

應用熱力學教科書

海軍機關學校

第三學年

昭和十四年九月





昭和十四年九月

海軍機關學校長 平岡 礪

本書ニ依リ應用熱力學ヲ修得スヘシ



参考書

熱力学と熱機関の理論

工業熱力学

蒸気及びガスエンジン

2-1-1 工業熱力学

少中時

① 機械工学便覧

2. 電気工学

3. 燃料

機械学会誌

電気学会誌

機械学会

電気学会

大賀忠二

菅原菅雄

大賀忠二

沿革

第九版	昭和十四年九月	海軍機關少佐	目黑孝清	改訂増補
第八版	昭和十年五月	海軍機關大尉	肥後武雄	改訂増補
第七版	昭和八年十一月	海軍機關少佐	浦野角造	大増補ヲ行フ 改訂シ内容ノ改訂 書ヲ應用熱力学ト 物理學ニ編入シ本 熱力学基礎理論ヲ
第六版	昭和三年三月	海軍教授	佐野慶造	卷一二、三分ッ
第五版	大正十三年二月	海軍機關少佐	石川謙	改訂増補
第四版	大正十一年八月	海軍機關中佐	金谷三松	「タリビン」機 械卷ノ二合本
第三版	大正十一年五月	海軍機關少佐	尾田輝太郎	改訂増補
第二版	大正六年一月	海軍機關少佐	稻田輝太郎	改訂増補
第一版	大正三年一月	海軍機關中佐	重村義一	編纂



# 應用熱力學

## 目次

緒言	1
第一章 一般蒸發氣ノ性質	2
一、總說	2
二、飽和液	4
三、蒸發過程ニ於ケル「エルネルギー」ノ變化	5
四、飽和蒸發氣	9
五、飽和蒸發氣ノ狀態變化	10
六、過熱蒸發氣	11
七、過熱液ト過飽和蒸發氣	12
第二章 蒸氣ノ性質	15
八、蒸氣表	15
九、乾燥飽和蒸氣	16
一〇、蒸發ニ要スル熱量	17
一一、過熱蒸氣	20
一二、蒸氣ノ「エントロピ」	22
第三章 蒸發氣ノ狀態變化ト蒸氣線圖	26
一三、限界狀態	26







# 應用熱力學

## 緒言

熱機關ハ與ヘラレタル熱ヨリ人工的ニ而モ經濟的ニ原動力ヲ得  
ントスルモノニシテ James watt. ノ蒸氣機關ヲ以テ嚆矢トスルモ  
此ノ熱機關ノ發達ハ十九世紀ニ於ケル産業革命ノ渦卷トナリ現代  
機械文明ノ激浪ヲ卷起スニ至レリ、

熱力學ハ熱量ト夫レヨリ變化シ得ル機械的仕事量トノ關係ヲ論  
ズル學科ニシテ熱機關理論ヲ基礎ヅケ併セテ殘サレタル進歩改良  
ノ餘地ヲ示ス唯一ノ指針ナリ、

諸子ハ既ニ物理學ニ於テ熱力學ノ原論ヲ學ビ熱ト機械的仕事ト  
ノ間ノ根本原理ヲ研究セリ、本書ニ於テハ實際熱機關ニ使用サレ  
熱「エネルギー」ヲ機械的「エネルギー」ニ轉換ノ媒介ヲ爲ス作  
業物質ノ性質ヲ講究セントスルモノナレド作業物質中最モ重要ナ  
ル蒸氣Steamノ性質ニ重點ヲ置キ其ノ他ノ作業物質ノ性質ハ多少添加ス  
ルニ止メタリ、



# 第一章

## 一般蒸發氣ノ性質

Vapor.  
蒸汽 Steam.

### 一、總說、

定壓下ノ液ヲ加熱スル時ハ液ノ溫度ハ漸次上昇シ同時ニ液ノ體積ハ一般ニ増加ス、然レ共コノ溫度上昇ニハ限度アリテ液ノ性質ト外壓ノ大サニヨリ定マルモノナリ、例ヘバ純粹ノ水ヲ大氣壓即チ 1.033 kg/cm<sup>2</sup> abs 水銀柱 760 m.m. ノ壓力ノ下ニ加熱スル時ハ其ノ溫度ハ 100°C マデ上昇シ液體ノ狀態ニテハコレ以上溫度上昇スルコトナシ、此ノ溫度ヲ其ノ壓力ニ對スル飽和溫度ト云ヒ此ノ

飽和溫度

溫度下ニ於ケル液體ヲ飽和液ト云フ、此ノ飽和液ノ溫度ト壓力トノ間ニハ一定ノ關係アリ、壓力ガ定レバ其ノ壓力ニ相當スル溫度ガ確定スルト同時ニ溫度ヲ指定セバ其ノ溫度ニ對スル壓力ハ定ル

飽和液

モノニテコノ壓力ヲ其ノ溫度ニ對スル飽和壓力ト云フ、

飽和壓力

飽和溫度ニ達シタル液ヲ更ニ加熱スル時ハ其ノ一部ハ氣體ニ變化シ體積ガ急ニ増加ス、此ノ現象ヲ蒸發ト云ヒ若シ加熱ガ急速ナル場合ニハ液全體ガ一樣ニ熱セラレズシテ氣泡ガ所々ニ生ジ蒸發ガ不平均トナリ液面ガ躍動ス、此ノ現象ヲ沸騰ト云フ、而シテ蒸發中ハ如何ニ外ヨリ熱ヲ加フルモ溫度ハ上昇セズ飽和溫度ノママナルモ液體部分ハ益氣體トナリ體積ヲ著シク増大ス、即チ蒸發中ニ加ヘラレタル熱量ハ液體ヨリ氣體ヘノ狀態變化ニ用ヒラレ熱スル

モイ 蒸氣ヲマ、長所トシテハ、...  
長所トシテハ、...  
モイ 蒸氣ヲマ、長所トシテハ、...  
長所トシテハ、...  
モイ 蒸氣ヲマ、長所トシテハ、...  
長所トシテハ、...  
モイ 蒸氣ヲマ、長所トシテハ、...  
長所トシテハ、...  
モイ 蒸氣ヲマ、長所トシテハ、...  
長所トシテハ、...

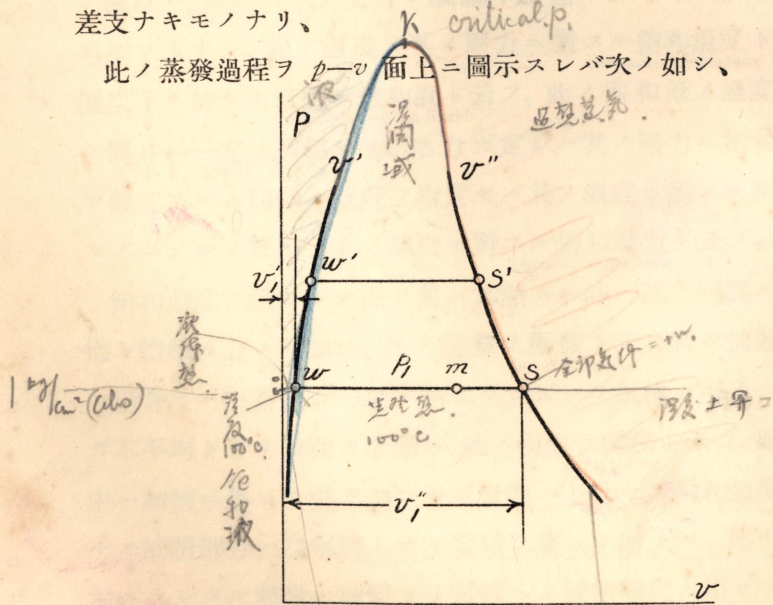


ニ從ツテ液體ガ減ジ氣體ガ増シ遂ニハ少シモ液分ノナキ蒸氣トナ  
 乾燥飽和 (Dry Saturated Vapour) ルモノナリ、コレヲ乾燥飽和蒸發氣ト云ヒコノ内ニ多少トモ液分  
 湯潤飽和 (Wet saturated Vapour) ヲ含ム時ハコレヲ湯潤飽和蒸發氣ト云フ、此ノ兩者ヲ總稱シテ  
 飽和蒸發氣ト云フ、  
 Saturated Vapour

一定壓力ノ下ニ於テ或ル基準溫度例ヘバ 0°C ヨリ飽和溫度ニ  
 液體熱 (Heat of liquid) ナル迄ニ加ヘラルル熱量ヲ液體熱ト云ヒ飽和液ヲ熱シテ乾燥飽和  
 蒸發氣ト爲ス迄ニ要スル熱量ヲ蒸發潛熱又ハ蒸發熱ト云フ、  
 Latent heat Heat of vaporization

乾燥飽和蒸發氣ヲ更ニ加熱セバ溫度上昇ス、此ノ如キ飽和蒸發  
 過熱蒸發氣 (Super heated vapour) 氣ヨリモ高溫度ニアル蒸發氣ヲ過熱蒸發氣ト云ヒ過熱蒸發氣ノ溫  
 過熱度 (Degree of Super heat) 度ト其ノ蒸氣壓力ニ相當スル飽和溫度トノ差ヲ過熱度ト云フ、過  
 熱度高キモノ程其ノ性質ハ完全「ガス」ニ近ヅキ充分過熱セラレ  
 タルモノハ普通ニ「ガス」ト稱セラレ完全「ガス」トシテ取扱ヒ  
 差支ナキモノナリ、

此ノ蒸發過程ヲ P-v 面上ニ圖示スレバ次ノ如シ、



蒸發過程ノ P-v 面上ニ圖示スレバ次ノ如シ、  
 乾燥飽和蒸發氣ノ P-v 面上ニ圖示スレバ次ノ如シ、  
 湯潤飽和蒸發氣ノ P-v 面上ニ圖示スレバ次ノ如シ、  
 過熱蒸發氣ノ P-v 面上ニ圖示スレバ次ノ如シ、  
 液體熱  
 蒸發熱  
 湯潤域  
 過熱蒸氣  
 100°C  
 k critical p.  
 374°C  
 乾燥飽和蒸發氣  
 湯潤飽和蒸發氣  
 過熱蒸發氣

過熱度 = (過熱蒸發氣溫度) - (其ノ壓力ニ對シテ飽和溫度)

	steam	CO <sub>2</sub>
critical temp	374°C	31.35°C
critical pres.	225 kg/cm <sup>2</sup>	75.3 kg/cm <sup>2</sup>

