

第六章

瓦斯及蒸發氣ノ流動

二一、彈性流體ノ流動 (Flow of elastic fluids),

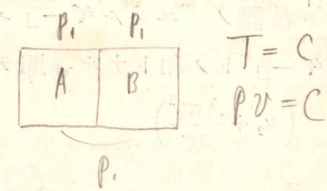
流動トハ連續的ニ一方ニ進ム流體ノ總テノ運動ヲ意味シ其ノ内非彈性流體即チ液體ノ流動ニ關シテハ水力學ニ於テ學ブベク茲ニハ彈性流體即チ瓦斯及蒸發氣ニ就テ論ゼントス、而シテ彈性流體ノ流動ニ關ズル實際ノ例トシテハ (1) 燃料瓦斯、壓搾空氣、蒸氣等ノ移送管内ノ流動、(2) 扇車内ノ空氣或ハ「タルビン」動翼内ノ蒸氣等運動スル溝内ノ流動、(3) 噴孔 (Orifice) 或ハ 噴口 (Nozzle) 等ニ於ケル膨脹、流動等ニシテ之等ノ分析的研究ニ當リ其ノ基礎的關係式ヲ簡單ニ求ムル爲次ノ如キ假定ヲ行フ、

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

即チ $Fw = Gv \dots\dots\dots (1)$

- 茲ニ F 通路ノ斷面積、
- w 斷面下ニ於ケル流體ノ平均速度、
- G 單位時間ノ流量、
- v 斷面下ニ於ケル流體ノ比容、

彈性流體 { 瓦斯 蒸發氣



連續流ノ式

通路ノ斷面積 \times 流速ノ平均速度 = 單位時間ノ流量 \times 流體ノ比容

$$F \times w = G \times v$$

變ハテ...

〔7777〕 300

(3) 流體ノ状態ヲ決定スル p, 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モノトス、

二二、彈性流體ノ一般「エネルギー」式、

今 Fig. 23 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 p_1, v_1, w_1 及 u_1 並ニ p_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

$$\left(u_1 + \frac{Aw_1^2}{2g}\right), \quad \left(u_2 + \frac{Aw_2^2}{2g}\right).$$

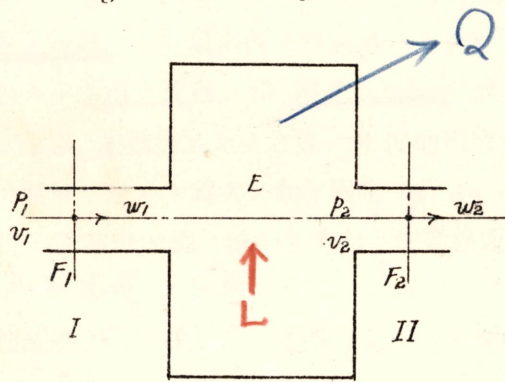


Fig 23

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レバ

- ①..... 機關ニテナサル仕事、
- ②..... 輻射、傳熱等ニ依ル外部ヘノ放熱量、

水力学 温度ヲ考慮スル
熱力学 温度ヲ考慮スル

流體 エネルギー

$$= \text{内部エネルギー} + \text{運動エネルギー}$$

	入口	出口
压力	p_1	p_2
比容	v_1	v_2
速度	w_1	w_2
内部エネルギー	u_1	u_2
断面積	F_1	F_2

$$u_1 + \frac{Aw_1^2}{2g}$$

尙断面 I = 於テ單位量ノ流體ヲ注入スル爲ニナサルル仕事ハ $\rho_1 v_1$ 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 $\rho_2 v_2$ トナルガ故ニ二断面間ニ於テ $(\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1)$ 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

$$\left(u_1 + \frac{A w_1^2}{2g}\right) - \left(u_2 + \frac{A w_2^2}{2g}\right) = AL + Q + A(\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1)$$

即チ $(u_1 + A \rho_1 v_1) - (u_2 + A \rho_2 v_2) = AL + Q + A \left[\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right] \dots (2)$

然ルニ $i = u + A p v$ ナルガ故ニ

$$i_1 - i_2 = AL + Q + A \left[\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right] \dots (3)$$

即チ含熱量 i ノ減少ハ有効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

$$AL = 0, \quad Q = 0$$

$$\therefore i_1 - i_2 = A \left[\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \right] \dots (4)$$

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

$$w_1 = 0$$

$$\therefore w_2 = \sqrt{2gJ(i_1 - i_2)}$$

$$\text{又ハ } w_2 = 91.51 \sqrt{i_1 - i_2} \text{ m/sec.} \dots (5)$$

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 (3) ニ於テ

$$w_1 = w_2, \quad Q = 0$$

$$\therefore AL = i_1 - i_2$$

又... (faint text)

示圖ノ下... (faint text)

含熱量ノ減少 = 有効仕事 + 外部ヘノ放熱量 + 運動エネルギー

$$i_1 - i_2 = AL + Q + A \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \quad \text{--- (1)}$$

斷熱流動ノ任事トナシル場合

$$i_1 - i_2 = A \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \quad \text{--- (2)}$$

$$i_1 - i_2 = AL \quad \text{--- (3)}$$

(3)

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リ此ノ含熱量ノ減少 $(i_1 - i_2)$ ヲ熱降下 (Heat drop) ト稱シ熱機關研究上重要ナル量トナル、

二三、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 Fig. 24 ニ

於テ極メテ接近セル二斷面ヲ考へ其ノ層ノ質量ヲ 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

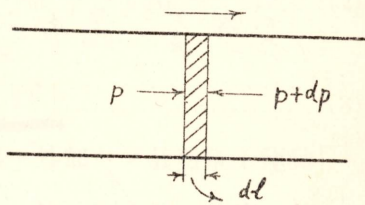


Fig. 24

F トスレバ $-Fdp$ ハ流レノ方向ニ働ク力トナル、今二斷面間ニ於ケル速度ノ増加ヲ dw トスレバ加速度ハ dw/dt トナリ力ハ $m dw/dt$ トナル、

$$\text{故ニ} \quad -Fdp = m \frac{dw}{dt}$$

流體ノ密度ヲ γ トシ二斷面間ノ間隔ヲ dl トスレバ

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

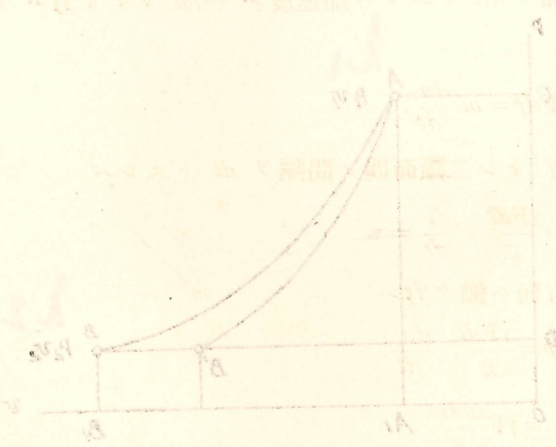
ソレ故流レノ方向ニ働ク力ハ

$$\begin{aligned} -Fdp &= \frac{\gamma F dl}{g} \frac{dw}{dt} \\ &= \gamma F \frac{w dw}{g} \end{aligned}$$

$$\therefore -dp = \gamma \frac{w dw}{g} \dots\dots\dots (6)$$

式ヲ用テシテ流入熱量ニ於テ熱降下ノ代價ハ...

