL=0, Q=0$ ト置ケバ結局式 (4.4) トナリ、

$$i_1 - i_2 = A \left(\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (5.1)$$

即含熱量ノ減少ハ運動ノ「エネルギー」ノ増加ニ等シキコトヲ知ル
然ルニ此ノ場合ハ渦流ヲ起シ $\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}$ ナル「エネルギー」ノ増加
ハ内部摩擦ノ爲メニ生ジタル熱ノ形ニテ戻サレ結局流出速度 w_2
ハ初速度 w_1 ト殆ド等シト見做サレ得ルヲ以テ (5.1) 式ハ次ノ如
キ形トナル即チ

$$i_1 = i_2 \dots\dots\dots (5.2)$$

トナリ之絞り過程ニ對スル一般式ナリトス、

尙完全「ガス」ニ對シテハ C_p ガ温度ニ關係ナク一定ナラバ

$$i = \int c_p dt \quad i = C_p T + K_2 \quad K_2 \text{ハ積分常數}$$

ニテ表ハサルヲ以テ (5.2) 式ノ條件ニ依リ $T_1 = T_2$ トナリ絞り
ニ依リ温度ハ變ラザルモ實在ノ「ガス」ハ絞りニ依リ温度降下ヲ伴
フモノナリ、此ノ現象ハ Joule 及 Thomson ニ依リ發見セラレタ
ルモノニシテ單位壓力ノ降下ニ依ル温度降下ヲ Joule Thomson
效果ト稱シ其ノ一般式ハ物理學卷五 (熱力學) (1.37) 式ニ示セル
如ク

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i = \frac{AT^2}{C_p} \left(\frac{\partial \frac{v}{T}}{\partial T} \right)_p$$

p(48) (4.3) 式'

$$u_1 - u_2 = AL + Q + A \left[\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right]$$

$$u_1 - u_2 = A \left[\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right]$$

絞り過程ノ一般式'

$$u_1 = u_2$$

(1) 完全 gas (絞り)

$$T_1 = T_2$$

絞り=伴ヒ温度ノ降下モス'

(2) 完全 gas (絞り)

$$\Delta t = a(p_1 - p_2) \left(\frac{293}{T_1} \right)^2$$

(3) 理想気体 (絞り)

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

(4) 理想気体 (絞り)

$$\Delta t = T_1 - T_2 = \lambda_1 - \lambda_2 = 3.9 (p_1 - p_2)$$

$$i = c_p T + h$$

$$i_1 = c_p T_1 + h$$

$$i_2 = c_p T_2 + h$$

$$u_1 = u_2$$

$$T_1 = T_2$$

今 R=47.1 トスレバ

$$T_1 - T_2 = t_1 - t_2 = \frac{0.016}{47.1} \times 10,000 (p_1 - p_2)$$

$$= 3.4 (p_1 - p_2) \quad (p \text{ in kg/cm}^2)$$

(II). 濕潤蒸發氣ノ「絞リ」

乾度高キ場合ニ於テハ近似的ニ蒸發氣ノ含熱量ト全熱量トハ等シク q_m ヲ全熱量トスレバ $i_m = q_m = q' + xr$

ト看做サルルガ故ニ「絞リ」過程ニ對シ

$$q_1' + x_1 r_1 = q_2' + x_2 r_2$$

$$\therefore x_2 = x_1 \frac{r_1}{r_2} + \frac{q_1' - q_2'}{r_2} \dots \dots \dots (5.4)$$

水ニ對シテハ $q_1' - q_2' = t_1 - t_2$ ナル故

$$x_2 = x_1 \frac{r_1}{r_2} + \frac{t_1 - t_2}{r_2} \dots \dots \dots (5.4)'$$

即チ此ノ式ヨリ與ヘラレタル初状態ノ乾度 x_1 ト初終兩状態ノ壓力ヲ知レバ「絞リ」後ノ乾度 x_2 ヲ算出スルコトヲ得、

又絞リノ後ノ状態ヲ乾燥飽和ノ状態ナラシムル爲ニハ蒸氣ノ場合 (5.4) ニ於テ $x_2 = 1$ トオケバ絞リ前ノ状態 x_1 ヲ求ムルコトヲ得、

次ニ乾度低キ場合 (及液體) ニ於テハ一般ニ含熱量ハ

$$i = u + A p v \quad \text{ニテ表ハサレ}$$

潤潤蒸氣ニ對シテハ $u = q' + x \rho$ ナルヲ以テ

$$i = q' + x \rho + A p v \dots \dots \dots (5.5)$$

又全熱量ハ $\lambda = q' + x \rho + A p (v - v_0)$ ニテ表ハサルヲ以テ含熱量トシテ全熱量ヨリモ $A p v_0$ 丈ケ大トナリ、

$$i = \lambda + A p v_0 = q' + x r + A p v_0 \dots \dots \dots (5.6)$$

濕潤蒸氣ノ絞リ、

1. 乾度ノ高キ場合、

$$x_2 = x_1 \frac{r_1}{r_2} + \frac{t_1 - t_2}{r_2}$$

2. 乾度ノ低キ場合、

$$x_2 = x_1 \frac{r_1}{r_2} + \frac{q_1' - q_2'}{r_2} + A \frac{p_1 - p_2}{r_2} v_0$$

$$i_m = q' + x r$$

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= q_1' + x_1 r_1 \\ i_2 &= q_2' + x_2 r_2 \end{aligned} \right\} i_1 = i_2$$

$$i' = u + A p v$$

濕潤蒸氣ニ對シ

$$i_m = u_m + A p v_m$$

$$i_m = q' + x r \quad (p. 20)$$

$$i_m = q' + x r + A p v_m$$

$$i_m = i'' - (1-x) r \quad (p. 9)$$

$$i'' = q' + r + A p v_0 \quad (p. 7)$$

$$i_m = q' + r + A p v_0 - (1-x) r$$

$$= q' + x r + A p v_0 \quad (p. 6)$$

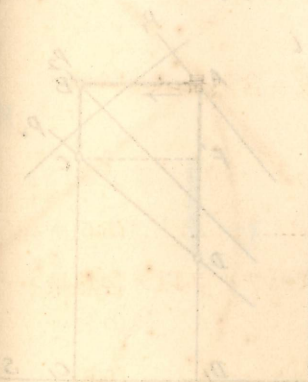


図 85 蒸

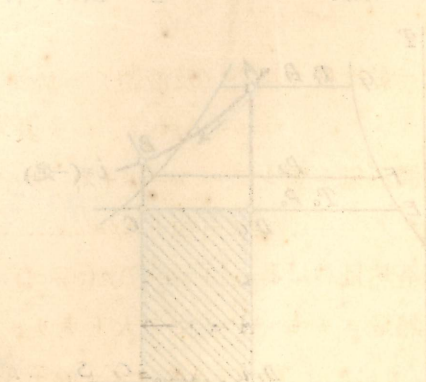


図 86 蒸

今若シ利用シ得ル最低溫度ヲ T_0 , 其ノ溫度ニ對スル壓力ヲ p_0 トスレバ有效「エネルギー」ノ損失ハ「エントロピ」ノ増加 Δs ナル時第 28 圖ニ於テ $\Delta s T_0 = \text{面積 } D_1 D C C_1$ ニテ示サル、