湯潤蒸氣ノ狀態ヲ表スルニ乾燥度カP-v

$$\text{乾燥度 } x = \frac{w}{w'} \times 100 (\%)$$

$$\text{湯潤度 } 1-x = \frac{m}{w'} \times 100 (\%)$$



飽和液

今  $w$  ヲ壓力  $p_1$  ニ於ケル沸騰點ニアル水ノ状態點トシ其ノ比容  
 ヲ  $v_1'$  トスレバ等壓  $p_1$  ノ下ニ全部蒸發シ乾燥飽和状態  $s$  ニ達ス  
 ル迄等温等壓ノ儘其ノ體積ハ増加スルガ故ニ蒸發中ノ状態變化ハ  
 $v$  座標ニ平行ナル線  $ws$  ニテ表ハサレ又其ノ長サハ體積ノ増加  
 $v_1'' - v_1'$  トナル但シ  $v_1''$  ハ乾燥飽和蒸發氣ノ比容トス、又  $ws$  間ノ  
 任意ノ點例ヘバ  $m$  ハ液體ノ混入セル蒸發氣ノ濕潤状態ヲ表ハシ  
 其ノ位置ニテ混在液體ノ割合ヲ表ハス

若シ  $p_1$  ヨリ高壓ニ於テ蒸發セシムレバ蒸發溫度ハ昇リ飽和液  
 體體積ハ増シテ  $w'$  ノ如クナリ反對ニ飽和蒸發氣ノ體積ハ減ジテ  
 $s'$  トナル、

斯ノ如クシテ異ル壓力ニ對スル乾燥飽和蒸發氣體積線  $v''$  及飽  
 和液體體積線  $v'$  ヲ得、之等ヲ飽和曲線ト稱シ兩限界ヲ示シ其ノ  
 中間ハ濕潤區域  $v''$  線ヨリ右側ハ蒸發氣ノ過熱域トナリ、 $v'$  線ヨ  
 リ左ハ液體域トナル、而シテ濕潤蒸發氣ノ溫度  $t$  ハ乾燥飽和ノ場  
 合ト同ジク壓力  $p$  ニヨリ又比容  $v$  ハ壓力  $p$  及後述スル乾度  $x$   
 ノ函數トナル、

**臨界點** 而シテ兩飽和曲線  $v'$  及  $v''$  ハ壓力ガ大トナルニ從テ互ニ近ヅキ  
~~遂ニ~~ 遂ニ一點ニ合スルニ至ル、此ノ點ヲ臨界點ト云ヒ其ノ點ノ溫度及  
 壓力ヲ夫々臨界溫度及臨界壓力ト云フ、

二、飽和液、

液ニハ其ノ壓力ニ相當スル飽和溫度ノ下ニ於ケルモノ即チ飽和  
 液トコレヨリ溫度ノ低キモノ即チ非飽和液トアリテ非飽和液ノ状  
 態ハ  $v'$  線ヨリ左ニテ表サルルモ其ノ差ハ普通僅少ニシテ總テ飽

Handwritten notes on the right page, including mathematical derivations and diagrams. The text is mostly illegible due to fading and bleed-through from the reverse side. Some visible fragments include:

... (1) ...

...

Handwritten notes at the bottom of the right page, including the phrase "飽和液 - curve" and other illegible text.



和液トシテ取扱ヒ差支ナキモノナリ、「ガス」ノ比熱ハ状態變化ノ如何ニ依リ異ル如ク液體ノ場合モ嚴密ニ云ヘバ加熱状態ニ依リ異ルベキナルモ實際問題トシテハ液ノ加熱ハ等積加熱ニテモ等壓加熱ニテモ或ハ飽和線ニ添フテノ加熱ニテモ其ノ比熱ハ略同一ニシテ状態變化ニ依リ區別スルコトナク  $C=f(t)$  ニテ表サル、茲ニ  $f(t)$  ハ温度ノ函數ヲ示ス、

$C=f(t)$

### 三、蒸發過程ニ於ケル「エネルギー」ノ變化、

一般ニ蒸發氣ノ性質ヲ表ハス場合基準トシテ温度  $0^\circ\text{C}$ 、又  $\rightarrow$  相當スル飽和壓力ニアル蒸發氣ノ内部「エネルギー」ヲ零ト規約ス、從テ此ノ場合含熱量ハ  $i_0 = u_0 + A p_0 v_0 = A p_0 v_0$  トナリ

$i_0 \neq 0$  ナル、 $u = \dots$   $dQ = du + A p dv = du + A d(pv) - A p dp = d(u + A p v) - A v dp = di - A v dp$

(I) 液體熱、  
Heat of liquid

與ヘラレタル壓力ニ於ケル  $0^\circ\text{C}$  ノ液體ノ單位量例ヘバ 1 kg. ヲ其ノ壓力ニ相當スル沸騰點  $t^\circ\text{C}$  迄高ムルニ要スル熱量ヲ液體熱 (又ハ液體ノ顯熱) ト稱ス、

$q' = \text{液體熱} = \int_0^t C' dt = \int_0^t f(t) dt$

但シ  $C' = \text{液體ノ比熱} = \text{温度ノ函數 } f(t)$

又  $q' = \left[ \begin{array}{l} \text{體積増加ニ伴ヒ液體ニ依リテ爲サルル仕事ノ熱當量} \\ = A p (v' - v_0) \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{加熱ニ依ル内部「エネルギー」ノ増加} \\ u' = q' - A p (v' - v_0) \end{array} \right] \dots (1.1)$

但シ  $v_0 = 0^\circ\text{C}$  ニ於ケル液體ノ比容、 $v' = \text{沸騰點ニ於ケル液體ノ比容}$

實際ニハ液體ノ加熱ニ伴フ體積ノ變化ハ僅少ニシテ之ガ爲ニナサルル仕事量モ僅少ナリ、從テ  $A p (v' - v_0)$  ハ零トシテ取扱ハル

蒸氣温度ハ压力ノ増加ニ依リテ高ニシ、  
蒸氣温度ハ压力ノfunction  $t = f(p)$   
同様に蒸氣比容ハ压力ノfunction  $v = f(p)$

$C=f(p)$   $v_0 = \frac{1}{\rho_0} = 0.00100 \times 10^{-3} \times 1000$

$v_0 : 0^\circ\text{C}$  ノ比容

$p_0 : 0^\circ\text{C}$  ノ飽和壓力

$v_0 : 0^\circ\text{C}$  ノ比容

水ニ於テ

$p_0 = 0.00625 \text{ kg/cm}^2$  (abs)

$v_0 = 0.00100 \text{ m}^3/\text{kg}$

$u_0 = 0$

$i_0 = A p_0 v_0$

\* 而シ  $A p_0 v_0$  極小ナル事、事實上  $i_0$  是ニ依リテ、而シテ工學上ニ於テ内部 energy 即チ  $i_0$  即チ  $u_0 + A p_0 v_0$  即チ  $i_0$  取扱ヒ電氣等、コノ理由ニ基キテ、 $i_0$  即チ  $u_0$  即チ  $i_0$  取扱ヒ電氣等、  
enthalpy  $i_0$  即チ  $u_0$  即チ  $i_0$  取扱ヒ電氣等、

ノ  $i_0$  即チ  $u_0$  即チ  $i_0$  取扱ヒ電氣等、

$C=f(t)$

$u_0 = u_0 + A p_0 v_0 = A p_0 v_0$

$q' = \int_0^t C' dt$



ル場合多く液體熱ノ大部分ハ内部「エネルギー」ノ増加トナルモノナリ、

即チ普通ノ範圍ニテハ  $u' = q'$  トナス事ヲ得、

次ニ含熱量ヲ  $i'$  トセバ

$$i' = u' + Apv' = q' - Ap(v' - v_0) + Apv'$$

$$= q' + Apv_0 \dots \dots \dots (1.2)$$

然ルニ  $Apv_0$  ハ壓力ガ非常ニ高カラザル時ハ neglect シ得ルヲ以

$$i' = q' \dots \dots \dots (1.3)$$

トナル、

(II) 蒸發潜熱 (Heat of vaporization)

沸騰點ニ達セル液體全部ガ蒸發スルニ必要ナル熱量ヲ蒸發潜熱ト云ヒ其ノ變化ノ間溫度ハ不變ナリ、

$$r = \text{蒸發潜熱} = \left[ \begin{array}{l} \text{状態變化ニ伴ヒ體積増加ノ爲ニ爲サ  
ルル仕事ノ熱當量} \\ = Ap(v'' - v') \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{液ト蒸氣トノ分子配列ノ  
状態ガ異ル事ニ原因  
スル内部「エネルギー」  
ノ増加} \\ = u'' - u' \\ = r - Ap(v'' - v') \end{array} \right]$$

$$= \text{外部潜熱 } \phi + \text{内部潜熱 } \rho$$

External latent heat                  Internal latent heat

但シ  $v'' = \text{蒸發氣ノ比容}$ 、

$u'' = \text{蒸發氣ノ内部「エネルギー」}$

(III) 蒸發氣ノ全熱量ト含熱量、

與ヘラレタル壓力ノ 0°C ナル液體ヲ其ノ壓力ノ乾燥飽和蒸發氣ト爲ス爲ニ要スル熱量ハ前記液體熱  $q'$  ト蒸發潜熱  $r$  トノ和トナリ之ヲ全熱量 (Total heat) ト稱ス、

$$\text{即チ } q'' = \text{全熱量} = q' + r = q' + \rho + \phi.$$

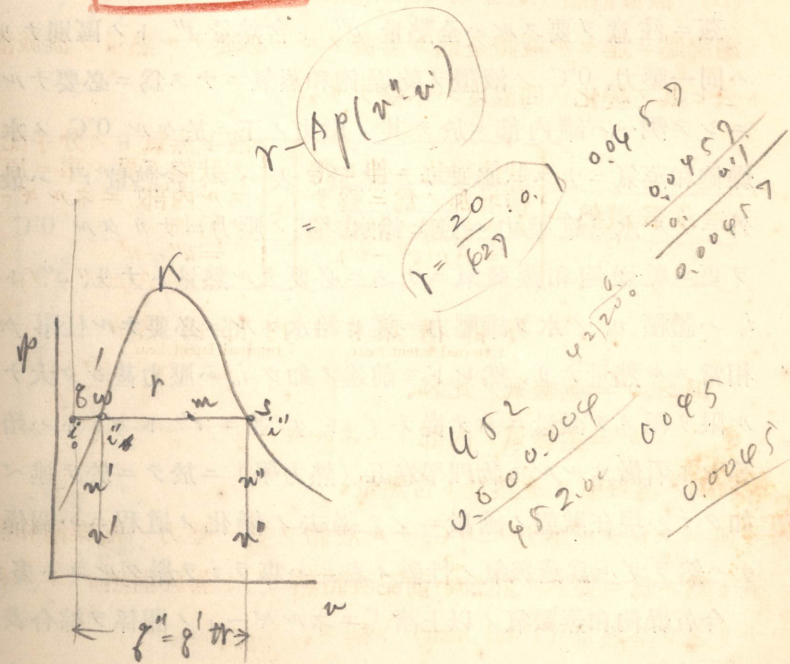
$$\text{又 } q'' = i'' - i_0 \dots \dots \dots (1.4)$$

$$i'' = q'' + p$$

$$i' = u' = q'$$

$$\rho = u'' - u' = r - Ap(v'' - v')$$

$$\rho = u'' - u'$$





茲 =  $i''$  = 壓力  $p$  ノ乾燥飽和蒸發氣ノ含熱量、  
 $i_0$  = 壓力  $p$   $0^\circ\text{C}$  ノ液體ノ含熱量、  
 $= u_0 + A p v_0 = A p v_0$  (∵ 規約ニ依リ  $0^\circ\text{C}$  = 於テ  $u_0 = 0$ )