果シテ...



(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、

又 $\gamma = \frac{1}{v}$

$\therefore -vdp = \gamma = \frac{1}{g} wdw = d\left(\frac{w^2}{2g}\right) \dots \dots \dots (7)$

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
合斷熱ナルヲ要セス、

今初壓 p_1 終壓 p_2 ナル二斷面間ノ變化ヲ積分スレバ

$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} vdp = h_1 - h_2 \dots \dots \dots (8)$

若シ $w_1 = 0$ ト見做シ得ル場合ハ

$\frac{w_2^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} vdp \dots \dots \dots (9)$

今 Fig. 25 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 p_2 迄壓力降下ヲナス間ノ流體ノ狀態線トセバ式

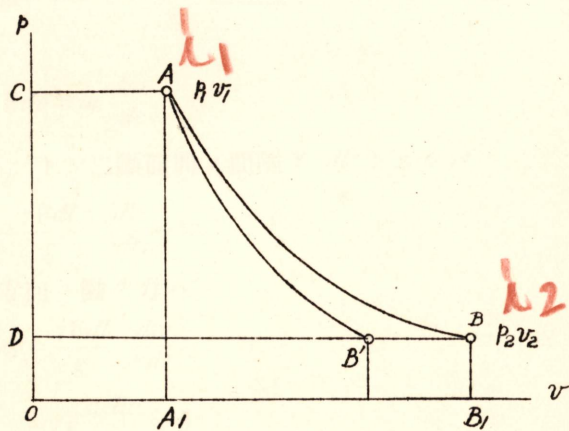
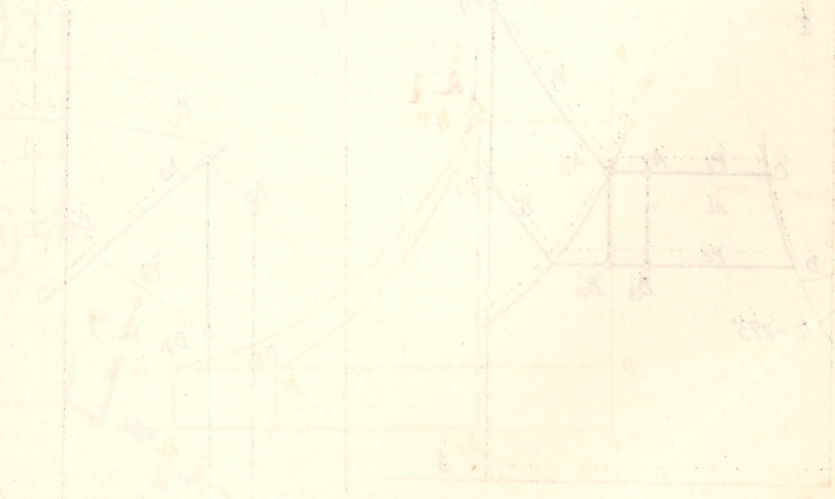


Fig. 25

[Faint, mostly illegible text from the reverse page, possibly bleed-through or bleed-through from another page.]



(9) 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」ノ增加ヲ表ハシ此ノ量ヲ壓力降下 (pressure drop) ト稱ス、

若シ流動ガ斷熱變化ナラバ狀態式ハ一般ニ

$$pv^k = \text{恒數} \dots\dots\dots \text{ヲ (10)}$$

茲ニ $k = 1.40$ (二原子瓦斯)

$= 1.035 + 0.1x$ (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 Fig. 25 ニ於テ AB' 曲線ニテ表ハサ

ル式 (10) ヨリ $pv^k = p_1 v_1^k = p_2 v_2^k = C$

故ニ式 (8) ハ又

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = \int_{p_2}^{p_1} v dp = \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) \dots\dots\dots (11)$$

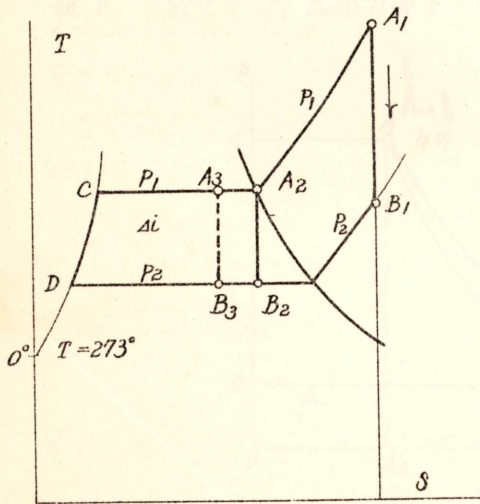


Fig. 26

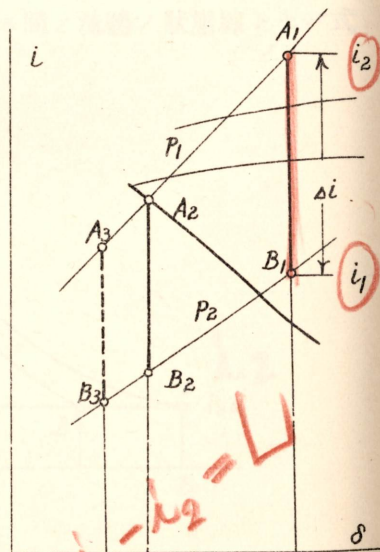


Fig. 27

流體ノ運動「エネルギー」ノ增加ヲ表ハシ此ノ量ヲ壓力降下 (pressure drop) ト稱ス、

若シ流動ガ斷熱變化ナラバ狀態式ハ一般ニ

$$pv^k = \text{恒數} \dots\dots\dots \text{ヲ (10)}$$

茲ニ $k = 1.40$ (二原子瓦斯)

$= 1.035 + 0.1x$ (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 Fig. 25 ニ於テ AB' 曲線ニテ表ハサル式 (10) ヨリ $pv^k = p_1 v_1^k = p_2 v_2^k = C$

故ニ式 (8) ハ又 $\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = \int_{p_2}^{p_1} v dp = \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_2 v_2) \dots\dots\dots (11)$

トナル、

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 Fig. 26 及 Fig. 27 ノ如シ、即チ摩擦ナキ斷熱變化ハ A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3 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 $A \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}$ ニ等シ、

二四、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レ (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状態 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' ヲ終状態トスレバ 式(4)ヨリ

摩擦ナキ場合

$$\frac{w_2^2}{2g} = \frac{w_1^2}{2g} + \frac{1}{A} (i_1 - i_2) \dots\dots\dots (12)$$

摩擦ヲ伴フ場合、

$$\frac{w_2'^2}{2g} = \frac{w_1^2}{2g} + \frac{1}{A} (i_1 - i_2') \dots\dots\dots (13)$$

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

$$Z = \frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} = \frac{1}{A} (i'_2 - i_2)$$

又ハ $AZ = i'_2 - i_2$ (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 Fig. 29 ニ於テ面積 $B_0B_1B_1'B_0'$ ヲ以テ圖示セラル、更ニ B_1' ヲリ等 i'_2 線ヲ描キ A_1 ヲ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 Fig. 28 ノ如クナリ、