又第 29 圖ニ於テ長サ $\overline{F'D} = \overline{AD} - \overline{BC}$ トシテ表ハサル、即チ此ノ損失ノ意味ハ「絞リ」後ノ状態 B ニアル蒸發氣ハ如何ナル手段ニ依リテモ状態 A ノ蒸發氣ニ依リテ得ラルルト等シキ仕事ハ得ラレズ、常ニ少クトモ熱量 $\Delta s T_0$ ノ損失アルコトヲ示スモノナリ、例ヘバ蒸氣吸鑿機械又ハ蒸氣「タービン」ニ於テ操縦弁ニ依リ絞ル時ハ常ニ此ノ損失ヲ伴フコトヲ知ルベシ、

二四、「絞リ」「カロリーメーター」、

(Throttling Calorimeter)

「絞リ」現象ヲ應用スレバ濕潤蒸氣ノ乾度ヲ決定スルコトヲ得、即チ測定セントスル蒸氣ノ乾度アマリ低カラザル時ニハ絞リ弁ヲ通ジテ容器内ニ入レ其ノ容器内ノ壓力ヲ大氣壓ニ保タバ絞ラレタル後ノ容器内ノ蒸氣ハ第 28, 29 圖ニ於ケル B 點ノ如ク過熱状態トナル、

絞リ通過後状態トシテ示ス。

含熱量ハ絞リノ前後不變ナルヲ以テ

$$i_A = i_B$$

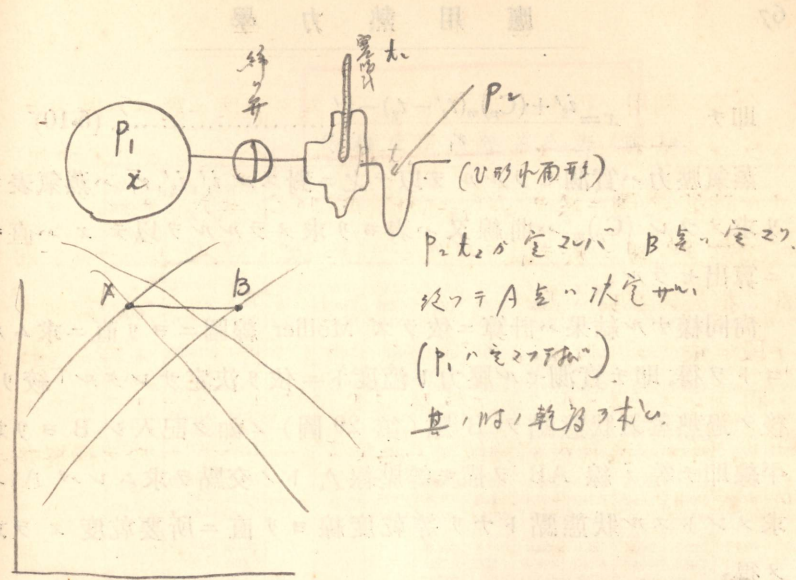
蒸氣管内ノ壓力 p_1 ニ對スル含熱量及蒸發潛熱ヲ i_1, r_1 トセバ

$$i_A = i_1' + x r_1 \quad i_B = i_2'' + (C_p)_m (t_2' - t_2)$$

又「カロリーメーター」内ノ壓力 p_2 ニ相當スル飽和溫度ヲ t_2 , 「カロリーメーター」内ニテ測定シタル蒸氣溫度ヲ t_2' 壓力 p_2 ノ飽和蒸氣ノ含熱量ヲ i_2'' トスレバ絞リ後ノ含熱量ハ

$$i_B = i_2'' + (C_p)_m (t_2' - t_2) \dots\dots\dots (5.8)$$

故ニ $i_1' + x r_1 = i_2'' + (C_p)_m (t_2' - t_2) \dots\dots\dots (5.9)$



即チ $x = \frac{i_2' + (C_p)_m(t_2' - t_2) - i_1'}{r_1} \dots \dots \dots (5.10)$

蒸氣壓力ハ實測セラルルヲ以テ之ニ對スル i_1', i_2', r_1 ハ蒸氣表ヨリ求メラレ $(C_p)_m$ ハ曲線又ハ表ヨリ求メララルヲ以テ x ハ直チニ算出セラル、

尙同様ナル結果ハ計算ニ依ラズ Mollier 線圖ニヨリ直ニ求ムルコトヲ得、即チ實測セル壓力ト溫度トニ依リ決定サレタル「絞り」後ノ過熱蒸氣狀態點ヲ B 點(第 29 圖)ノ如ク記入シ B ヨリ水平線即チ等 i 線 AB ヲ描キ等壓線 p_1 トノ交點ヲ求ムレバ A ハ求メントスル狀態點トナリ等乾度線ヨリ直ニ所要乾度 x ヲ求メ得、

而シテ以上ノ如キ原理ニ依リ乾度ヲ定ムル測定器ヲ一般ニ「絞り」「カロリメーター」ト稱ス、

例題

1. 「タービン」主機械主蒸氣管ノ壓力 18 kg/cm² (guage). 溫度 250°C 復水器真空 72 cm. (mercury.) ナルトキ操縦弁ニ依リ蒸氣室壓力ヲ 12 kg/cm² (guage) 迄絞りテ運轉スル場合 1 kg. ノ蒸氣有效「エネルギー」ノ損失量ヲ求メヨ、

2. 蒸氣管内蒸氣壓力 10 kg/cm² (abs.) 「カロリメーター」内壓力 1.15 kg/cm² (abs.) 溫度 120°C ナル時管内蒸氣ノ乾度ヲ求メヨ. 又此ノ蒸氣ヲ 7 kg/cm² (abs.) 迄絞りタル後 0.05 kg/cm² (abs.) 迄斷熱膨脹ナサシムル時熱降下如何、又其ノ終狀態ニ於ケル乾度如何ナリヤ、