∴  $q'' = i'' - A p v_0$  ..... (1.5)

∴  $i'' = q'' + A p v_0 = q' + r + A p v_0$  ..... (1.6)

同様ニ飽和溫度ニ於ケル液體ノ含熱量ハ

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

∴  $q' = i' - i_0 = i' - A p v_0$  (1.2)  $\bar{x} = 30^\circ$

之ヲ (1.6) ニ代入スレバ

∴  $r = i'' - i'$  ..... (1.7)

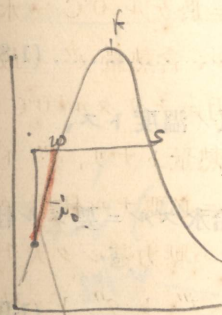
茲ニ注意ヲ要スルハ全熱量  $q''$  ト含熱量  $i''$  トノ區別ナリ、 $q''$  ハ同一壓力、 $0^\circ\text{C}$  ノ液體ヲ乾燥飽和蒸氣ニナス爲ニ必要ナル熱量ニシテ例ヘバ罐内部ニ於テ其ノ壓力ノ下ニ於ケル  $0^\circ\text{C}$  ノ水ヲ乾燥飽和蒸氣ニナスニ必要ナル熱量ヲ表ハシ、含熱量  $i''$  ハ最初罐外ニアル水ヲ罐壓力ニ逆ヒ給水シ其ノ壓力ニナリタル  $0^\circ\text{C}$  ノ水ヲ更ニ乾燥飽和蒸發氣ニナスニ必要ナル熱量トナリ、 $q''$  トノ差  $i_0$  ハ體積  $v_0$  ノ水ヲ罐壓力ニ逆ヒ給水スルニ必要ナル仕事  $p v_0$  ニ相當スル熱量ナリ、然レドモ前述ノ如ク  $i_0$  ハ壓力甚シク大ナラザル限り極メテ微量ニシテ從テ  $i'$  ト  $q'$  並ニ  $i''$  ト  $q''$  トハ殆ンド等シト看做サルルモ物理學卷五 (熱力學) ニ於テニ於テ述ベタル如ク  $i$  ハ現在狀態ノ函數ニシテ過去ノ變化ノ道程ニハ關係ナク  $q$  ハ然ラザル爲蒸發氣ノ性質ノ表ニハ專ラ  $i$  ヲ舉グルコト多シ、

今乾燥飽和蒸發氣ノ以上諸「エネルギー」ノ關係ヲ綜合表示セバ下ノ如シ、

$r = i'' - i'$

$r = i'' - i'$

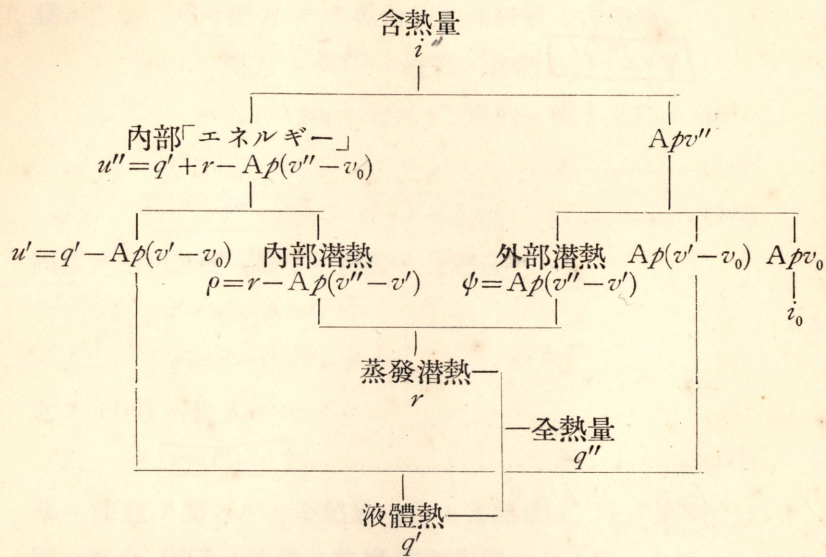
$q'' = i'' - A p v_0$



(仕事)  $p v_0$

或ハ  $A p v_0$





尚過熱蒸發氣ノ含熱量ハ

$$i = i'' + \int_T^{T_s} C_p dT \dots (1.8)$$

但シ T ハ飽和溫度, T<sub>s</sub> ハ過熱蒸發氣ノ溫度トス、

(IV) 給水ニ要スル熱量、

大氣壓 p<sub>0</sub> ノ場所ヨリ壓力 p ノ罐内ニ給水スルニ要スル仕事ヲ  
熱量ニテ表ハセバ

$$AL = A(p - p_0)v_0 \dots (1.9)$$

茲ニ v<sub>0</sub> = 0°C ニ於ケル水ノ體積 (cub. m.)

但シ此ノ値ハ前述ノ如ク蒸發ニ要スル熱量ニ比シ極メテ僅少ナルモノナリ、例ヘバ壓力 20 kg/cm<sup>2</sup> ノ罐ニ對シテハ

$$\text{Work done} = \frac{19 \times 10,000 \times 0,001}{427} = 0.45 \text{ kcal/kg}$$

ニシテ普通ノ壓力ニ於テハ此ノ量ハ一般ニ neglect サル、

註 i. 絶体圧力 = (壓力計) + 1.033 2 kg/cm<sup>2</sup>

壓力ノ諸公式ニ絶体圧力ヲ

ii 真空絶体圧力

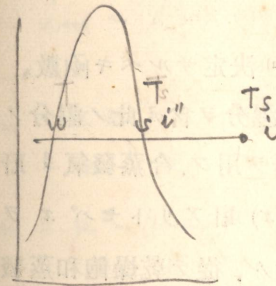
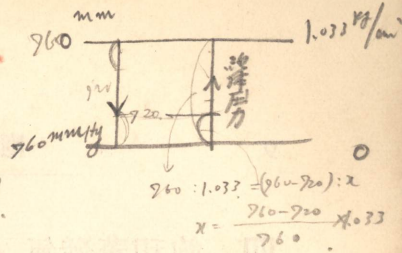
① 真空 720mm 7 絶体圧力ヲ推算セヨ

$$x = \frac{760 - 720}{760} \times 1.033 = \frac{760 - 720}{760} \times 1$$

② 絶体圧力 0.1 kg/cm<sup>2</sup> 真空ニ推算セヨ

$$y = \frac{(1.033 - 0.1)}{1.033} \times 760 = 686$$

$$z = 760 - \left(760 \times \frac{0.1}{1.033}\right) = 760 - 74 = 686$$



$$AL = \frac{1}{427} (20 - 1) \times 10^4 \times 0,001 \text{ m}^3/\text{kg} = 0.45 \text{ kcal/kg}$$



### 四、飽和蒸發氣、

前述ノ如ク飽和蒸發氣ノ溫度ト壓力トノ間ニハ一定ノ關係アリ、即チ

$$p_s = f_1(t).$$

$$t_s = f_2(p).$$

茲ニ  $p_s$  ハ  $t$  = 相當スル飽和壓力、

$t_s$  ハ  $p$  = 相當スル飽和溫度、

$f_1$  及  $f_2$  ハ蒸發氣ノ性質ニ依リ決定サルベキ函數、

飽和蒸發氣ハ一般ニ其ノ内ニ幾分ノ濕分ヲ含ミ此ノ濕分ノ多少ヲ表ス爲ニ乾度及ビ濕度ナル語ヲ用フ、今蒸發氣1 貯中ニ乾燥飽和蒸發氣ガ  $x$  貯、濕分ガ  $(1-x)$  貯アリトセバ  $x$  ヲ乾度  $(1-x)$  ヲ濕度ト云ヒ百分比ニテ表ハサル、從テ乾燥飽和蒸發氣ニ於テハ  $x=100$  デアリ、飽和液ニ於テハ  $x=0$  ナリ、

一般ニ蒸發氣ノ性質ハ過熱溫度又ハ乾度ニ依リ異ルモノニシテ之等ヲ表ス爲メニ蒸發氣ノ性狀ナル語ヲ用ヒ過熱蒸氣ニ對シテハ過熱溫度ヲ飽和蒸氣ニ對シテハ乾度ヲ表ハスモノナリ、

次ニ乾度  $x$  ナル濕潤飽和蒸氣ノ性質ニ就キ述ブレバ

含熱量  $i_m = xi'' + (1-x)i' = i' + x(i'' - i')$   $[r = i'' - i']$   
 $= i' + xr$  ..... (1.10)

内部「エネルギー」

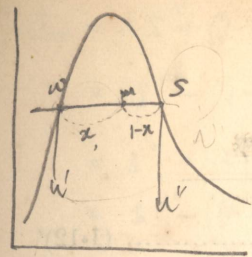
$$u_m = xu'' + (1-x)u' = u' + x(u'' - u').$$

$[r = u'' - u']$

 $= u' + xr$   
 $= u'' - (1-x)\rho$  ..... (1.11)

比容  $v_m = xv'' + (1-x)v' = v' + x(v'' - v')$  ..... (1.12)

→ neglective.