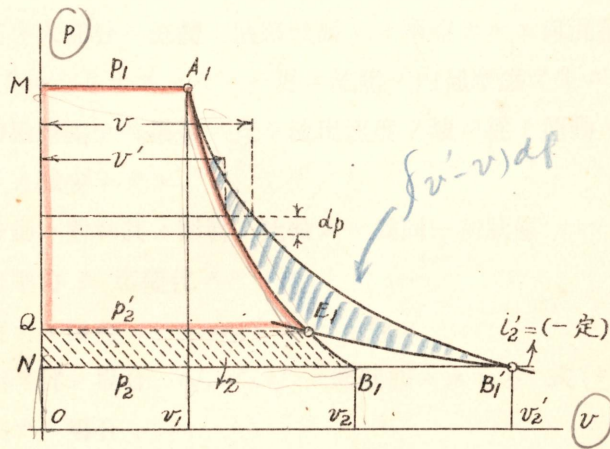


Fig. 28

$Z = \text{面積 } NQE_1B_1$

又 $i-s$ 線圖ニ於テハ Fig. 30 ノ如ク

$AZ = i'_2 - i_2$

トシテ表ハサル、

量熱計器ノ用ニ適シキハ、此ノ流體ノ、性質ニ依リテ

$i_2 - i_1 = \dots$

$A - A' = WA$

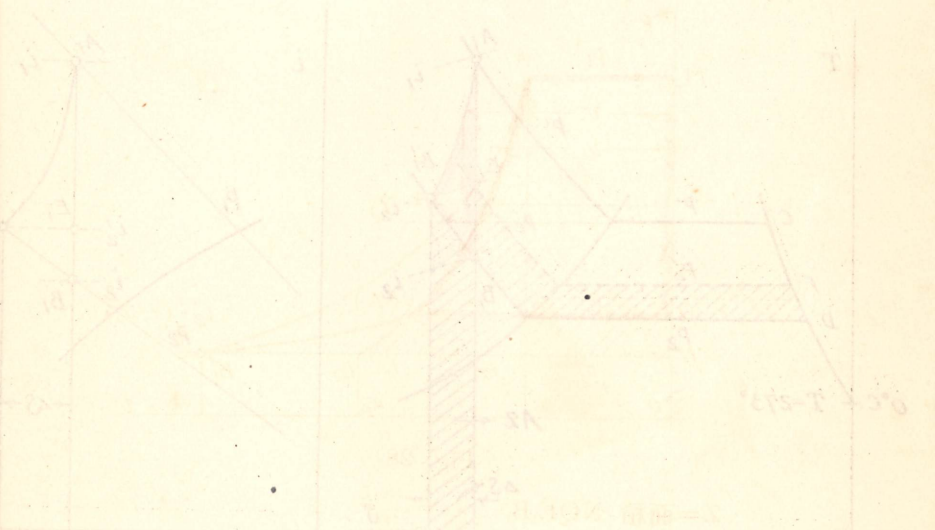
$0 = WA$

變換ノマデ、 $A - A' = 0$

外

$A - A' = WA$

(41) $A - A' = WA$



08 314

08 314

$i_2 - i_1 = \dots$

次ニ若シ實際ノ状態線 A_1B_1' フ既知トシ摩擦ニ依ル全損失熱量ヲ W トスレバ

$$AW = i'_2 - i_1 - A \int_{p_1}^{p_2} v' dp$$

摩擦ナキ場合 $AW = 0$

$\therefore 0 = i_2 - i_1 - A \int_{p_1}^{p_2} v dp$. 但シ v ハ壓力 p_2 ニ於ケル斷熱變化ニ對スル體積トス、
兩式ヨリ i_1 フ消去スレバ

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

$$= AZ + A \int_{p_2}^{p_1} (v' - v) dp \dots \dots \dots (1b)$$

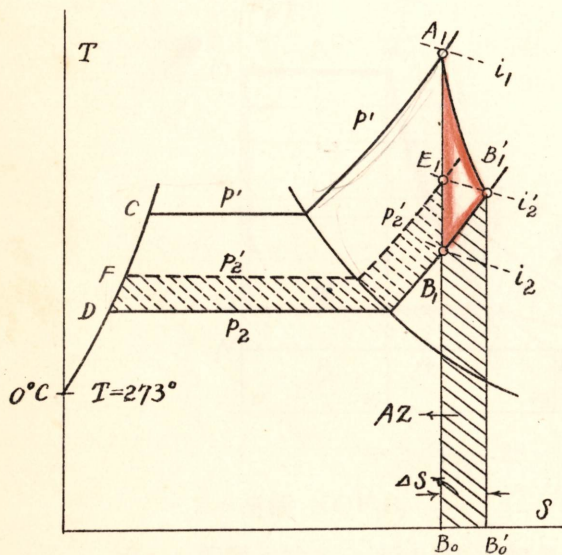


Fig. 29

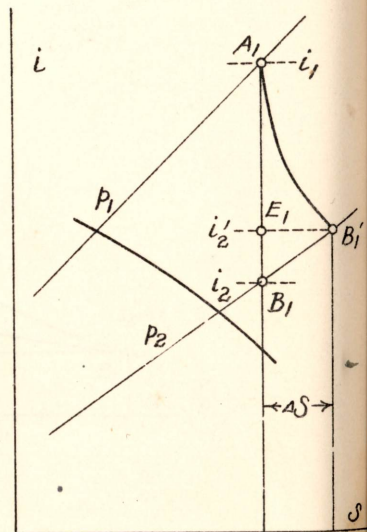
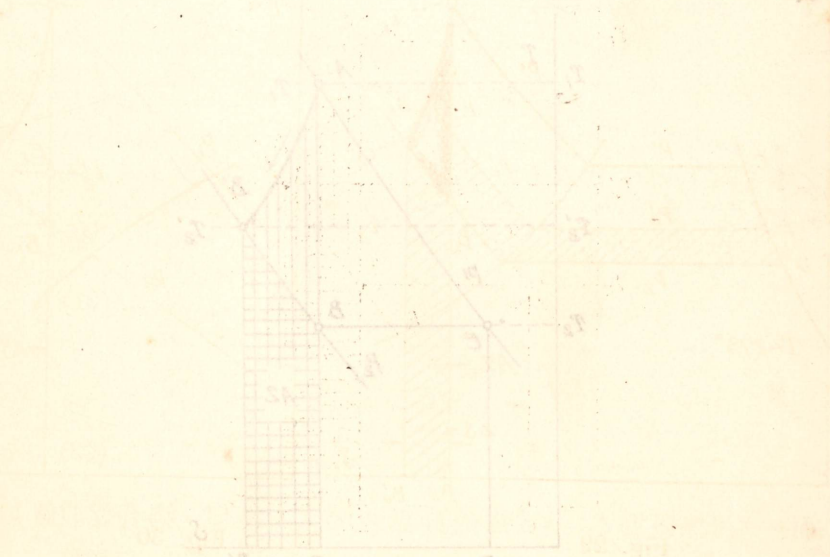


Fig. 30

此ノ式ニ於テ $\int_{p_2}^{p_1} (v' - v) dp$ ハ Fig. 28 ニ於テ面積 $A_1B_1'B_1$ ニテ

此ノ式ニ於テ $\int_{p_2}^{p_1} (v' - v) dp$ ハ Fig. 28 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 Fig. 29 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効ニ利用サレ得ルガ故ニシテ Z ハ W ヨリ面積 $A_1B_1'B_1$ 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「エントロピー」ハ