飽和及び過熱蒸氣表(其 1a)

壓力 kg/cm ² (飽和溫度) °C	飽和 水	飽和 蒸氣	過熱蒸氣													
			蒸氣溫度 °C													
			40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°			
0.05 (32.5)	0.001005 32.6 0.1122	28.72 610.9 2.0037	29.42 618.9 2.0149	30.37 623.5 2.0292	31.31 628.1 2.0432	32.26 632.6 2.0567	33.20 637.2 2.0699	34.14 641.8 2.0827	35.08 646.4 2.0951	36.03 651.0 2.1073	36.97 655.6 2.1192	37.91 660.2 2.1307	38.85 669.2 2.1430			
0.10 (45.4)	0.001010 45.4 0.1534	14.95 616.6 1.9459		15.17 618.7 1.9525	15.64 623.3 1.9665	16.11 627.9 1.9801	16.58 632.5 1.9933	17.06 637.1 2.0062	17.53 641.7 2.0187	18.00 646.3 2.0308	18.47 650.9 2.0427	18.94 655.5 2.0543	19.42 660.1 2.0655			
0.15 (53.6)	0.001014 53.6 0.1785	10.21 620.2 1.9124			10.41 623.2 1.9215	10.73 627.8 1.9351	11.05 632.4 1.9484	11.36 637.0 1.9613	11.68 641.6 1.9738	11.99 646.2 1.9860	12.31 650.8 1.9978	12.62 655.4 2.0094	12.94 660.0 2.0207			
0.20 (59.7)	0.001017 59.6 0.1969	7.793 622.8 1.8889			7.801 623.0 1.8894	8.040 627.6 1.9031	8.278 632.3 1.9165	8.515 636.9 1.9294	8.752 641.5 1.9419	8.989 646.1 1.9541	9.226 650.7 1.9660	9.462 655.3 1.9776	9.698 660.0 1.9890			
0.25 (64.6)	0.001020 64.5 0.2115	6.321 624.9 1.8707				6.425 627.5 1.8782	6.610 632.1 1.8916	6.807 636.8 1.9045	6.997 641.4 1.9171	7.187 646.0 1.9294	7.376 650.7 1.9413	7.566 655.3 1.9529	7.755 660.0 1.9642			
0.3 (68.7)	0.001022 68.6 0.2226	5.327 628.7 1.8559				5.349 627.3 1.8578	5.509 632.0 1.8712	5.668 636.6 1.8842	5.827 641.3 1.8968	5.986 645.9 1.9091	6.144 650.6 1.9210	6.302 655.2 1.9326	6.460 660.0 1.9440			
0.4 (73.4)	0.001026 75.4 0.2432	4.069 629.5 1.8327				4.124 631.7 1.8388	4.244 636.4 1.8521	4.364 641.1 1.8647	4.484 645.7 1.8770	4.603 650.4 1.8890	4.722 655.0 1.9007	4.841 659.7 1.9121				
0.5 (78.1)	0.001030 80.8 0.2587	3.301 631.7 1.8147					3.390 634.8 1.8268	3.487 640.8 1.8396	3.583 645.5 1.8520	3.678 650.2 1.8641	3.774 654.9 1.8758	3.869 659.5 1.8872				
0.6 (83.5)	0.001033 85.4 0.2716	2.783 633.6 1.8000					2.820 635.8 1.8061	2.901 640.6 1.8190	2.982 645.3 1.8316	3.062 650.0 1.8437	3.142 654.7 1.8555	3.222 659.4 1.8669				
0.7 (89.4)	0.001036 89.4 0.2826	2.409 635.2 1.7876					2.413 635.5 1.7884	2.483 640.3 1.8015	2.553 645.1 1.8141	2.623 649.8 1.8263	2.691 654.5 1.8381	2.759 659.2 1.8496				
0.8 (93.0)	0.001038 93.0 0.2924	2.126 636.6 1.7769					2.170 640.0 1.7802	2.231 644.8 1.7939	2.291 649.6 1.8112	2.352 654.3 1.8231	2.412 659.0 1.8346					
0.9 (96.2)	0.001041 96.2 0.3011	1.904 637.9 1.7675					1.926 639.7 1.7726	1.980 644.6 1.7855	2.034 649.4 1.7978	2.088 654.1 1.8097	2.142 658.9 1.8214					
1.0 (99.1)	0.001043 99.1 0.3090	1.726 639.0 1.7591					1.730 639.4 1.7603	1.780 644.3 1.7733	1.829 649.2 1.7858	1.878 654.0 1.7978	1.926 658.7 1.8095					
1.2 (104.2)	0.001047 104.3 0.3229	1.455 640.9 1.7446							1.479 643.8 1.7521	1.521 648.7 1.7648	1.562 653.6 1.7770	1.602 658.4 1.7888				
1.4 (108.7)	0.001050 108.9 0.3348	1.260 642.6 1.7322								1.264 643.2 1.7339	1.306 648.3 1.7469	1.371 653.2 1.7592	1.437 658.0 1.7711			