$$x = \frac{m \omega}{\omega s} \times 100 (\%)$$

$$1-x = \frac{m s}{\omega s} \times 100 (\%)$$

$w, \phi = \tau$  2-5 1 貯貯ト同ジトアリ。  
 $(1-x)$  貯貯  $w$  1 同ジ貯貯トアリ。

① 含熱量  $w =$  貯貯  $m$  貯貯ノ含熱量ト貯貯

$$i_m = i' + xr, \quad i' = i'' - r.$$

$$\therefore i_m = i'' - r + xr = i'' - (1-x)r.$$

②  $u_m = xu'' + (1-x)u'$   
 $= u' + x(u'' - u') = u' + xr$

$$u_m = u'' - (1-x)\rho$$

③

[例題] p. 25, (2)

$$r = u'' - u' = r - \rho p (u'' - u')$$



$$v_m = xv'' \dots \dots \dots (1.12)'$$

何トナレバ液體ノ比容  $v'$  ハ飽和蒸發氣ノ比容  $v''$  ニ比シテ微小ナルガ故ニ  $(1-x)$  トノ積ハ一層微量トナリ從テ實際ノ計算ニハ  $xv''$  ヲ濕潤蒸發氣ノ比容ト看做スコトヲ得、「エントロピ」  $s_m = xs'' + (1-x)s' = s' + x(s'' - s')$  ..... (1.13)

蒸發中ノ「エントロピ」ノ變化ハ一定溫度ノ下ニ蒸發熱  $r$  ガ加ヘラルモノナルニツキ  $(s'' - s')$  ハ  $\frac{r}{T}$  ニテ表サルヲ以テ、

$$s_m = s' + x\frac{r}{T} = s'' - (1-x)\frac{r}{T} \dots \dots \dots (1.13)'$$

### 五、飽和蒸發氣ノ状態變化、

(I) 状態變化中ニ供給スル熱量、  
物理學卷ノ五(熱力學)基礎式(1.9)及(1.24)ニ依リ

$$dQ = Tds = di - Avdp \dots \dots \dots (1.14)$$

↓  
空氣  
場合

然ルニ  $i = i' + xr$  ナルヲ以テ  $di = di' + d(xr)$

又  $i' = q' + Av_0 p'$  ナルヲ以テ  $di' = dq' + Av_0 dp$

∴  $dQ = dq' + Av_0 dp + d(xr) - Avdp$   
 $= cdT + d(xr) - A(v - v_0) dp \dots \dots \dots (1.15)$

又  $s = s' + x\frac{r}{T}$  ナルヲ以テ

$$ds = ds' + d\left(\frac{xr}{T}\right) = \frac{cdT}{T} + \frac{Td(xr) - xrdT}{T^2}$$

∴  $dQ = Tds = cdT + d(xr) - xr\frac{dT}{T} \dots \dots \dots (1.16)$

(II) 等溫變化、

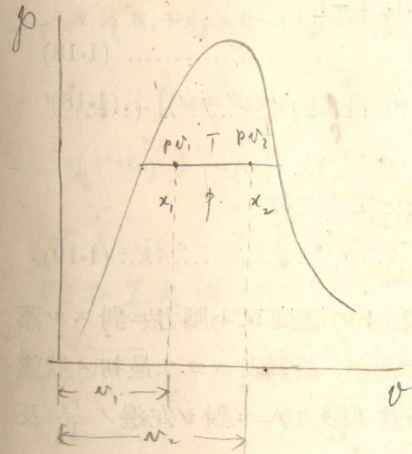
○ 飽和蒸發氣ノ溫度ト壓力トハ一定ノ關係アル故等溫變化ハ同時ニ等壓變化トナリ  $p-v$  面及  $T-S$  線圖上ニ於ケル變化ノ曲線ハ  
 乾度  $x$  / 蒸氣比容  $v$  及  $ds$  等ノ計算ニ於テ一般式ヲ用ル。

$$\begin{aligned} 5. J_m &= xs'' + (1-x)s' \\ &= s'' - (1-x)(s'' - s') \\ &= s'' + x(s'' - s') \\ &= s'' - (1-x)\frac{r}{T} = s'' + x\frac{r}{T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds &= \frac{dQ}{T} \\ dQ &: r, \quad s'' - s' = \frac{r}{T} \\ s' &= \frac{r}{T} \end{aligned}$$

例  
p.6.  $i = i' + xp, \quad di = di' + d(xr)$   
 $e = \frac{dQ}{dt}, \quad dg' = cdT$  (?)

$$\begin{aligned} c_v &= \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_v \\ c_p &= \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_p \\ c &= \frac{dQ}{dT} \\ c dT &= dQ = dg' \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} dQ &= du + A p dv = du + A d(pv) - A v dp \\ &= d(u + A p v) - A v dp \\ i &= u + A p v \quad \therefore dQ = di - A v dp \end{aligned}$$



水平線トナル、

今状態  $p_1, v_1$  ヨリ  $p_2, v_2$  = 等温變化ヲスル間 = 爲ス仕事ヲ  $W_T$

トスレバ

$$W_T = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p(v_2 - v_1) = p[x_2 v'' + (1 - x_2)v'] - (x_1 v'' + (1 - x_1)v') \\ = p(x_2 - x_1)(v'' - v') \dots \dots \dots (1.17)$$

又變化中 = 供給スベキ熱量  $Q_T$  ハ

$$Q_T = (u_2 - u_1) + A p(v_2 - v_1) = i_2 - i_1 \\ = (x_2 - x_1)r \dots \dots \dots (1.18) \\ = (x_2 - x_1)(p + \psi) = (x_2 - x_1) \left[ \frac{p}{\rho} + A p(v'' - v') \right] \dots (1.18)'$$

(III) 断熱變化、

○ 断熱變化中ハ「エントロピ」ハ一定ナル故

$$x_2 \frac{r_2}{T_2} + s_2' = x_1 \frac{r_1}{T_1} + s_1' \dots \dots \dots (1.19)$$

コノ關係ヨリ  $x_2$  ヲ求ムルニハ種々ノ温度又ハ壓力ニ對スル蒸氣ノ性質ヲ數值的ニ表ス蒸氣表ヲ要ス、蒸氣表ニヨリ最初ノ状態カラ右邊ヲ計算シ更ニ變化中ノ任意ノ壓力  $p_2$  = 對シ左邊ノ  $\frac{r_2}{T_2}$  及  $s_2'$  ヲ求ムレバ  $x_2$  ヲ計算シ得然ル時ハ

$$v_2 = x_2 v'' + (1 - x_2)v_1' = x_2 v'' \dots \dots \dots (1.20)$$

コノ断熱變化中ノ仕事ハ内部「エネルギー」ノ消費ニ依リ爲サレル故

$$= \frac{1}{A} (u_1 + x_1 p_1) - (u_1' + x_1' p_1)$$

$$W_s = \frac{1}{A} (u_1 - u_2) = \frac{1}{A} (u_1' - u_2' + x_1 \frac{r_1}{p_1} - x_2 \frac{r_2}{p_2}) \dots \dots \dots (1.21)$$

### 六、過熱蒸發氣、

蒸發氣モ充分高く過熱セララルル時ハ完全「ガス」ノ特性式  $p v = RT$  ヲ用ヒ得ベシト雖モ過熱度低ク飽和状態ニ近ヅクニ從ツ

$$W_T = \int_{v_1}^{v_2} p dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{RT}{v} = RT \log_e \frac{v_2}{v_1} = RT \log_e \frac{p_1}{p_2}$$

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

$$\left[ \begin{aligned} dQ &= du + A p dv \\ Q &= \int_{v_1}^{v_2} du + A \int_{v_1}^{v_2} p dv \\ &= (u_2 - u_1) + A p(v_2 - v_1) \end{aligned} \right]$$

$$Q_T = (u_2 + A p v_2) - (u_1 + A p v_1) = i_2 - i_1$$

$$\therefore [i = u + A p v] \\ = (i' + x_2 r) - (i' + x_1 r) = r(x_2 - x_1)$$

蒸氣 = 液体ノ等温變化ノ等圧變化ヲアル  
(飽和蒸氣内ニテ)

「エントロピ」一定

$$s_2 = s_1 \quad s_2' + x_2 \frac{r_2}{T_2} = s_1' + x_1 \frac{r_1}{T_1}$$

断熱變化中ニ  $ds = 0$   $\therefore s = C$



テ其ノ特性ハ複雑トナリ上式ニテ表サルルモノヨリ遠カルヲ以テ工業上ニ用ヒラルル過熱蒸發氣ノ特性式ハ上記ノ完全瓦斯ノ式ニ適當ナル補正ヲ施サザルベカラズ、コノ補正ハ種々ノ形デ與ヘラルルモノ其ノ中最モ理論的根據ガアリ且種々ノ蒸發氣ニ對シ廣イ範圍ニ適用シ得ルモノハ次ノ Van der Waals 式ナリ、

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v-b) = RT \dots\dots\dots (1.22)$$

茲ニ  $a, b$ , ハ定數ナリ、

完全「ガス」ノ式ハ分子ガ大イサヲ有セズ且分子間ニ力ガ存在セザル理想の場合ニ成立スルモノニシテ實際「ガス」ニ對シテハ當然コレ等ニ對シ補正サルベキナリ、Van der waals ハ分子ガ互ニ相引ク爲ノ補正トシテ  $p$  ノ代リニ  $\left(p + \frac{a}{v^2}\right)$  ヲ用ヒ分子ガ體積ヲ有スル事ノ補正トシテ  $v$  ノ代リニ  $(v-b)$  ヲ用ヒ上式ヲ得タルモノナリ、コノ式ハ臨界點ヲ含ム廣イ範圍ニ適用サレヨク種々ノ蒸發氣性質ノ傾向ヲ表スモ精密ナル實驗結果ト一致セザル缺點アリ此ノ缺點ヲ除ク爲 Clausius, Berthelot 及 ~~Wohl~~ <sup>Wohl</sup> 等ニ依リ夫々或ル式ヲ提案セラレタルモ何レモ満足ノ結果ヲ與フルモノナシ、

七、過熱液ト過飽和蒸發氣、

Van der waals 式ニ於テ  $T$  ヲ一定トシ  $p$  ト  $v$  トノ關係ヲ示ス等溫線ヲ引ケバ第 2 圖ニ於テ MACEDBN トナル、全式ヲ見ルニ  $v$  ニ就テ三次ノ式ナル故一ツノ  $p$  ニ對シ三ツノ値ヲ有ス、

即チ今或ル壓力線ヲ引ケバ三點 A, E, B ニテ交ル、而シテ溫度ガ高クナルニ從ツテ此ノ三點ガ近キ臨界溫度ニ對シテハコノ三點ハ一點 K ニ一致ス、即チ臨界溫度ニ於テハ  $p$  ニ對スル  $v$  ノ値ノ

(詳細は手書き参照)