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

故ニ此ノ式ヨリ Fig. 29 ニ於ケル状態線 A_1B_1' ヲ求メ得、

瓦斯ニ對シテモ同様ニシテ摩擦ヲ伴フ斷熱膨脹線ハ Fig. 31 ニ於テ AB' トナリ摩擦失 AW ハ面積 $B_1AB'B_1'$ 運動「エネルギー」

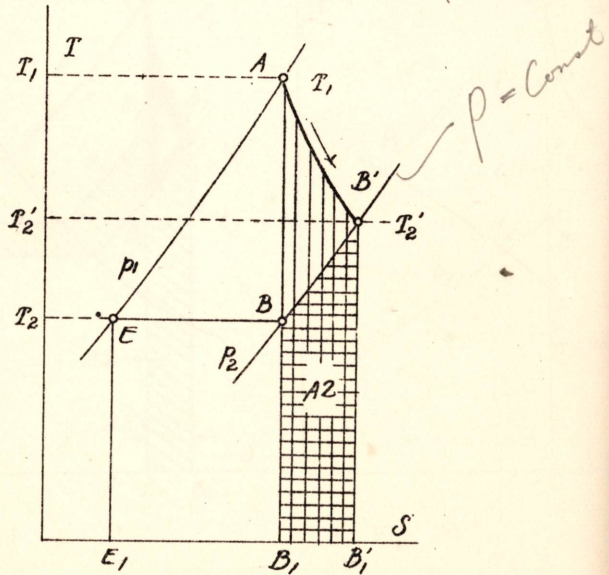


Fig. 31

Figure 31 is a thermodynamic diagram with temperature (T) on the vertical axis and entropy (S) on the horizontal axis. It shows a process line AB' and a frictionless process line AB. The area between AB and AB' is shaded and labeled A2, representing friction loss. A vertical line E1E is shown at entropy E1, with E at (E1, T2). A handwritten note 'p = Constant' is written near the process line.

又ハ有効仕事ノ減少ハ

$$AZ = i_2' - i_2 = C_p(T_2' - T_2) = \text{面積 } B_1BB_1'$$

トナリ面積 AB'B ハ全摩擦損失ノ内有効ニ利用サレ得ル熱量ヲ表ハスコトナル、

從テ摩擦ナキ斷熱膨脹流動ノ熱降下ニ對スル無効損失ノ割合ヲ

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 $i_1 - i_2 = C_p(T_1 - T_2)$ ノ關係ハ 28 頁ヲ參照スベシ、

二五、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限界速度 (Critical velocity) 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

$$S = \varphi \gamma F_0 w^n \dots\dots\dots (16)$$

茲ニ γ = 流體ノ密度、

F_0 = 流體ガ接觸スル面積、

w = 平均速度、

φ = 接觸表面ノ性質、形狀、大サニ依ル係數、

n ハ近似的ニ 2 ト看做サレ從テ

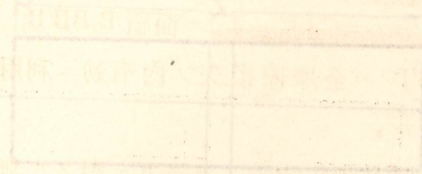
$$S = \zeta \gamma F_0 \frac{w^2}{2g} \dots\dots\dots (16')$$

此ノ ζ ヲ摩擦係數ト稱ス、

Fig. 32 ノ如ク液體ノ薄キ層 dl ヲ考フルトキ

O = 流體ニ接觸スル横斷面ノ周邊ノ長サ

トスレバ $dF_0 = Odl$



Faint, mostly illegible text and diagrams on the right page, likely bleed-through from the reverse side of the paper.

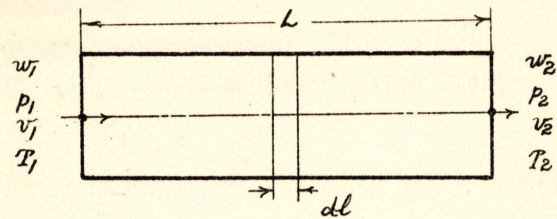


Fig. 32

從ツテ式 (16)' = 代入シテ

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

摩擦力 = 打勝ツ爲 = ナサルル仕事ハ

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

故 = 此ノ \$dl\$ ナル層 = 對スル仕事ハ式 (6) トヨリ

$$-F dp dl = \gamma F dl \frac{w dw}{g} + \zeta \gamma \frac{w^2}{2g} O dl dl$$

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

$$\text{又ハ } v dp + \frac{w dw}{g} + \frac{\zeta}{m} \frac{w^2}{2g} dl = 0 \dots \dots \dots (17)$$

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

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

斷面ガ圓ナル管ニ對シ其ノ直径ヲ \$d\$ トスレバ

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

故 = 式 (17) ハ

$$v dp + \frac{w dw}{g} + \frac{\zeta}{d} \frac{w^2}{2g} dl = 0 \dots \dots \dots (18)$$

Figure 32 is a schematic diagram of a pipe of length \$L\$. The left end is labeled with flow parameters \$w_1, p_1, v_1, T_1\$ and the right end with \$w_2, p_2, v_2, T_2\$. A differential element of length \$dl\$ is shown in the center. The text on the right page contains faint, mostly illegible handwritten notes and equations, likely bleed-through from the reverse side of the page.

今 $\zeta_r = 4\zeta$ と置キ之ヲ圓管ノ摩擦係數トセバ式 (18) ハ又

$$vdp + \frac{w}{g} \frac{dw}{d} + \frac{\zeta_r dl}{d} \frac{w^2}{2g} = 0 \dots\dots\dots (19)$$

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 (19) ニ於テ $dw = 0$ ト看做セバ

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

$v = w = \text{const}$

近似的ニ w, v ヲ一定トシテ積分スレバ

$$p_1 - p_2 = \zeta_r \frac{L}{vd} \frac{w^2}{2g} \dots\dots\dots (20)$$

尙連續流レノ條件ヨリ

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

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

之等ヲ式 (19) ニ代入スレバ

$$\begin{aligned} \Delta p = p_1 - p_2 &= \frac{I}{2g(0.785)^2} \zeta_r \frac{G^2}{d^5} vL \\ &= 0.0828 \zeta_r \frac{G^2}{d^5} vL \dots\dots\dots (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又ハ } \Delta p = p_1 - p_2 &= \frac{I}{2g(0.785)} \zeta_r \frac{G}{d^3} wL \\ &= 0.065 \zeta_r \frac{G}{d^3} wL \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

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

$$\zeta_r = 0.02$$

其ノ計算式ハ内管ノ摩擦係數 ζ_r (19) 式ニテ求メテ
之ヲ式 (20) 式ニ代入シテ之ヲ計算スルニ付
式 (21) 式ニテ計算スルニ付
式 (22) 式ニテ計算スルニ付
式 (21) 式ニテ計算スルニ付
式 (22) 式ニテ計算スルニ付

$$\Delta p = \zeta_r \frac{L}{vd} \frac{w^2}{2g}$$

G: 單位時間・流量

ヲ採用セラレ式 (21) (22) ハ普通近似的ニ蒸氣管内ノ壓力降下及
 G, d, w, v, L ノ間ノ關係ヲ表ハス式トシテ一般ニ用キラル、

[例題]