飽和及び過熱蒸気表 (其 1b) 機械學會蒸気表に據る

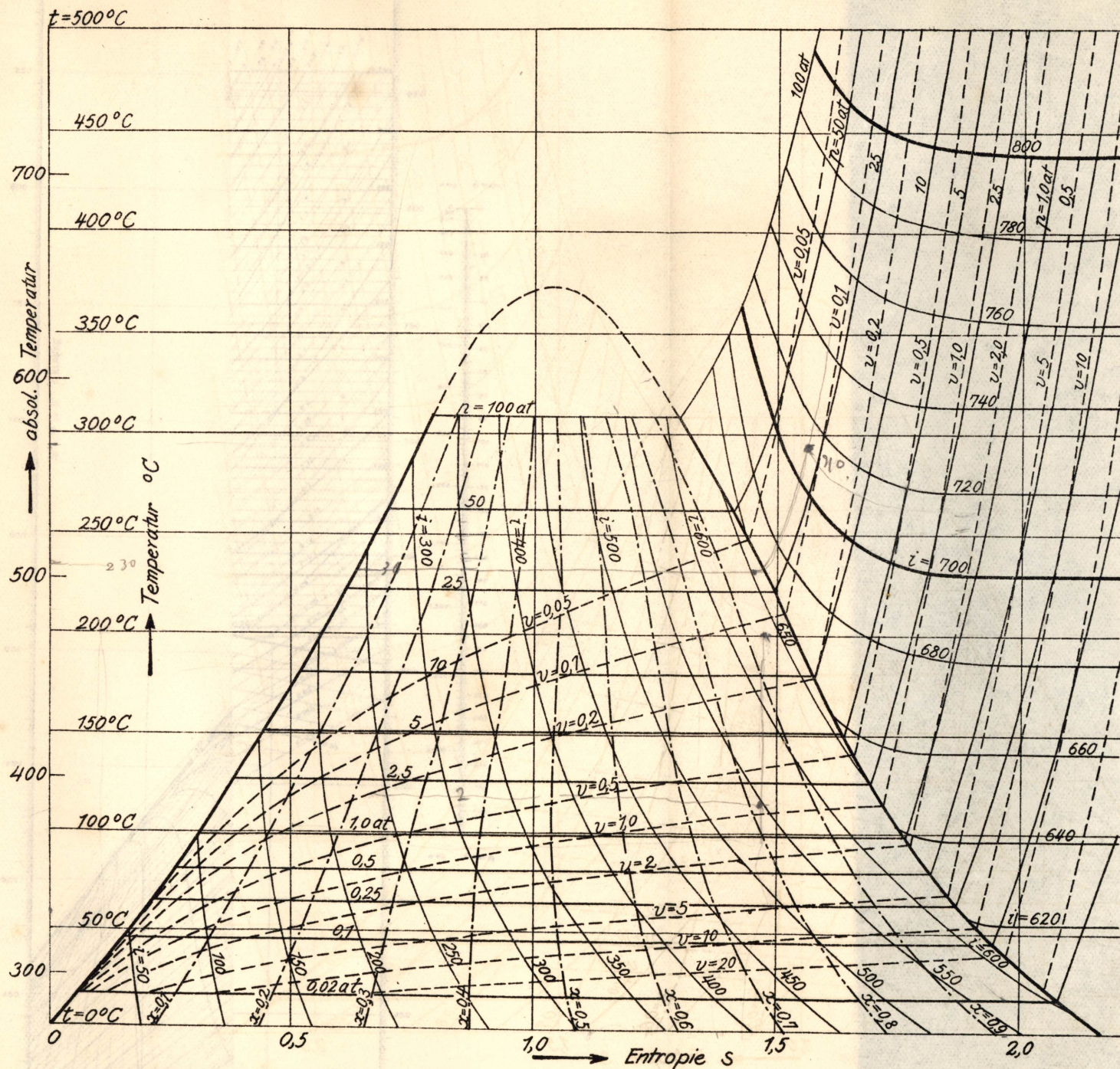
過熱蒸気													壓力
蒸気溫度 °C													
150°	160°	170°	180°	190°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	400°	500°	
39.79	40.74	41.68	42.62	43.56	44.50	46.39	48.27	50.15	52.03	53.92	63.33	72.74	v
664.8	669.4	674.1	678.7	683.3	688.0	697.3	706.7	716.1	725.5	735.0	783.3	833.5	i 0.05
2.1530	2.1638	2.1744	2.1847	2.1948	2.2047	2.2240	2.2427	2.2606	2.2780	2.2949	2.3726	2.4420	s
19.89	20.36	20.83	21.30	21.77	22.24	23.18	24.13	25.07	26.01	26.95	31.66	36.37	v
664.7	669.4	674.0	678.6	683.3	687.9	697.2	706.6	716.0	725.5	735.0	783.3	833.4	i 0.10
2.0765	2.0873	2.0979	2.1082	2.1184	2.1283	2.1476	2.1662	2.1842	2.2016	2.2185	2.2962	2.3656	s
13.25	13.57	13.88	14.19	14.51	14.82	15.45	16.08	16.71	17.34	17.96	21.10	24.24	v
664.7	669.3	673.9	678.6	683.2	687.9	697.2	706.6	716.0	725.4	734.9	783.3	833.4	i 0.15
2.0318	2.0426	2.0532	2.0635	2.0736	2.0836	2.1029	2.1215	2.1395	2.1569	2.1738	2.2515	2.3209	s
9.934	10.17	10.41	10.64	10.88	11.11	11.59	12.06	12.53	13.00	13.47	15.83	18.18	v
664.6	669.2	673.9	678.5	683.2	687.8	697.1	706.5	715.9	725.4	734.9	783.3	833.4	i 0.20
2.0000	2.0108	2.0214	2.0317	2.0419	2.0518	2.0711	2.0898	2.1077	2.1252	2.1420	2.2198	2.2892	s
7.944	8.133	8.322	8.511	8.700	8.889	9.266	9.644	10.02	10.40	10.78	12.66	14.54	v
664.5	669.2	673.8	678.4	683.1	687.8	697.1	706.5	715.9	725.3	734.9	783.2	833.4	i 0.25
1.9753	1.9861	1.9967	2.0070	2.0172	2.0273	2.0465	2.0651	2.0831	2.1005	2.1174	2.1952	2.2646	s
6.617	6.775	6.933	7.091	7.248	7.405	7.720	8.035	8.349	8.664	8.978	10.55	12.12	v
664.5	669.1	673.7	678.4	683.0	687.7	697.0	706.4	715.8	725.3	734.8	783.2	833.4	i 0.30
1.9511	1.9619	1.9725	1.9829	1.9931	2.0032	2.0223	2.0408	2.0587	2.1751	2.2445			s
4.960	5.078	5.196	5.315	5.433	5.551	5.787	6.024	6.260	6.496	6.732	7.910	9.088	v
664.3	669.0	673.6	678.3	682.9	687.6	697.0	706.3	715.7	725.2	734.7	783.2	833.3	i 0.40
1.9322	1.9430	1.9536	1.9641	1.9745	1.9848	2.0132	2.0312	2.0486	2.0655	2.1434	2.2128		s
3.964	4.059	4.154	4.249	4.344	4.439	4.628	4.817	5.006	5.195	5.384	6.327	7.269	v
664.2	668.8	673.5	678.2	682.8	687.5	696.9	706.3	715.7	725.2	734.7	783.1	833.2	i 0.50
1.8983	1.9092	1.9199	1.9303	1.9404	1.9504	1.9698	1.9885	2.0065	2.0240	2.0408	2.1187	2.1882	s
3.301	3.380	3.460	3.539	3.618	3.697	3.855	4.013	4.170	4.328	4.485	5.272	6.057	v
664.0	668.7	673.4	678.0	682.7	687.4	696.8	706.2	715.6	725.1	734.6	783.1	833.2	i 0.60
1.8781	1.8890	1.8997	1.9101	1.9202	1.9302	1.9496	1.9683	1.9864	2.0038	2.0207	2.0986	2.1681	s
2.827	2.895	2.963	3.031	3.099	3.167	3.303	3.438	3.573	3.709	3.844	4.518	5.191	v
663.9	668.6	673.3	677.9	682.6	687.3	696.7	706.1	715.5	725.0	734.6	783.0	833.2	i 0.70
1.8608	1.8718	1.8825	1.8929	1.9031	1.9131	1.9325	1.9512	1.9693	1.9868	2.0037	2.0816	2.1511	s
2.472	2.532	2.591	2.651	2.710	2.770	2.889	3.007	3.126	3.244	3.362	3.953	4.542	v
663.8	668.4	673.1	677.8	682.5	687.2	696.6	706.0	715.5	725.0	734.5	783.0	833.2	i 0.8
1.8459	1.8568	1.8675	1.8780	1.8882	1.8982	1.9177	1.9364	1.9545	1.9720	1.9889	2.0668	2.1363	s
2.196	2.249	2.302	2.355	2.408	2.461	2.567	2.672	2.778	2.883	2.988	3.513	4.037	v
663.6	668.3	673.0	677.7	682.4	687.1	696.5	705.9	715.4	724.9	734.4	782.9	833.2	i 0.9
1.8327	1.8437	1.8544	1.8648	1.8750	1.8851	1.9046	1.9234	1.9414	1.9589	1.9759	2.0538	2.1233	s
1.974	2.022	2.070	2.118	2.166	2.214	2.309	2.404	2.499	2.594	2.689	3.161	3.633	v
663.5	668.2	672.9	677.6	682.3	687.0	696.4	705.8	715.3	724.8	734.3	782.8	833.1	i 1.0
1.8208	1.8318	1.8426	1.8531	1.8633	1.8734	1.8928	1.9116	1.9297	1.9472	1.9642	2.0422	2.1117	s
1.643	1.683	1.723	1.763	1.803	1.843	1.933	2.023	2.113	2.203	2.293	2.834	3.375	v
663.2	667.9	672.6	677.3	682.0	686.7	696.1	705.5	715.0	724.5	734.0	782.7	833.0	i 1.1
1.8002	1.8113	1.8221	1.8326	1.8429	1.8530	1.8725	1.8913	1.9095	1.9270	1.9449	2.0229	2.0916	s
1.406	1.440	1.475	1.509	1.544	1.578	1.646	1.715	1.783	1.851	1.919	2.257	2.595	v
662.9	667.6	672.4	677.1	681.9	686.6	696.0	705.4	714.9	724.4	733.9	782.6	832.9	i 1.2
1.7826	1.7938	1.8047	1.8153	1.8256	1.8357	1.8553	1.8741	1.8923	1.9098	1.9268	2.0050	2.0745	s