Clausius

$$p = \frac{RT}{v-a} - \frac{c}{T(u+b)^2}$$

Berthelot

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

Wohl

$$\left(p - \frac{c}{v^3}\right)(v-b) = RT - \frac{a}{v}$$

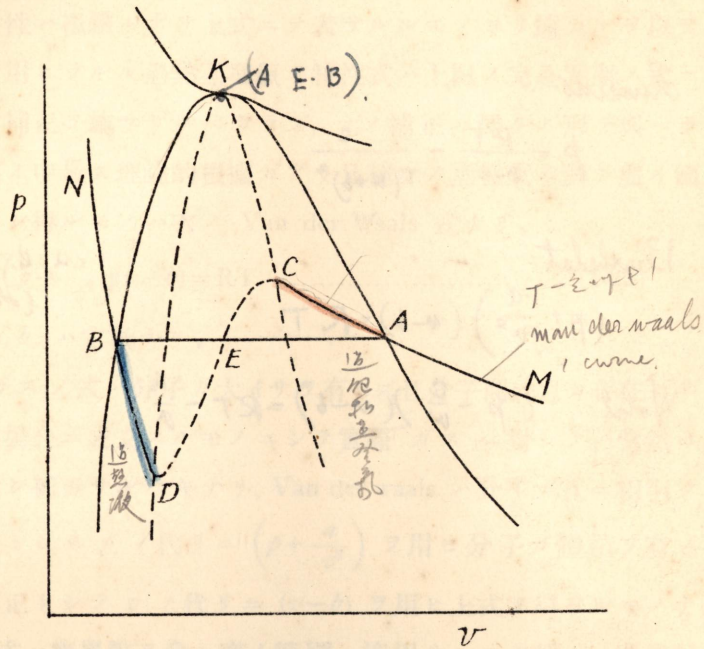
$a, b, c$  : constant.  
( $a, b, c$  均等)  $12u$

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

$T$  : constant

$$pv^3 - (pb + RT)v^2 + Av - ab = 0, \quad (v = 3 \text{ 次式})$$





第 2 図

一根ハ實數ニシテ他ノ二根ハ虚數トナリ、臨界温度以下ニ於テハ  
三根ハ總テ實數ナルヲ知ル、

上述ノ如ク Van der waals 式ニ依ル飽和蒸發氣ノ等温線ハ波  
狀ヲ呈スルモ實際ノ飽和蒸發氣ノ等温線ハ直線 AB ナリ、コノ差  
異ニ就テハ次ノ如ク考フルコトヲ得、

Van der waals 式ハ等質流體ノ特性式ナルモ實際ノ飽和蒸發氣  
ハ等質デナク乾燥飽和蒸發氣ト液トノ混合體ナルヲ以テ等温線ガ  
一致セザルハ當然ノコトナリ、然レ共蒸發氣又ハ液ガ飽和線ヲ越  
エテ濕潤區域ニ入ル時、蒸發氣ト液トノ混合體ニナラズ等質物體  
トシテ存在セバ Van der waals 式ニテ示サルル AC 又ハ BD ナ  
ル曲線ガ等温線ニナルコトハ想像シ得ルノミナラズ實驗ニ依リテ

Handwritten text on the right page, including a diagram of a Van der Waals loop and some notes. The notes include 'A, B 二安定状態' (A, B are two stable states) and 'T = 273.15 K'.

A, B 二安定状態

T = 273.15 K  
van der Waals  
curve.



モ之ヲ知ルコトヲ得、蒸發氣ノ過飽和及液ノ過熱ナル現象ハコレヲ示スモノナリ、普通ノ状態ニ於テハ液體ノ溫度ハ飽和溫度以上ニナラザルモ特殊ノ状態例ヘバ「ノズル」ヲ經テ水ヲ放流セシムル場合其ノ出口ニ於ケル水ノ溫度ガソコノ壓力ニ相當スル飽和溫度マデ下ラザルコトアル如ク蒸發ヲ起スコトナク其ノ壓力ニ相當スル飽和溫度以上トナル場合アリテ此ノ如キ状態ノ液ヲ過熱液ト云フ、  
Superhated liquid

又飽和蒸發氣ハ其ノ壓力ニ相當スル飽和溫度ヨリ下ラザルハ普通ナルモ特殊ノ條件例ヘバ最初乾燥又ハ多少過熱サレタ蒸汽ガ「ノズル」内デ膨脹シテ壓力ガ下リ飽和線ヲ過ギテモ尙乾燥ノ状態ヲ保ツコトアル如ク飽和溫度ヨリ低ク而モ濕氣ヲ含マヌ全ク乾燥セル蒸發氣存在ス、此ノ如キ蒸氣ヲ過飽和蒸發氣又ハ過冷蒸發氣ト云フ、  
Supersaturated vapour Under cooled vapour

扱第2圖ニ於テ ACEDB ナル波形ヲ考フルニ AC 及 BD ノ部分ハ安定状態ナルモ CED ノ部分ハ不安定ノ状態ナリ、何トナレバ AC ニ於テハ壓力ノ増加ト共ニ體積ノ減少ガアリ BD ニ於テハ壓力ノ減少ト共ニ體積ノ増加アルモ CED ノ部分ハ壓力ノ減少ト共ニ體積ノ減少ガアリ普通ノ變化トハ逆ナル故不安定ニシテ實際ニハ起リ得ズ、從テ過飽和及過熱ニハ極限アリテ圖ニ於テハ C 及 D ニテ示サル、異ル種々ノ溫度ニ對シ極限ノ點 C 及 D ヲ求メコレヲ連結スレバ破線ノ如キ曲線トナリコレガ蒸氣ノ過飽和及液ノ過熱ノ極限ヲ示ス境界線トナルモノナリ、

(ワズルノ過飽和 speed. 早いテ乾燥能知也  
濕潤能知也トナリテ其ノ極限ヲ示ス)



## 第二章

### 蒸氣ノ性質

—o:~:~:~:—

#### 八、蒸氣表、

工業上作業物質トシテ用ヒラルル蒸發氣ノ内最モ重要ナルモノハ水蒸氣ニシテ其ノ性質ヲ研究シ判リ易キ表又ハ線圖ヲ作り置ク事ハ蒸氣工學ニ於テ是非共必要ナル事ナリ、蒸氣表トハ蒸氣ノ重要ナル諸性質ヲ秩序的ニ配列シタルモノニテ普通飽和蒸氣表ト過熱蒸汽表ニ分レ種々ノ溫度壓力ニ於ケル比體積、「エンタルピ」、「エントロピ」、蒸發熱等ノ數値ガ示サレテ居リ蒸氣工學ニ於ケル種々ノ計算ノ基礎トナルモノナリ、現今使用サレテ居ル蒸氣表ハ英國デハ H. L. Callender (1931) 獨逸デハ R. Mollier (1932) O. Knoblach (1932) 米國デハ T. Keenan (1930) 我ガ國デハ菅原表ガアリ又最近機械學會蒸氣表發行セラレタリ、コレ等諸種ノ蒸氣表ノ數値ヲ比較スルニ蒸氣表作製ノ基礎實驗ノ差異ニ基キ多少ノ相違アリ蒸氣機械ノ設計竝ニ試驗ニ關シ國際上不便少ナカラズ數回ニ亘リ國際蒸氣表會議ヲ會催シ慎重討議ノ結果國際骨組蒸汽表ヲ作製シ數十個ノ溫度ト壓力トニ對シ正當ト認メラルル數値ヲ與ヘ國際的ニ使用シ得ル蒸汽表ノ指針トセリ、

卷尾ノ飽和及ビ過熱蒸氣表ハ機械學會蒸氣表ニ據ルモノナリ、

蒸氣表

蒸氣表

蒸氣表ノ性質ヲ研究シ判リ易キ表又ハ線圖ヲ作り置ク事ハ蒸氣工學ニ於テ是非共必要ナル事ナリ、蒸氣表トハ蒸氣ノ重要ナル諸性質ヲ秩序的ニ配列シタルモノニテ普通飽和蒸氣表ト過熱蒸汽表ニ分レ種々ノ溫度壓力ニ於ケル比體積、「エンタルピ」、「エントロピ」、蒸發熱等ノ數値ガ示サレテ居リ蒸氣工學ニ於ケル種々ノ計算ノ基礎トナルモノナリ、現今使用サレテ居ル蒸氣表ハ英國デハ H. L. Callender (1931) 獨逸デハ R. Mollier (1932) O. Knoblach (1932) 米國デハ T. Keenan (1930) 我ガ國デハ菅原表ガアリ又最近機械學會蒸氣表發行セラレタリ、コレ等諸種ノ蒸氣表ノ數値ヲ比較スルニ蒸氣表作製ノ基礎實驗ノ差異ニ基キ多少ノ相違アリ蒸氣機械ノ設計竝ニ試驗ニ關シ國際上不便少ナカラズ數回ニ亘リ國際蒸氣表會議ヲ會催シ慎重討議ノ結果國際骨組蒸汽表ヲ作製シ數十個ノ溫度ト壓力トニ對シ正當ト認メラルル數値ヲ與ヘ國際的ニ使用シ得ル蒸汽表ノ指針トセリ、

100°C	101.325 kPa	1.673 m³/kg	2264.5 kJ/kg
150°C	476.165 kPa	0.905 m³/kg	2114.5 kJ/kg
200°C	1553.8 kPa	0.601 m³/kg	1983.5 kJ/kg
250°C	3980.1 kPa	0.476 m³/kg	1870.5 kJ/kg
300°C	8580.1 kPa	0.407 m³/kg	1772.5 kJ/kg
350°C	16529.7 kPa	0.370 m³/kg	1687.5 kJ/kg
400°C	28649.6 kPa	0.347 m³/kg	1614.5 kJ/kg
450°C	45984.7 kPa	0.332 m³/kg	1551.5 kJ/kg
500°C	70132.5 kPa	0.322 m³/kg	1500.5 kJ/kg
550°C	102329.1 kPa	0.315 m³/kg	1459.5 kJ/kg
600°C	144984.7 kPa	0.310 m³/kg	1427.5 kJ/kg
650°C	200719.6 kPa	0.307 m³/kg	1395.5 kJ/kg
700°C	273244.7 kPa	0.305 m³/kg	1364.5 kJ/kg
750°C	366779.6 kPa	0.304 m³/kg	1335.5 kJ/kg
800°C	486414.7 kPa	0.303 m³/kg	1308.5 kJ/kg
850°C	637149.6 kPa	0.303 m³/kg	1283.5 kJ/kg
900°C	825484.7 kPa	0.303 m³/kg	1260.5 kJ/kg
950°C	1058419.6 kPa	0.303 m³/kg	1239.5 kJ/kg
1000°C	1342854.7 kPa	0.303 m³/kg	1221.5 kJ/kg