蒸氣管長 30 m. 毎時ノ移送蒸氣量 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、

$$\left. \begin{array}{l} p = 20 \\ x = 0.98 \end{array} \right\} \therefore v_1 = 0.1$$

$$G = \frac{48,000}{3600} = 13.3 \text{ kg/sec}$$

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{G \cdot v_1}{w} = \frac{13.3 \times 0.1}{25}$$

$$= \frac{1.33}{25} = 0.0532$$

$$\therefore d = \left(\frac{0.0532}{0.785} \right)^{\frac{1}{2}} = (0.678)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.26 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0.065 \times 0.02 \times \frac{13.3}{(0.26)^3} \times 25 \times 30$$

$$= 6.5 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-2} \times \frac{13.3}{(2.6 \times 10^{-1})^3} \times 7.5 \times 10^2$$

$$= 13 \times 10^{-2} \times 7.5 \times \frac{13.3}{17.6 \times 10^{-3}}$$

$$= \frac{97.5 \times 133}{17.6} = 5.55 \times 133$$

$$= 7.39 \times 10^2 = 0.0739 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{or } \underline{\underline{0.0737 \times \text{kg/cm}^2}}$$

蒸氣管長 30 m 毎時、移送蒸氣量 20,000 kg
 壓力 16.5 at, 温度 320°C 速度 25 m/sec 毎時
 必要管徑及壓力降下ヲ求、但シ速度、變化
 ハ少キモノトス

$$\text{蒸氣表の } v_1 = 0.163 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$G = \frac{20,000}{3600} = 5.56 \text{ kg/sec}$$

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{G \cdot v_1}{w} = \frac{5.56 \times 0.163}{25}$$

$$= 0.0362 \text{ m}^2$$

$$\therefore d = \left(\frac{0.0362}{0.785} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.215 \text{ m}$$

$$\Delta p = 0.065 \times 0.02 \times \frac{5.56}{(0.215)^3} \times 25 \times 30$$

$$= 0.054 \times 10^4 \text{ kg/m}^2 = 0.054 \text{ kg/cm}^2$$

第七章

「絞リ」過程ニ於ケル状態變化

二六、「絞リ」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瓦斯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壓力低下ヲ一般ニ「絞リ」(又ハ絞氣)(Throttling or Wire drawing)ノ過程ト稱ス、

「絞リ」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狭断面ノ比較的ノ大サ、流路内ノ速度等ニ依リ變化ス、

今此ノ過程ヲ簡單ニ示ス爲 Fig. 33 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「絞リ」過程中外部ニ對ス

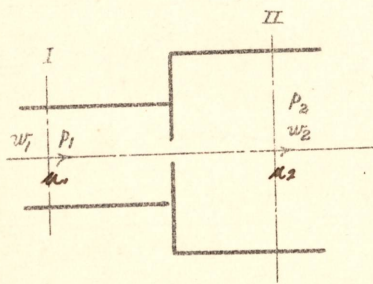


Fig. 33

「絞リ」過程ニ於ケル含熱量ノ不變、

$$(1) \dots \dots \dots \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \dots \dots \dots$$

「絞リ」過程ニ於ケル含熱量ノ不變、

$$(2) \dots \dots \dots \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \dots \dots \dots$$

「絞リ」過程ニ於ケル含熱量ノ不變、

$$(3) \dots \dots \dots \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \dots \dots \dots$$

「絞リ」過程ニ於ケル含熱量ノ不變、

$$(4) \dots \dots \dots \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \dots \dots \dots$$

「絞リ」過程ニ於ケル含熱量ノ不變、

$$(5) \dots \dots \dots \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \dots \dots \dots$$

「絞リ」過程ニ於ケル含熱量ノ不變、

$$(6) \dots \dots \dots \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \dots \dots \dots$$

「絞リ」過程ニ於ケル含熱量ノ不變、

ル機械の仕事及熱ノ出入ナキモノト考へ得ル故一般「エネルギー」式 [62 頁式(3)] = 於テ $AL=0, Q=0$. ト置ケバ結局 [62 頁式(4)] トナリ

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

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「絞リ」ノ場合運動ノ「エネルギー」ノ變化ハ實際ニハ微量ナル故其ノ影響ヲ閑却スレバ簡單ニ

$$i_1 = i_2 \dots \dots \dots (2)$$

トナリ之「絞リ」過程ニ對スル一般式ナリトス、
尙既ニ Joule-Thomson 冷却効果ノ項ニ於テ説明セルガ如ク一般ニ流體ノ特性式ヲ知レバ其ノ壓力降下ニ依ル溫度變化即「絞リ」効果ハ

$$dT = \frac{A}{C_p} \left[T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p - v \right] dp$$

ナル關係ニテ表ハサレ只完全瓦斯ニ對シテハ「絞リ」ニ依リ如何ニ壓力低下スルモ溫度不變ナルコトヲ知ル、尙蒸發氣ノ場合ニ對シテハ

(I) 過熱蒸發氣ノ「絞リ」
一般ニ過熱蒸發氣ノ斷熱膨脹ノ式ハ
 $p v^k = \text{恒數}$ (蒸氣ノ場合 $k=1.30$)
トシテ表ハサレ同様ナル關係ハ又限ラレタル範圍内ニ於テ他ノ蒸發氣例ヘバ NH_3, CO_2 等ニモ適用セラル、
尙含熱量ノ變化ニ依リナサルル仕事ハ [65 頁式(11)] ヨリ

$$i_1 - i_0 = \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_0 v_0)$$
$$i_2 - i_0 = \frac{k}{k-1} (p_2 v_2 - p_0 v_0)$$

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

$$AL = 0 \quad Q = 0$$

$$\therefore i_1 - i_2 = \frac{A(w_2^2 - w_1^2)}{2g}$$

「絞リ」ノ場合 → 運動energyノ變化微量

$$\therefore i_1 = i_2$$

完全及斯、如何ニ絞リヲ降下セシムルモ溫度不變ナリ。

過熱蒸氣ノ斷熱膨脹式

$$p v^k = \text{Const} \quad (k=1.3)$$

含熱量ノ變化ニ依リテナルニ任ズ

$$i_1 - i_0 = \frac{k}{k-1} (p_1 v_1 - p_0 v_0)$$

$$\therefore p_1 v_1 = p_0 v_0$$

P53
 $i_m = i' + Xr$
 $q_m = q' + Xr$

但シ i_0 ハ標準状態ニ對スルモノトス、

$i_1 = i_2$ ナル關係ヨリ

$p_1 v_1 = p_2 v_2$ (3)

即「絞リ」ニ依リテ壓力ト體積トノ積ハ變化セザルコトヲ知ル、

(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 $i_m = q_m = q' + Xr$.