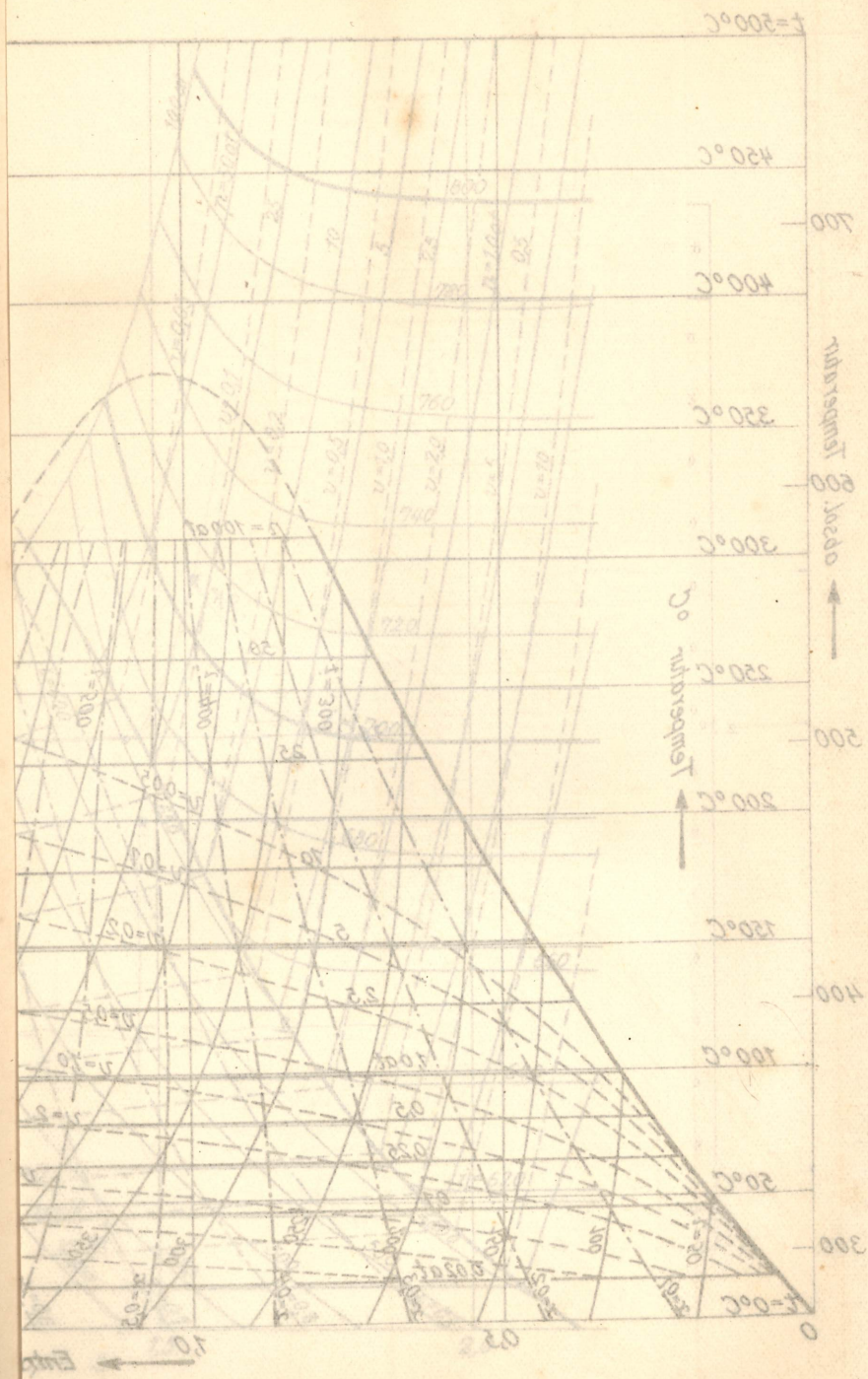
飽和及び過熱蒸気表 (其 2a)