蒸氣表ノ性質ヲ研究シ判リ易キ表又ハ線圖ヲ作り置ク事ハ蒸氣工學ニ於テ是非共必要ナル事ナリ、蒸氣表トハ蒸氣ノ重要ナル諸性質ヲ秩序的ニ配列シタルモノニテ普通飽和蒸氣表ト過熱蒸汽表ニ分レ種々ノ溫度壓力ニ於ケル比體積、「エンタルピ」、「エントロピ」、蒸發熱等ノ數値ガ示サレテ居リ蒸氣工學ニ於ケル種々ノ計算ノ基礎トナルモノナリ、現今使用サレテ居ル蒸氣表ハ英國デハ H. L. Callender (1931) 獨逸デハ R. Mollier (1932) O. Knoblach (1932) 米國デハ T. Keenan (1930) 我ガ國デハ菅原表ガアリ又最近機械學會蒸氣表發行セラレタリ、コレ等諸種ノ蒸氣表ノ數値ヲ比較スルニ蒸氣表作製ノ基礎實驗ノ差異ニ基キ多少ノ相違アリ蒸氣機械ノ設計竝ニ試驗ニ關シ國際上不便少ナカラズ數回ニ亘リ國際蒸氣表會議ヲ會催シ慎重討議ノ結果國際骨組蒸汽表ヲ作製シ數十個ノ溫度ト壓力トニ對シ正當ト認メラルル數値ヲ與ヘ國際的ニ使用シ得ル蒸汽表ノ指針トセリ、



### 九、乾燥飽和蒸氣、

(I) 壓力ト溫度トノ關係、

蒸發過程ニ於ケル飽和蒸氣ノ壓力ト溫度トノ間ニハ一定ノ關係アルコトハ既ニ知ル所ニシテ  $p=f(t)$  ハ實驗ニヨリ決定サルベキモノナリ、然レ共  $0\sim 374^\circ\text{C}$  (Critical temperature) 間ノ溫度廣範圍ハ勿論普通ノ使用セラルル  $0\sim 200^\circ\text{C}$  ノ範圍ノ實驗値ヲモ正確ニ表ハス一般式ハ得ラズ只極メテ狭キ溫度範圍内ニ適用シ得ル實驗式ノ一例トシテ次ノ簡單ナル式ヲ掲グルコトヲ得即チ

Rankine,  
實驗式

$$\log p = A - \frac{B}{T} \text{ 又ハ } T = \frac{B}{A - \log p} \dots\dots\dots (2.1)$$

茲ニ A, B, ハ恒數 T ハ絕對溫度 ( $^\circ\text{K}$ ) p ハ 壓力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) ナリ而シテ之等ハ次ニ示ス三ツノ溫度範圍ニ對シ次表ノ値トナル、

溫度	A	B	$\log p$
$20^\circ\text{C}\sim 100^\circ\text{C}$	5.9778	2224.4	$5.9778 - \frac{2224.4}{T}$
$100^\circ\text{C}\sim 200^\circ\text{C}$	5.6485	2101.1	$5.6458 - \frac{2101.1}{T}$
$200^\circ\text{C}\sim 350^\circ\text{C}$	5.4514	2010.8	$5.4514 - \frac{2010.8}{T}$

(II) 壓力ト體積トノ關係、

壓力ガ高クナル程飽和蒸氣ノ重量ニ對スル體積ハ小トナル即チ密度ハ大トナル、今飽和蒸氣ノ  $p, v, T$ , ノ關係ガ完全「ガス」ノ特性式  $p v = RT$  ナル關係ヲ保持スルモノトセバ  $v = R \frac{T}{p}$  トナリ蒸氣ニ對スル  $R = 47.11$  セバ

$$v = 47.1 \frac{T}{p} \text{ m}^3/\text{kg.} \dots\dots\dots (2.2)$$

蒸氣特性式

$$v = f(p, T)$$



而シテ T と p とノ關係ヲ計算ヨリ求ムレバ v ノ値ヲ算定スル  
 コトヲ得ルモ斯クシテ求メタル値ハ實驗ヨリ得タルノト差異アル  
 ハ勿論ナリ、

蒸氣ノ壓力ト比容積トノ間ノ關係ニツキ Callender ハ次ノ如キ  
 一般式ヲ發表セリ、

$$v - 0.001 = 47.0 \frac{T}{p} - 0.070 \left( \frac{373.1}{T} \right)^{\frac{10}{3}} \dots \dots \dots (2.3)$$

- 茲ニ T = 絕對溫度 (°K)
- p = 絕對壓力 (kg/m<sup>2</sup>)
- v = 比容積 (m<sup>3</sup>/kg)

一〇、蒸發ニ要スル熱量、

(I) 水ノ液體熱ト比熱、

0°C ノ水 1 kg ヲ或ル與ヘラレタル壓力下ニ於テ t°C ナル沸騰  
 點マデ加熱スルニ要スル熱量ヲ液體熱ト云ヒ之レヲ q' ニテ表ハ  
 シ其ノ比熱ヲ C トスレバ

$$q' = \int_0^t C dt.$$

而シテ水ノ比熱ハ一定ニアラズシテ溫度ト共ニ變化ス、 Cal-  
 lender ノ結果ニ依レバ第 3 圖ノ如ク 0°C ヲリ 40°C 迄ハ減ジ  
 40°C ヲリ 100°C 迄ハ漸次増加シ其レ以後ハ稍急ニ増加ス、又  
 Dieterici ハ 40°C ヲリ 300°C 迄ニ就キ水ノ比熱及平均比熱ニ對シ  
 次ノ式ヲ與ヘタリ、

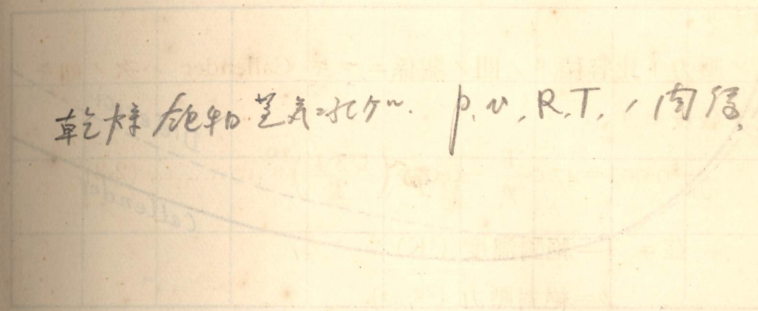
$$C = 0.9983 - 0.1037 \times 10^{-3}t + 0.2073 \times 10^{-5}t^2 \dots \dots (2.4)$$

$$C_m = 0.9983 - 0.5184 \times 10^{-4}t + 0.6912 \times 10^{-6}t^2 \dots \dots (2.5)$$

茲ニ C<sub>m</sub> ハ平均比熱ヲ表ハス、尙嚴密ニハ比熱ハ溫度ノミナラ

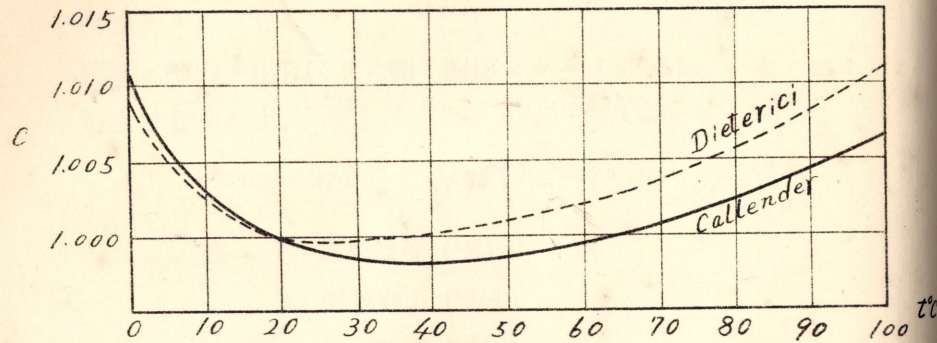
R. Mollier

$$v = \frac{RT}{p} - \frac{1.45}{\left(\frac{T}{100}\right)^2} - 5000 \frac{10^{-8}p}{\left(\frac{T}{100}\right)^{3.5}} \quad R: +7.053$$





ズ壓力ニ依リテモ異ルベキモ普通水ニ於テハ其ノ影響ハ僅少ニシ  
テ一般ニハ壓力ニ無關係ト看做サル、



第 3 図

上述ノ如ク比熱ハ温度ニ依リ一定セザレド 0°C ト 100°C ノ間  
ニ於テハ其ノ差僅少ナルヲ以テ實用上ニハ  $C=C_m=1$  ト置クモ大  
差ナク從ツテ  $q=t$  トナリ其レ以上ノ温度ニ對シテハ  $q>t$  トナ  
ルモ 200°C ニ於テハ  $q=203.5$  kcal ナル如ク實際ノ値ト大差ナキ

モノナリ、  
純淨水

(II) 蒸氣ノ全熱量、

蒸發ニ對スル全熱量ヲ  $\lambda$  トセバ既ニ述ベタル如ク

$$q'' = \lambda = q' + r = q' + \rho + \psi = q' + \rho + Ap(v'' - v')$$

ニテ表ハサレ Regnault ハ此ノ  $\lambda''$  ニ對シ次ノ式ヲ與ヘ甚ダ正確  
ナル結果ヲ示ス、即チ

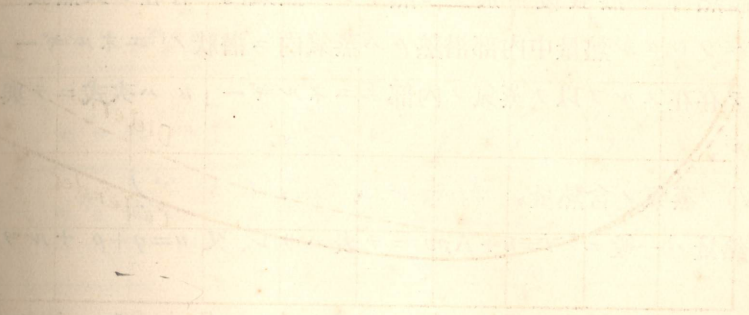
$$\lambda'' = \lambda = 606.5 + 0.305 t \dots\dots\dots (2.6)$$

從ツテ  $q'=t$  トセバ

$$r = \lambda - q' = 606.5 - 0.695 t \dots\dots\dots (2.7)$$

又高温度ニ對シテハ  $q'>t$  ナルヲ以テ (2.7) 式ニ對シ次ノ式ヲ與  
ヘラル、

$C = C_m = 1$  實用上



$f = (r_1 - r)$



r = 607 - 0.708 t ..... (2.8)

(III) 蒸氣ノ「エネルギー」乾燥飽和蒸氣内貯 energy.