茲ニ q_m ハ全熱量トス

ト看做サルルガ故ニ「絞リ」過程ニ對シ

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

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

二七、「絞リ」ニ依ル有効「エネルギー」ノ損失、

「絞リ」過程ニ於テ含熱量ニ變化ナキコトヨリ T-s 線圖ヨリ初状態 p_1, T_1 ト「絞リ」後ノ壓力 p_2 トヲ知レバ Fig. 34 ニ示ス如ク等 i 線上ニ容易ニ終状態 B ハ定決セラレ Mollier 線圖ニ於テハ Fig. 35 ノ如ク兩状態點ハ同一水平線上 AB ノ如ク表ハサレ其ノ爲ノ「エントロピー」ノ増加ハ $D_1 C_1$ トナル、從テ「絞リ」過程ハ非可逆過程ニシテ常ニ有効「エネルギー」ノ損失ヲ伴フコトヲ知ル、

今若シ利用シ得ル最低温度ヲ T_0 、其ノ温度ニ對應スル壓力ヲ p_0 トスレバ有効「エネルギー」ノ損失ハ「エントロピー」ノ増加

濕潤蒸發氣「絞リ」

乾度高キ場合

$i_m = q_m = q' + Xr$

q' : 液ノ含熱量
 r : 蒸發潛熱

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

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

- 初状態ノ乾度 x_1
 - 初状態ノ壓力 p_1
 - 終状態ノ壓力 p_2
- } \rightarrow 知レバ

「絞リ」後ノ乾度 x_2 ヲ求メ得

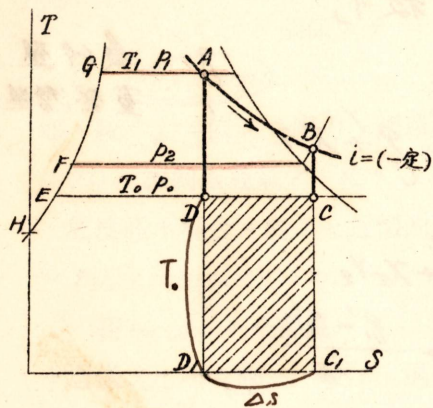


Fig. 34

Δs ナルトキ Fig. 34 ニ於テ

$$\Delta s \cdot T_0 = \text{面積 } D_1 D C C_1$$

又 Fig. 35 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「タルビン」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、

二八、「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ント後ノ容器内ノ蒸氣ハ Fig. 34, 35 ニ於ケル B 點ノ如ク過熱状態

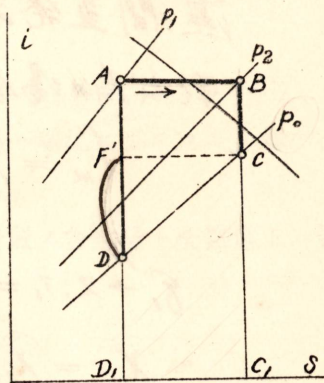


Fig. 35

トナル過熱蒸氣ノ含熱量 i ハ容器内ノ溫度ト壓力トヲ實測セバ蒸氣表ヨリ直ニ求メ得、尙測定セントスル蒸氣ノ乾度ヲ x , 含熱量ヲ i_m トスレバ

$$i = i_m = i_1'' - (1-x)r_1 \quad i_1'' = \text{圧力 } P \text{ 乾燥飽和蒸氣含熱量}$$

$$\therefore x = 1 - \frac{i_1'' - i}{r_1}$$

一般ニ蒸氣壓力ハ容易ニ實測シ得ルヲ以テ其ノ壓力ニ對スル i_1'' , r_1 ヲ蒸氣表ヨリ求ムレバ x ハ容易ニ算定スルコトヲ得、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、即チ實測ニ依リ決メラレタル「絞リ」後ノ過熱蒸氣狀態點ヲ B 點 (Fig. 35) ノ如ク記入シ B ヨリ水平線即チ等 i 線 BA 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「絞リ」「カロリメーター」ト稱ス、

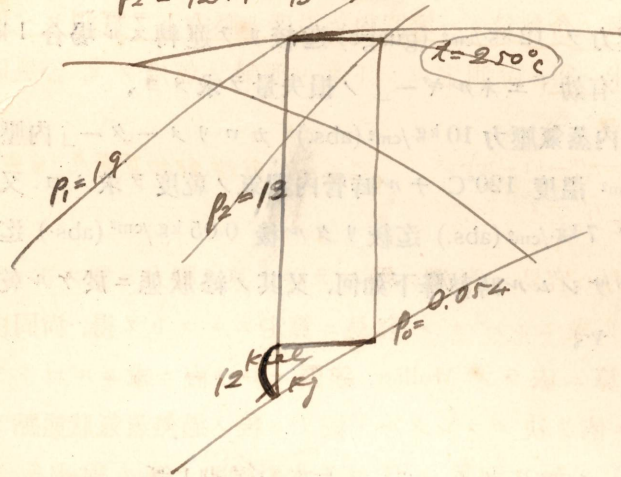
[附]

一般ニ蒸氣ノ性狀測定ニ當リ其ノ壓力ノ測定ハ容易ナルヲ以テ之ヲ知ラバ蒸氣表ヲ用フルコトニ依リ乾燥飽和蒸氣ニ對シテハ他ノスベテノ性質ヲ知ルコトヲ得、若シ過熱蒸氣ナラバ更ニ溫度ノ測定ニ依リ諸性質ハ求メラル、濕潤蒸氣ナラバ壓力ノ外ニ乾度ヲ求ムルコトニ依リ諸性質ハ簡單ニ決定セラル、故ニ一般ニ蒸氣ノ「性狀」(Quality) ナル語ハ過熱蒸氣ニ對シテハ過熱溫度、濕潤蒸氣ニ對シテハ乾度ノ謂ニ用ヒラルルヲ普通トス、

[例題]

1. 「タルビン」主機械主蒸氣管ノ壓力 18 kg/cm^2 (guage). 溫度 250°C 復水器真空 $72 \text{ cm. (mercury.)}$ ナルトキ操縦弁ニ依リ

$$1. \quad p_1 = 18 + 1 = 19 \text{ kg/cm}^2 \text{ (abs)} \\ t = 250^\circ\text{C} \\ p_0 = \frac{76 - 72}{76} \times 1.033 = 0.054 \text{ kg/cm}^2 \\ p_2 = 12 + 1 = 13 \text{ kg/cm}^2$$



乾燥飽和蒸氣

壓力

濕潤蒸氣

壓力、乾度

過熱蒸氣

壓力、溫度

蒸氣室壓力ヲ 12 kg/cm^2 (guage) 迄絞リテ運轉スル場合 1 kg .

ノ蒸氣ノ有効「エネルギー」ノ損失量ヲ求メヨ、

2. 蒸氣管内蒸氣壓力 10 kg/cm^2 (abs.) 「カロリメーター」内壓力

1.15 kg/cm^2 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/cm^2 (abs.) 迄絞リタル後 0.05 kg/cm^2 (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、

guage + 1 = abs.

$$2. \quad \left. \begin{array}{l} p_1 = 10 \text{ kg/cm}^2 \\ p_0 = 1.15 \text{ kg/cm}^2 \\ T_0 = 120^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{過熱蒸氣、含熱量} \\ i = 648 \text{ kcal/kg} \end{array}$$

$$x = 1 - \frac{i_1'' - i_1'}{\gamma_1}$$

$$p_1 = 10 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \begin{array}{l} i_1'' = 665 \text{ kcal/kg} \\ \gamma_1 = 483 \text{ kcal/kg} \end{array}$$

$$\therefore x = 1 - \frac{665 - 648}{483} = 1 - 0.035 \\ = 0.965 \quad \underline{\underline{96.5\%}}$$

$$i_1 - i_2 = 665 - 648 = \underline{\underline{17 \text{ kcal/kg}}}$$

熱力學ニ於ケル重要關係式

單位ニ對スル注意 物理學ニ於ケル慣用單位ト工業單位トノ差異ニ注意スベシ、

	物 理 學	工 業 熱 力 學
單位質量	1 瓦	1 珎
一モル	1 瓦分子	1 珎分子
單位容積	1 立方糎	1 立方米
比容積	1 瓦ノ容積(cm ³)	1 珎ノ容積(m ³)
密 度	[ρ]=瓦/糎 ³	[γ]=珎/米 ³
仕 事	erg	kgm
熱 量	cal	kcal
比 熱	cal/gr.deg	kcal/kg.deg