壓力 kg/cm ² (飽和溫度) °C	飽和 水	飽和 蒸気	過熱蒸気												
			蒸気溫度 °C												
			130°	135°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°	220°		
1.6	v	0.01074	1.113	1.135	1.166	1.197	1.238	1.259	1.289	1.319	1.349	1.379	1.409	1.439	
(112.7)	i	112.9	644.0	647.8	652.8	657.7	662.5	667.3	672.1	676.9	681.7	686.4	691.2	695.9	
	s	0.3453	1.7216	1.7311	1.7436	1.7557	1.7674	1.7786	1.7895	1.8002	1.8106	1.8207	1.8306	1.8403	
1.8	v	0.01057	0.9954	1.006	1.034	1.062	1.090	1.117	1.144	1.171	1.198	1.225	1.252	1.278	
(116.3)	i	116.5	645.3	647.2	652.3	657.3	662.2	667.0	671.9	676.7	681.4	686.2	691.0	695.7	
	s	0.3547	1.7122	1.7171	1.7300	1.7421	1.7538	1.7651	1.7761	1.7868	1.7973	1.8074	1.8174	1.8272	
2.0	v	0.01030	0.9019	0.9028	0.9286	0.9540	0.9790	1.004	1.028	1.053	1.077	1.101	1.125	1.150	
(119.6)	i	119.9	646.5	646.7	651.9	656.9	661.9	666.8	671.6	676.4	681.2	686.0	690.8	695.5	
	s	0.3632	1.7038	1.7043	1.7173	1.7297	1.7416	1.7530	1.7641	1.7748	1.7853	1.7955	1.8055	1.8152	
3	v	0.01072	0.6166			0.6293	0.6468	0.6639	0.6807	0.6974	0.7140	0.7304	0.7468	0.7631	
(132.5)	i	133.3	650.8			654.8	660.1	665.2	670.2	675.2	680.1	685.0	689.8	694.7	
	s	0.3970	1.6714			1.6808	1.6936	1.7055	1.7170	1.7281	1.7388	1.7492	1.7594	1.7693	
4	v	0.01083	0.4705			0.4803	0.4937	0.5068	0.5196	0.5323	0.5449	0.5574	0.5698		
(142.3)	i	143.6	653.9			658.0	663.4	668.7	673.8	678.9	683.9	688.8	693.7		
	s	0.4219	1.6482			1.6578	1.6706	1.6826	1.6941	1.7051	1.7155	1.7262	1.7362		
5	v	0.01099	0.3813				0.3913	0.4022	0.4129	0.4233	0.4336	0.4437	0.4538		
(151.4)	i	152.1	656.3				661.4	667.0	672.4	677.6	682.7	687.8	692.8		
	s	0.4419	1.6302				1.6423	1.6550	1.6674	1.6794	1.6911	1.7026	1.7142		
6	v	0.01100	0.3210				0.3229	0.3324	0.3416	0.3505	0.3593	0.3679	0.3764		
(158.1)	i	159.3	658.1				659.3	665.2	670.8	676.3	681.5	686.7	691.8		
	s	0.4587	1.6154				1.6182	1.6317	1.6443	1.6561	1.6674	1.6782	1.6886		
7	v	0.01107	0.2775				0.2824	0.2905	0.2984	0.3061	0.3137	0.3211			
(164.3)	i	155.6	659.6				663.3	669.2	674.8	680.3	685.6	690.8			
	s	0.4782	1.6038				1.6111	1.6243	1.6366	1.6483	1.6595	1.6701			
8	v	0.01114	0.2445				0.2443	0.2522	0.2593	0.2663	0.2730	0.2796			
(169.3)	i	171.3	660.9				661.2	667.4	673.3	679.0	684.5	689.8			
	s	0.4861	1.5919				1.5925	1.6065	1.6193	1.6314	1.6428	1.6538			
9	v	0.01120	0.2186					0.2223	0.2289	0.2352	0.2413	0.2473			
(174.5)	i	176.4	662.0				665.6	671.8	677.6	683.3	688.7				
	s	0.4977	1.5822				1.5902	1.6036	1.6162	1.6280	1.6392				
10	v	0.01126	0.1977					0.1							