液體熱 q'ハ蒸發後ニ於テモ熱トシテ蒸氣内ニ存在シ又蒸發ノ際加ヘラレタル熱量中内部潜熱 ρハ蒸氣内ニ潜狀ノ「エネルギー」トシテ存在スルヲ以テ蒸氣ノ内部「エネルギー」uハ次式ニテ與ヘラル、 u' = q' + ρ ..... (2.9)

(IV) 蒸氣ノ含熱量、乾燥飽和蒸氣 (2.10)

含熱量ハ一般ニ i = u + Apvニテ表ハサレ、又 u = q + ρナルヲ以テ

乾燥飽和蒸氣ニ對シテハ

i'' = q + ρ + Apv'' = q + ρ + Ap(v'' - v') + Apv' = λ + Apv' ..... (2.9)

即チ含熱量ハ全熱量ヨリハ Apv'' 即チ給水ニ要スル仕事丈ケ大トナルコトヲ知ル、 i'' = i' + Apv'' ..... (2.10)

u = q + ρ ..... (2.10)

(V) 濕潤蒸氣ノ全熱量竝ニ「エネルギー」

xヲ濕潤飽和蒸氣ノ乾度トセバソノ蒸氣 1 kgノ全熱量及「エネルギー」ハ次ノ式ニテ與ヘラル、

{ gA\_m = q' + xr = q + xρ + Ap x(v'' - v') } ..... (2.11)

即チ乾燥飽和蒸氣ノ全熱量 q + rニ比シテ濕潤蒸氣ノ全熱量ハ (1-x)r kcal ダケ小トナル、今給水溫度ヲ t\_0°C トスレバ乾度 xナル濕潤蒸氣 1 疋ヲ發生スルニ要スル全熱量ハ q\_0 = t\_0ナルヲ以テ

λ\_m = λ - q\_0 - (1-x)r      i\_m = i' - q\_0

φ = Ap(u'' - u')

(u'' - u') = ρ,      u' = q' + ρ

u'' = q + u' = q' + ρ

i'' = i' + Apv'' ..... (2.10) = p(0) (式)

r = (ρ + q)

i\_m = i'' - (1-x)r

i\_m = i'' - (1-x)r - q\_0



茲ニ  $\lambda, q_0, r$  ハ蒸氣表ヨリ見出シ得、

次ニ濕潤蒸氣ノ「エネルギー」ハ次ノ式ニテ與ヘラル、

$$u_m = q + x\rho \dots \dots \dots (2.12)$$

$$u_m = u' + x(u'' - u')$$

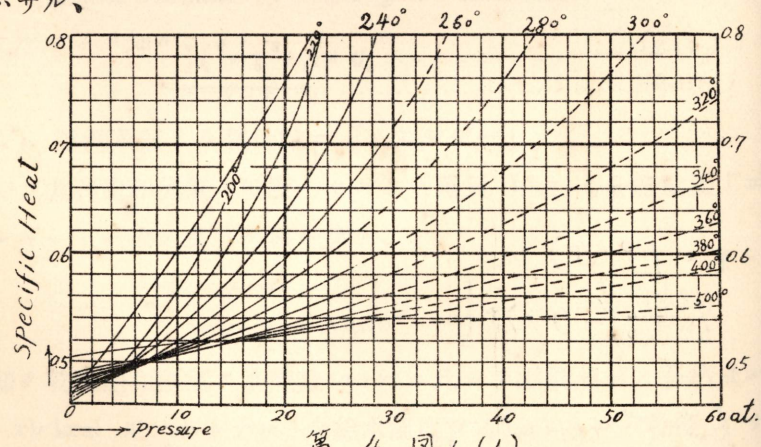
$$= q' + xq$$

一一、過熱蒸氣、

(I) 全熱量、

過熱蒸氣ハ全壓力ノ飽和蒸氣ヨリ成生セラルルヲ以テ其ノ全熱量ハ乾燥飽和蒸氣ノ全熱量 ( $q+r$ ) ト過熱ニ要スル熱量トノ和ナリ、

一般ニ過熱ノ状態ニアル蒸氣ノ性質ハ瓦斯ニ類似スルモノニシテ定壓下ニ加ヘラレタル熱量ノ一部ハ其ノ溫度ヲ上昇セルムル爲ニ用ヒラレ残りノ熱量ハ膨脹ノ仕事ニ費サル而シテ1 珎ノ蒸氣ノ溫度ヲ  $1^\circ\text{C}$  上昇セシムルニ要スル熱量ヲ定壓比熱ト稱シ  $C_p$  ニテ表ハサル、



第 4 圖 (1)

以前ニ於テハ  $C_p$  ハ溫度及壓力ニ關係ナク其ノ値ハ 0.48 ナリトサレタルモ實驗ノ結果  $C_p$  ハ全一溫度ニ對シテハ第 4 圖ノ (1)(2)



ニ見ル如ク壓力ニ比例シ又同一壓力ニ於テハ飽和點ヨリ溫度上昇ト共ニ先ヅ減少シ 250°C ヨリ 300°C 附近ヨリ徐々ニ上昇ス、第4圖ノ(2)ハ Knoblach ノ實驗ニ依リ定メタル  $C_p$  ノ値ヲ壓力 30 at. 溫度 350°C マデ表ハシタルモノナリ、過熱ニ要スル熱量  $Q_s$  ハ前述ノ如ク次式ニテ與ヘラル、

$$Q_s = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT.$$

而シテ普通過熱ニ要スル熱量ヲ算出スルニハ要スル溫度間ノ平均比熱ヲ使用シ之ヲ  $(C_p)_m$  トスレバ

$$(C_p)_m = \frac{\int_{T_1}^{T_2} C_p dT}{T_2 - T_1}$$

即チ蒸氣ヲ過熱スルニ要スル熱量ハ次式ニテ與ヘラル、

$$Q_s = (C_p)_m (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (2.13)$$

從ツテ過熱蒸氣ノ全熱量  $h_s$  ハ次式ニテ與ヘラル、

$$h_s = q + r + (C_p)_m (t_s - t) \dots\dots\dots (2.14)$$

(II) 過熱蒸氣ノ特性式、

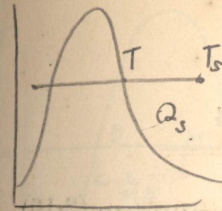
過熱蒸氣ノ狀態ヲ決定スル座標ノ函數タル  $p, v, T$  ハ互ニ關係シ其ノ關係ハ  $v = f(p, T)$  ナル函數的關係式ニテ表ハサル、上述ノ如ク過熱蒸氣ノ性質ハ一般ニ瓦斯ニ類似スルモ完全瓦斯ノ特性式  $pv = RT$  トハ實驗ノ結果一致セザルヲ知ル、即チ R. Linde ハ次ノ式ヲ與ヘタリ、

$$pv = RT - p(1 + ap) \left[ C \left( \frac{273}{T} \right)^3 - D \right] \dots\dots\dots (2.15)$$

茲ニ  $R = 47.10$   $a = 0.2 \times 10^{-5}$   $C = 0.031$   $D = 0.0052$

又工業上ノ計算殊ニ比容ノ計算ニ使用スル爲與ヘタル

R. Linde ノ式ハ次ノ如シ、



$$Q_s = \int_T^{T_s} c_p dt$$

$$h_s = q + r + (C_p)_m (t_s - t)$$



$$pv = 47.1 T - 0.016 p. \quad (p \text{ in kg/m}^2) \dots \dots \dots (2.16)$$

一二、蒸氣ノ「エントロピ」、

今 0°C ノ水ヲ沸騰點マデ熱スルモノトシ水ノ比熱  $C=1$  ト見做セバ之ニ加ヘラレタル熱量  $dQ = CdT = dT \text{ kcal}$  トナル、

從ツテ水ノ「エントロピ」ハ次ノ式ニテ與ヘラル、

$$S_w = \int_{273}^T \frac{cdT}{T} = 2.303 \log \frac{T}{273} \dots \dots \dots (2.17)$$

而シテ  $T^0$  ノ水ヲ定壓ノ下ニ全部蒸發セシムル間ハ溫度ノ變化ナク其ノ間ニ取り入ルル熱量即チ蒸發熱量ヲ「エントロピ」ノ増加ハ  $\frac{r}{T}$  ニテ表ハサレ  $T^0$  ニ於ケル乾燥飽和蒸氣ノ「エントロピ」ハ次ノ式ニテ與ヘラル、

$$S = 2.303 \log \frac{T}{273} + \frac{r}{T} \dots \dots \dots (2.18)$$

次ニ蒸氣ノ乾度ヲ  $x$  トセバ濕潤蒸氣ノ「エントロピ」ハ次ノ如クナル、

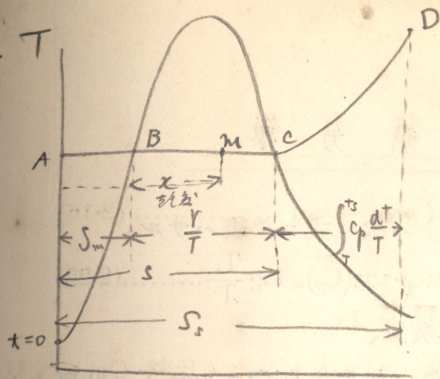
$$S_m = 2.303 \log \frac{T}{273} + \frac{xr}{T} \dots \dots \dots (2.19)$$

過熱蒸氣ノ比熱ヲ  $C_p$  トスレバ過熱過程中定壓ニ於ケル「エントロピ」ノ變化ハ  $ds = C_p \frac{dT}{T}$  ニテ表ハサル從ツテ  $T^0$  ノ飽和溫度ヨリ  $T_s$  マデ過熱サルル間ノ「エントロピ」ノ増加ハ

$$S_s - S = \int_T^{T_s} \frac{C_p dT}{T} \dots \dots \dots (2.20)$$

トナリ  $C_p$  ノ代リニ  $(C_p)_m$  ヲ用フレバ

$$S_s - S = 2.303 (C_p)_m \log \frac{T_s}{T} \dots \dots \dots (2.21)$$



$$ds = \frac{dQ}{T}$$

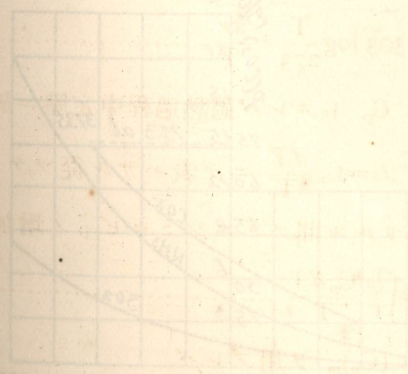
$$0^\circ / S' = 0.12$$

$$dQ = c dT - dT \text{ kcal}$$

$$S_w = \int_{273}^T \frac{cdT}{T} = c \int_{273}^T \frac{dT}{T} \quad c=1, \quad \int \frac{dT}{T} = \log_e T$$

$$= [\log_e T]_{273}^T = \log_e \frac{T}{273} = 2.303 \log_{10} \frac{T}{273}$$

$$S = S_w + \frac{r}{T} \quad \left\{ \begin{array}{l} S_m = S_w + \frac{r}{T} x \\ S_w = S - \frac{r}{T} (1-x) \end{array} \right.$$