1. 完全氣體 氣體ノ比容積ヲ v 、一モルノ容積ヲ V トスレバ其ノ狀態方程式ハ

物 理 學	工 業 熱 力 學
$pv = rT$	$pV = RT$ (單位質量)
$pV = \mathfrak{R}T$	$pV = \mathfrak{R}T$ (一モル)

單位質量ニ對スル式ニ於テハ R ハ r ノ 10^3 倍ナリ、一モルニ對スル式ニ於テモ \mathfrak{R} ハ R ノ 10^3 倍ナリ、分子量ヲ m トスレバ:

圧力	T	i''	γ
10	452	664.4	483.1
2	392.6	646.9	

始メノ狀態ニ於ケルエンタル i'' 、乾分ノ χ

$$181.3 + 483.1\chi = i$$

後ノ狀態ニ於ケルエンタル i' 、

$$i' = 646.9 + \int_{T_1}^{T_2} \left\{ 0.34 + \frac{2}{10^6} T - \frac{13}{T-256} \right\} dT$$

$$A = \left[0.34T + \frac{T^2}{10^6} - 13 \log(T-256) \right]_{392.6}^{452}$$

$$= \{ 5.2 + 1.2 - 13 \log(152 - \log 137) \}$$

$$= \{ 5.2 + 1.2 - 13(5.03 - 4.93) \}$$

$$= 652.0$$

$$i' = 652$$

$$\therefore 181.3 + 483.1\chi = 652$$

$$\therefore \chi = 99.5\%$$

物 理 學	工 業 熱 力 學
$R = mr$ (氣體常數)	$\mathfrak{R} = mR$ (一般瓦斯恒數)
$= 8.314 \times 10^7 \text{ erg/deg}$	$(= 8.314 \times 10^{10} \text{ erg/deg})$
$(= 848 \times 10^2 \text{ grcm/deg})$	$= 848 \text{ kgm/deg}$
$= 1.9865 \text{ cal/deg}$	$= 1.9865 \text{ kcal/deg}$

注意 R 及 \mathfrak{R} ハ夫々 round number ト補正ノ項トニ分ケテ扱ヘバ便ナリ、

$$R = 2(1 - 0.0068) \text{ cal/deg} \quad \mathfrak{R} = 2(1 - 0.0068) \text{ kcal/deg}$$

$$r = \frac{R}{m} \text{ (比氣體常數)} \quad R = \frac{\mathfrak{R}}{m} \text{ (瓦斯恒數)}$$

注意 之等ノ常數ハ物理量ナレバ單ナル數値ニ非ズ、其ノ數値ハ單位ノ取方ニ依リテ變ルモノナリ、サレド以下ノ諸式ニ於テハ便宜上一般瓦斯恒數ハ重力單位ニ基キ $\mathfrak{R} = 848 \text{ kgm/deg}$ トシ之ヲ kcal/deg ニテ表ハス場合ニハ $A\mathfrak{R}$ トナス、瓦斯恒數 R モ之ニ倣フ、

$$A = \frac{1}{427} \frac{\text{kcal}}{\text{kgm}}$$

同溫同壓ノ下ニアル總テノ氣體ニ就イテ V ハ相等シ、

$$\begin{array}{l|l} V = 22.4135 \text{ 立} & V = 22.4 \text{ 米}^3 \text{ (標準狀態)} \\ v = \frac{V}{m} & v = \frac{V}{m} \\ = \frac{22.4135}{m} \text{ 立/瓦} & = \frac{22.4}{m} \text{ 米}^3/\text{厨} \text{ (標準狀態)} \end{array}$$

2. 第一法則 内部「エネルギー」 U 及狀態變化ノ際吸收スル熱量 dQ ヲ kcal ヲ以テ量リ外部仕事 $p dv$ ノ單位ヲ kgm トスレバ

$$dU + A p dv = dQ$$

注意 内部「エネルギー」熱量、仕事ハ同一單位ヲ以テ量ラルベキ物理量ナルモ工業熱力學ニ於テハ便宜上特殊ナ單位ヲ別々ニエラフ、之等ノ量ニ共通ナル同一單位ヲトル時ハ以下ノ諸式テ $A=1$ トオクベシ、

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial U}{\partial v}\right)_T dv$$

等積變化 ($dv=0$) ノ比熱:

$$c_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v$$

等壓變化 ($dp=0$) ノ比熱:

$$\begin{aligned} c_p &= \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p + A p \frac{dv}{dT} \\ &= \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v + \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial v}\right)_T + A p \right\} \frac{dv}{dT} \end{aligned}$$

$$\therefore c_p - c_v = \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial v}\right)_T + A p \right\} \frac{dv}{dT}$$

3. **完全氣體**ニハ $p v = RT$. $\left(\frac{\partial U}{\partial v}\right)_T = 0$,

$$dU = c_v dT,$$

$$c_p - c_v = AR \quad (\text{單位質量})$$

$$C_p - C_v = AR \quad (\text{一モル})$$

$$C_p = m c_p, \quad C_v = m c_v$$

$$\frac{c_p}{c_v} = \gamma = 1 + \frac{2}{f} \quad (f: \text{分子ノ自由度})$$

$$c_v = \frac{AR}{\gamma - 1} = \frac{f}{2} AR$$

$$c_p = \frac{\gamma AR}{\gamma - 1} = \left(\frac{f}{2} + 1\right) R$$

等温變化 ($v_1 \rightarrow v_2$) デ爲サレル (外部) 仕事:

$$W = RT \log_e \frac{v_2}{v_1}$$

断熱變化 ($v_1, T_1 \rightarrow v_2, T_2$) デ爲サレル (外部) 仕事:

$$W = \frac{c_v}{A} (T_1 - T_2) = \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{\gamma - 1} = \frac{p_1 v_1}{\gamma - 1} \left\{ 1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\gamma-1} \right\}$$

4. 第二法則 v, T ヲ獨立變數ニトリ Entropy ヲ S トスレバ

$$\frac{dU + A p dv}{T} = \frac{dQ}{T} = dS$$

或ハ
$$dS = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v dT + \frac{1}{T} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial v} \right)_T + A p \right\} dv$$

且
$$\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\partial S}{\partial v} \right) = \frac{\partial}{\partial v} \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)$$

$$\therefore \left\{ \left(\frac{\partial S}{\partial v} \right)_T = \frac{1}{T} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial v} \right)_T + A p \right\} = A \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \right.$$

$$\left. \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_v = \frac{1}{T} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v = \frac{c_v}{T} \right.$$

$$A \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \frac{1}{T} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial v} \right)_T + A p \right\}$$

$$\therefore \frac{\partial c_v}{\partial v} = A T \frac{\partial^2 p}{\partial T^2}$$

$$c_p - c_v = A T \frac{\partial p}{\partial T} \frac{\partial v}{\partial T}$$

之ヨリ
$$dU = c_v dT + A \left\{ T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \right\} dv$$

$$dS = \frac{1}{T} \left\{ c_v dT + A T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v dv \right\}$$