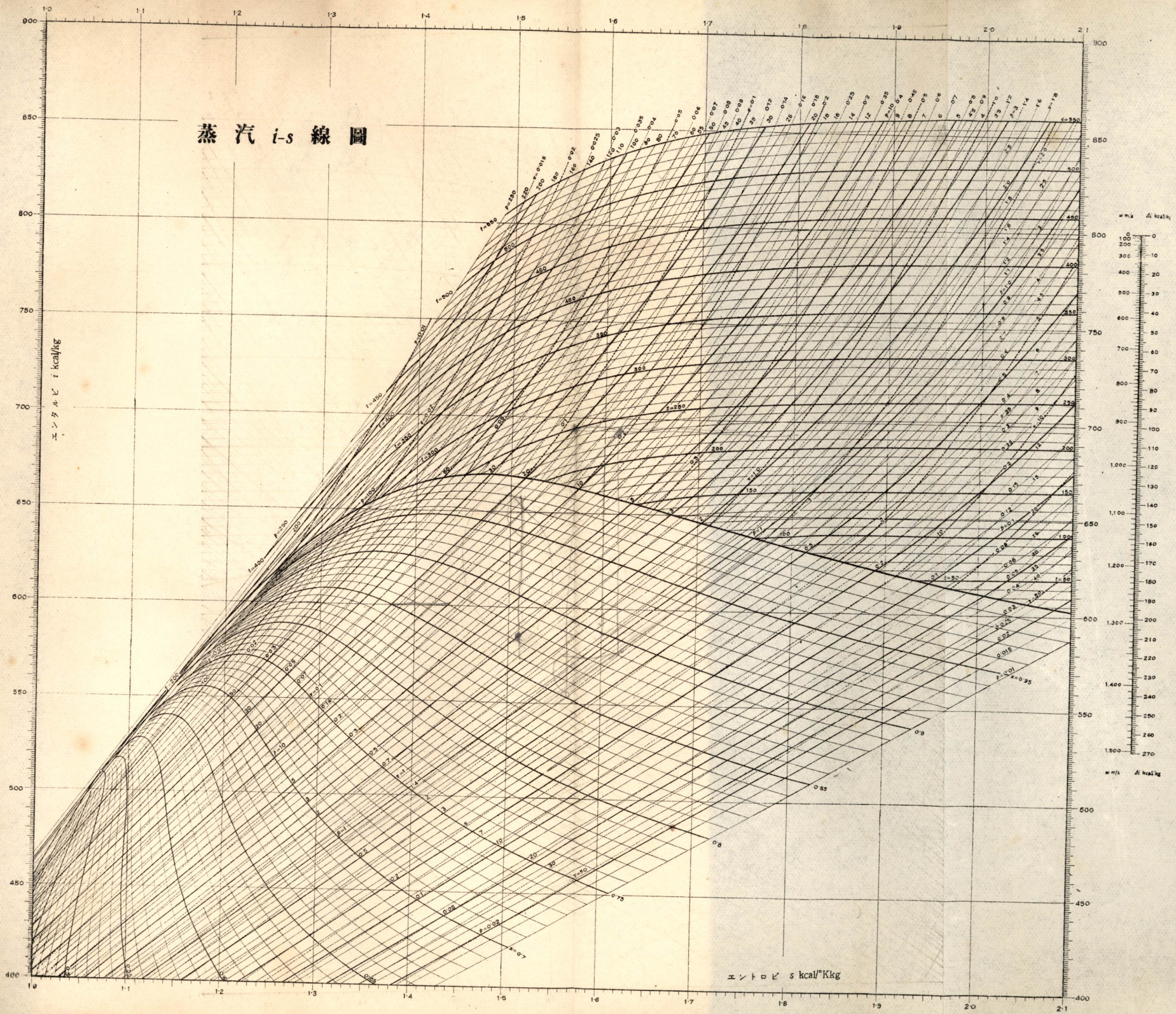
第 2 表 飽和及び過熱蒸気表 (其 3b) 機械學會蒸気表に據る

蒸 氣 表													壓力
蒸 氣 溫 度 °C													
330°	340°	350°	360°	380°	400°	420°	440°	460°	480°	500°	520°	550°	
0.1361	0.1387	0.1413	0.1439	0.1490	0.1540	0.1590	0.1640	0.1690	0.1739	0.1789	0.1837	0.1911	v
739.3	744.6	749.8	755.1	765.5	775.9	786.3	796.8	807.2	817.7	828.3	838.8	854.8	i
1.6473	1.6560	1.6645	1.6729	1.6892	1.7048	1.7200	1.7349	1.7493	1.7635	1.7773	1.7908	1.8106	s
0.1077	0.1098	0.1120	0.1141	0.1182	0.1224	0.1264	0.1305	0.1345	0.1385	0.1425	0.1464	0.1523	v
736.7	742.1	747.5	752.9	763.5	774.1	784.6	795.2	805.8	816.4	827.0	837.7	853.8	i
1.6195	1.6285	1.6372	1.6457	1.6623	1.6782	1.6937	1.7087	1.7233	1.7376	1.7515	1.7651	1.7851	s
0.0874	0.09058	0.0940	0.0976	0.1015	0.1047	0.1081	0.1115	0.1149	0.1183	0.1216	0.1250	0.1265	v
734.0	739.6	745.2	750.6	761.5	772.3	783.0	793.6	804.3	815.0	825.7	836.5	852.7	i
1.5662	1.6054	1.6144	1.6231	1.6399	1.6562	1.6718	1.6870	1.7018	1.7162	1.7303	1.7440	1.7641	s
0.06502	0.06649	0.06793	0.06935	0.07214	0.07496	0.07754	0.08018	0.08250	0.08538	0.08795	0.09049	0.09427	v
728.4	734.4	740.3	746.0	757.4	768.5	779.5	790.5	801.4	812.3	823.2	834.1	850.6	i
1.5575	1.5673	1.5768	1.5860	1.6030	1.6204	1.6386	1.6522	1.6673	1.6819	1.6962	1.7102	1.7305	s
0.05072	0.05196	0.05321	0.05441	0.05675	0.05901	0.06123	0.06341	0.06555	0.06767	0.06976	0.07184	0.07492	v
723.5	728.9	734.2	739.3	753.1	764.7	776.1	787.3	798.5	809.6	820.7	831.8	848.4	i
1.5253	1.5350	1.5401	1.5458	1.5743	1.5917	1.6083	1.6243	1.6398	1.6548	1.6693	1.6834	1.7041	s
0.04111	0.04225	0.04335	0.04442	0.04647	0.04844	0.05035	0.05222	0.05406	0.05586	0.05764	0.05940	0.06202	v
715.0	723.0	729.8	736.2	748.8	760.8	772.6	784.1	795.5	806.9	818.2	829.4	846.3	i
1.4968	1.5084	1.5193	1.5297	1.5492	1.5674	1.5846	1.6010	1.6168	1.6321	1.6468	1.6612	1.6821	s
0.02887	0.02992	0.03090	0.03183	0.03356	0.03518	0.03673	0.03822	0.03967	0.04109	0.04249	0.04386	0.04558	v
700.5	709.4	717.6	725.2	739.4	752.7	765.3	777.6	789.6	801.4	813.1	824.7	842.0	i
1.4445	1.4590	1.4723	1.4845	1.5066	1.5266	1.5451	1.5626	1.5791	1.5951	1.6104	1.6252	1.6467	s
0.02113	0.02223	0.02321	0.02411	0.02572	0.02717	0.02852	0.02950	0.03030	0.03109	0.03186	0.03253	0.03260	v
680.5	692.3	702.8	712.2	728.9	743.9	757.7	770.8	783.5	795.9	807.9	819.9	837.7	i
1.3921	1.4115	1.4284	1.4434	1.4695	1.4920	1.5123	1.5309	1.5484	1.5650	1.5809	1.5963	1.6183	s
0.01550	0.01675	0.01782	0.01876	0.02008	0.02176	0.02301	0.02417	0.02506	0.02580	0.02639	0.02685	0.02713	v
653.9	670.3	684.9	696.3	716.8	734.1	749.4	763.6	777.1	790.1	802.7	815.1	833.4	i
1.3339	1.3608	1.3834	1.4027	1.4345	1.4606	1.4831	1.5033	1.5219	1.5393	1.5559	1.5717	1.5944	s
	0.01242	0.01366	0.01471	0.01643	0.01782	0.01906	0.02011	0.02111	0.02206	0.02297	0.02385	0.02513	v
	641.4	660.6	676.6	702.4	723.0	740.4	756.0	770.5	784.2	797.3	810.2	829.1	i
	1.3026	1.3336	1.3592	1.3894	1.4304	1.4559	1.4781	1.4981	1.5166	1.5338	1.5502	1.5736	s
	0.01019	0.01141	0.01233	0.01478	0.01599	0.01704	0.01799	0.01887	0.01971	0.02051	0.02167	0.02167	v
	630.0	651.9	665.2	710.2	730.4	747.8	763.4	778.0	791.8	805.2	824.6	846.6	i
	1.2757	1.3106	1.3323	1.4001	1.4297	1.4544	1.4761	1.4957	1.5138	1.5309	1.5550	1.5824	s
	0.008553	0.01075	0.01233	0.01357	0.01461	0.01554	0.01637	0.01716	0.01791	0.01852	0.01897	0.01897	v
	620.3	644.4	665.3	719.2	738.8	755.9	771.6	786.2	800.1	820.2	840.2	864.8	i
	1.2583	1.3219	1.3696	1.4055	1.4314	1.4552	1.4762	1.4953	1.5131	1.5380	1.5624	1.5980	s
	0.008540	0.01028	0.01159	0.01265	0.01356	0.01437	0.01511	0.01582	0.01651	0.01716	0.01777	0.01811	v
	608.4	628.1	646.1	706.4	728.9	749.0	764.8	780.3	794.8	815.6	836.6	861.6	i
	1.2277	1.3351	1.3767	1.4057	1.4350	1.4577	1.4779	1.4966	1.5124	1.5294	1.5474	1.5674	s
	0.006559	0.008523	0.009918	0.01101	0.01192	0.01271	0.01343	0.01410	0.01471	0.01526	0.01577	0.01604	v
	606.4	628.1	646.1	718.1	739.3	757.7	774.1	789.5	811.1	834.0	858.0	884.0	i
	1.2237	1.2989	1.3488	1.3858	1.4151	1.4398	1.4614	1.4810	1.4980	1.5124	1.5294	1.5474	s
	0.006349	0.007875	0.009018	0.009940	0.01072	0.01141	0.01204	0.01261	0.01312	0.01358	0.01400	0.01429	v
	622.9	647.7	670.1	725.3	746.3	764.3	781.5	798.1	815.1	832.4	850.0	868.0	i
	1.2389	1.3046	1.3507	1.3856	1.4137	1.4377	1.4589	1.4789	1.4974	1.5144	1.5300	1.5472	s





蒸汽 $i-s$ 線圖



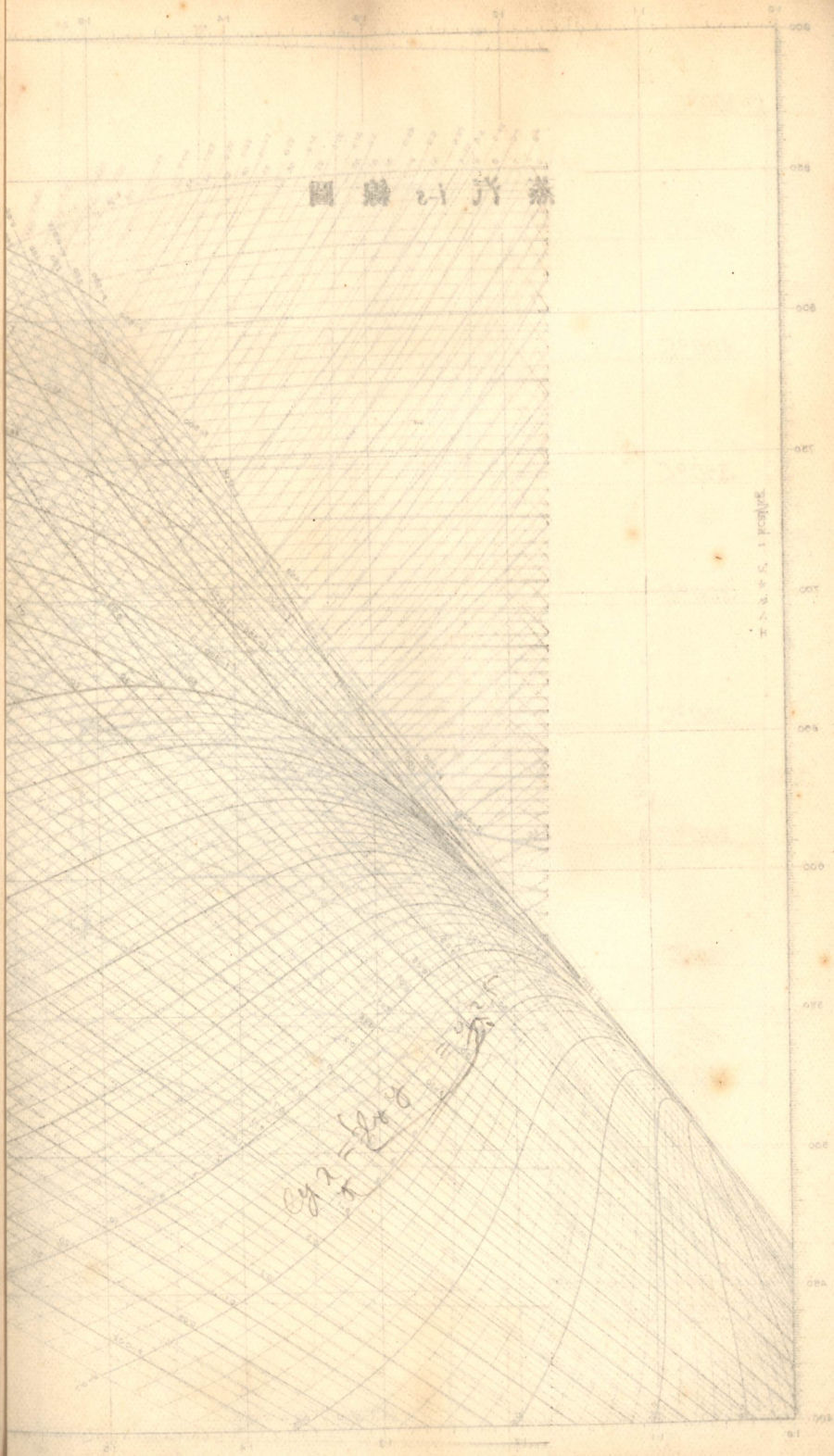


圖 繪 以 汽 蒸

$$r = \frac{y \cdot \frac{D_e}{f \cdot D_e}}{D_e}$$

$$= (y D_o) - y D_i$$

$$= 0.27 - 0.2 = 0.13$$

$$= \frac{5}{2} (y v)$$

安祿雅淑

整 卷	理 号	
寄 贈 者 名		
寄 年	贈 日	11. 2. 1
一 卷	連 号	4445

4445