5. 第二法則 (續キ) p, T ヲ獨立變數ニトルト

$$dS = \frac{1}{T} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_p + A p \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right\} dT + \frac{1}{T} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial p} \right)_T + A p \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \right\} dp$$

且
$$\frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right) = \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\partial S}{\partial p} \right)$$

$$\therefore \left\{ \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{T} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_p + A p \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right\} = \frac{c_p}{T} \right.$$

$$\left. \left(\frac{\partial S}{\partial p} \right)_T = \frac{1}{T} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial p} \right)_T + A p \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \right\} = -A \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right.$$

$$A \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = -\frac{1}{T} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial p} \right)_T + A p \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \right\}$$

$$\therefore \frac{\partial c_p}{\partial p} = -AT \frac{\partial^2 v}{\partial T^2}$$

$$\frac{\partial c_v}{\partial T} = AT \frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \quad (\text{第四節參照})$$

$$\text{之ヨリ} \quad dS = \frac{1}{T} \left\{ c_p dT - AT \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp \right\}$$

6. Entalpy ヲ $i = U + A p v$ トスレバ

等壓變化 ($dp=0$) テハ

$$di = dU + A p dv = dQ$$

等積變化 ($dv=0$) ノ時ハ之ニ對應スル式トシテ

$$dU = dQ$$

次下 i 及 U ニ關スルモノヲ對照シテ記セバ

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial i}{\partial T} \right)_p = c_p, \quad \left(\frac{\partial i}{\partial p} \right)_T &= -A \left\{ T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p - v \right\} \\ &= -AT^2 \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{v}{T} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v = c_v, \quad \left(\frac{\partial U}{\partial v} \right)_T &= A \left\{ T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \right\} \\ &= AT^2 \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{p}{T} \right) \end{aligned}$$

$$\text{之ヨリ} \quad di = c_p dT - A \left\{ T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p - v \right\} dp$$

物體系ノ状態變化 ($1 \rightarrow 2$) ニ際シテ吸收スル熱 (變態熱, 潜熱, 溶解熱, 反應熱等) ヲ一瓦分子ニ就キ Q トスレバ

$$Q = i_2 - i_1 \quad (\text{等壓變化})$$

$$Q = U_2 - U_1 \quad (\text{等積變化})$$

之等ノ反應熱ガ溫度 1 度ノ上昇ニ際シテ増加スル割合ハ

$$\left(\frac{dQ}{dT}\right)_p = \left(\frac{\partial i_2}{\partial T}\right)_p - \left(\frac{\partial i_1}{\partial T}\right)_p = (C_p)_2 - (C_p)_1$$

$$\left(\frac{dQ}{dT}\right)_v = \left(\frac{\partial U_2}{\partial T}\right)_v - \left(\frac{\partial U_1}{\partial T}\right)_v = (C_v)_2 - (C_v)_1$$

7. Joule-Thomson ノ實驗、

$$di = \left(\frac{\partial i}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T dp = 0$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_i = \mu = -\frac{1}{c_p} \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_T + A \frac{\partial}{\partial p}(pv) \right\}$$

$$= \frac{A}{c_p} \left\{ T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p - v \right\}$$

$$= A \frac{T^2}{c_p} \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{v}{T} \right)$$

8. van der Waals ノ式:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v-b) = RT$$

ニ從フ氣體デハ

$$\left(\frac{\partial U}{\partial v}\right)_T = A \left\{ T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v - p \right\} = A \frac{a}{v^2}$$

$$\frac{\partial c_v}{\partial v} = AT \frac{\partial^2 p}{\partial T^2} = 0$$

$$\therefore dU = c_v dT + A \frac{a}{v^2} dv$$

及

$$dS = \frac{c_v}{T} dT + AR \frac{dv}{v-b}$$

c_v ガ溫度ニ依ラズ一定ナル場合ニハ

$$U = c_v T - A \frac{a}{v} + \text{const}$$

$$S = c_v \log T + AR \log (v-b) + \text{const}$$

$$= c_v \log \left(p + \frac{a}{v^2} \right) + c_p \log (v-b) + \text{const}$$

斷熱變化ノ時 $dS=0$

$$S = \text{const}$$

$$\therefore T(v-b)^{\gamma-1} = \text{const}$$

或ハ $\left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v-b)^{\gamma} = \text{const}$

以上ノ式デ $a=0, b=0$ トスレバ完全氣體ノ場合ニナル、

9. 半完全氣體 ノ定容及定積比熱ヲ夫々近似的ニ

$$c_v = a_v + bT, \quad c_p = a_p + bT \quad \text{トスレバ}$$

$$dU = c_v dT$$

$$U = a_v T + \frac{1}{2} b T^2 + \text{const}$$

$$dS = a_v \frac{dT}{T} + b dT + AR \frac{dv}{v}$$

$$S = a_v \log T + bT + AR \log v + \text{const}$$

$$= a_v \log p e^{\frac{b}{a_v} T} + a_p \log v + \text{const}$$

斷熱變化デハ $S = \text{const}$

$$\therefore T e^{\frac{b}{a_v} T} v^{\gamma-1} = \text{const}$$

或ハ $p e^{\frac{b}{a_v} T} v^{\gamma} = \text{const}$

但シ $\gamma = \frac{a_p}{a_v}$

以上ノ式デ $b=0, a_v=c_v, a_p=c_p$ トオケバ完全氣體ノ場合ニナル、
 コノ場合ノ b ト van der Waals ノ式ニ於ケル b トヲ混同スベカラズ、

10. 蒸發 氣相及液相ノ單位質量ニ就イテノ Entropy. 内部
「エネルギー」及比容積ヲ夫々 $s_1, s_2; u_1, u_2; v_1, v_2$ トシ蒸發熱ヲ
 r トスレバ

$$s_1 - s_2 = \frac{r}{T}$$

$$r = T(s_1 - s_2)$$

$$= u_1 - u_2 + A p(v_1 - v_2)$$

$$= i_1 - i_2$$

$$\therefore s_1 - s_2 = \frac{i_1 - i_2}{T} = \frac{u_1 - u_2 + A p(v_1 - v_2)}{T}$$

及 $A p(v_1 - v_2) = -(u_1 - u_2) + T(s_1 - s_2)$

Clausius-Clapeyron ノ式 飽和蒸氣壓ヲ p_s トスレバ

$$AT \frac{dp_s}{dT}(v_1 - v_2) = r$$

氣相及液相ノ比熱ヲ夫々 c_{p1}, c_{p2} トスレバ

$$\frac{dr}{dT} = c_{p1} - c_{p2} + \frac{r}{T} - \frac{r}{v_1 - v_2} \left\{ \left(\frac{\partial v_1}{\partial T} \right)_p - \left(\frac{\partial v_2}{\partial T} \right)_p \right\}$$

飽和蒸氣ノ比熱ヲ h トスレバ

$$h = c_{p2} + \frac{dr}{dT} - \frac{r}{T}$$

第四十七期生徒
 上村 嵐

整理号	
寄贈者名	上村 嵐
贈日 年月	40.5.24
巻	2170