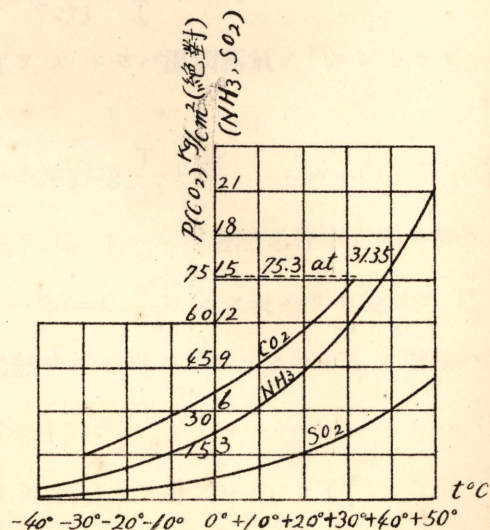
故ニ過熱蒸氣ノ「エントロピ」ハ次ノ式ニテ表ハサル、

$$S_s = 2.303 \log \frac{T}{273} + \frac{r}{T} + 2.303(C_p)_m \log \frac{T_s}{T} \dots\dots(2.22)$$

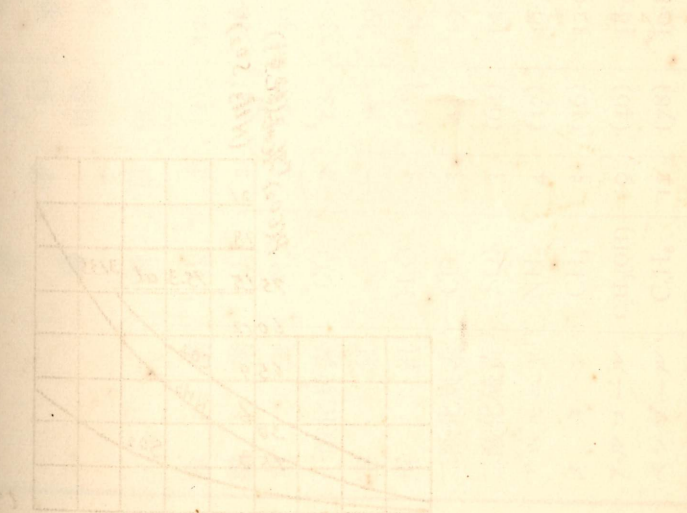
[附] CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> ノ蒸發氣、

冷却機關作業物質トシテ之等ノ性質ヲ研究スルコトハ肝要ナルモ夫等ハ前述ノ蒸氣ノ特性ニ類似シ只飽和溫度並ニ壓力ガ著シク異ルノミナルヲ以テ茲ニハ簡單ニ附述スルニ止メントス、

即チ水ハ大氣壓 100°C ニテ乾燥又ハ濕潤狀態トシテ存在シ得ルニ對シ之等ノ蒸發氣ハ大氣壓 0°C ニ於テモ過熱狀態ニ在リ、約-80° (CO<sub>2</sub>), -35° (NH<sub>3</sub>), -8° (SO<sub>2</sub>) ニ於テ始メテ濕潤狀態トナルモノナリ、換言スレバ之等ノ溫度ハ大氣壓ニ於ケル蒸發溫度若クハ液化溫度ニシテ蒸氣ニ比シ著シク低キヲ知ル、尙蒸發氣ヲ壓縮スル時ハ壓力高マル程液化溫度高マルヲ以テ冷却度少クシテ可ナルモノナリ、



第 5 図



第 6 図







例題

1. 溫度 250°C ナル乾燥飽和蒸氣ノ壓力, 比容, 「エントロピ」, 含熱量, 及潛熱ヲ求メヨ、
2. 絶對壓力 20 kg/cm<sup>2</sup> 乾度 98% ナル蒸氣ノ溫度, 比容, 「エントロピ」, 含熱量, 内部「エネルギー」, 外部潛熱及内部潛熱ヲ求メヨ、
3. 溫度 75°C ノ水 5 噸ヲ絶對壓力 18 kg/cm<sup>2</sup> 過熱溫度 50°C ナル過熱蒸氣ニ變ズルニ要スル熱量ヲ求メヨ、
4. 容積 8 立方メートルナル罐アリ、壓力 5 kg/cm<sup>2</sup> ノトキ水及蒸氣ノ容積相等シト云フ、今此ノ罐ヲ熱シテ壓力 15 kg/cm<sup>2</sup> ニ上昇セシメントス、與フベキ熱量ヲ見出セ、但シ塞止弁ハ閉鎖ノ儘トス、
5. 補助排氣ヲ以テ加熱スル直接式主給水加熱器アリ、主機械ノ復水溫度 30°C ニシテ之ヲ前記給水加熱器ニ依リ加熱セントス、給水溫度如何、但シ補助排氣量ハ主蒸氣量ノ 10% ニシテ壓力 2 kg/cm<sup>2</sup> (abs). 乾度 80% ナリ、又總テノ熱損失ハナキモノトセヨ、
6. 罐ニ於テ或一定ノ状態ノ下ニ一定量ノ蒸氣ヲ醸成スルニ要シタル熱量ヲ以テ攝氏 100°C ノ水ヲ同溫度ノ乾燥飽和蒸氣ニ變ジ得ル量ヲ蒸發當量 (Equivalent evaporation) ト稱シ罐效力ノ比較ニ使用セラル、今或罐ニ於テ溫度 35°C ノ給水ヲ以テ壓力 18 kg/cm<sup>2</sup>. 乾度 98.5% ノ蒸氣ヲ毎分 800 kg. 醸成スト云フ、其ノ蒸發當量幾何ナリヤ、

2. 20 kg/cm<sup>2</sup> (abs) / 20 bar : 211.34 °C.

蒸氣ノ温度 211.34 °C.

比容  $v = v' + (v'' - v')x = v' + v''x - v'x = v''x + v'(1-x)$   
 $= v''x = 0.78 \times 0.1014 = 0.01 \text{ m}^3/\text{kg}$  *neglect*

「エントロピ」  $s = s' + x(s'' - s') = s' + x \frac{r}{T} = s'' - (1-x) \frac{r}{T}$   
 $= 1.523 - (1-0.98) \frac{455.89}{484.34} = 1.523 - 0.01885$   
 $= 1.5042$

含熱量  $i = i'' - (1-x)(i'' - i') = i'' - (1-x)r = i' + xr$   
 $= 215.8 + 0.98 \times 452 = 215.8 + 443 = 658.8 \text{ cal}$

外部潜熱  $u = u' + xr$   $u' = 8'$   
 $u'' = 8'' = 8' + r$

$u' = 215.8$   $u'' = 667.8$

内部潜熱  $g = u'' - u' = 8'' - 8' = i'' - i' = 452 \text{ cal}$

外部潜熱  $r = 452$

$p = 2 \text{ kg/cm}^2$   $119.6^\circ\text{C}$   $i' = 119.9$   $r = 526.6$   
 $u' = 646.5$

7. 蒸氣ノ力 合計 50000 S.H.P. = 17500 馬力  
 蒸氣消費量 (W.S) 40000 噸  
 蒸氣用圧力 22 kg/cm<sup>2</sup> (gauge) 温度 81.0°C 蒸氣ノ乾度 95% 給水温度 20°C かつ  
 合計 1 馬力 1 噸 蒸氣ヲ醸成スルニ要スル  
 熱量 (10000 kcal/kg)

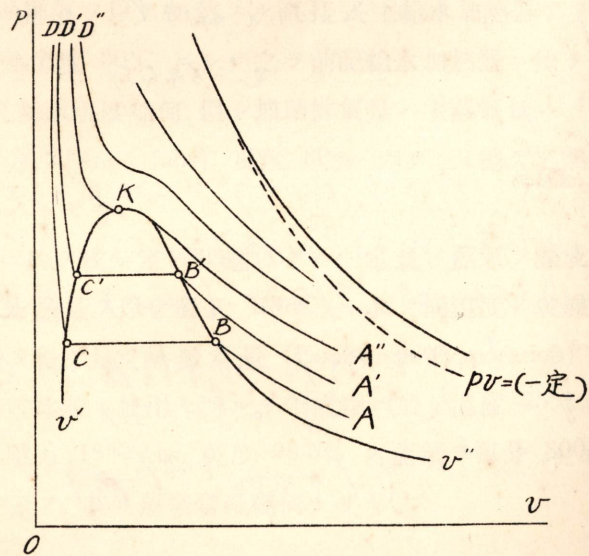


## 第三章

## 蒸發氣ノ状態變化ト蒸氣線圖

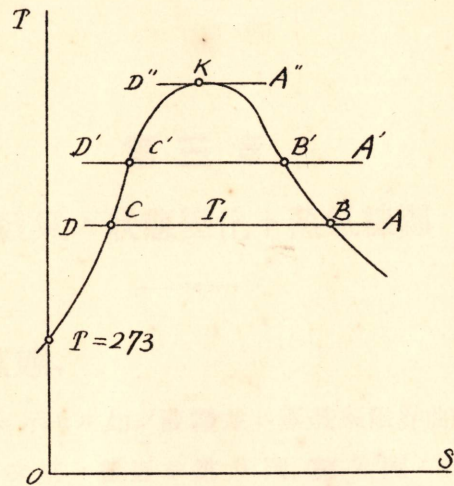
## 一三、限界状態、

既ニ第1圖ニ示セル如ク液體並ニ蒸發氣限界曲線ハ壓力、溫度ノ上昇ト共ニ次第ニ接近シ第6圖、第7圖ノ如クKニ於テ合致シ此ノ状態ニ於テハ全然濕潤蒸發氣ノ存在セザルコトヲ示シ從テ液體、蒸發氣兩限界曲線ハ此ノ連續曲線ノ一部ニ過ギザルコトヲ知ル、此ノ連續曲線ノ示ス意味ヲ一層明瞭ニスル爲ニ等溫



第6圖





第 7 圖

變化（壓縮）ヲ考フルニ今第 6 圖，第 7 圖ニ於テ状態 A ニテ示サルル過熱蒸發氣ヲ其ノ溫度 T ノ儘等溫壓縮ヲナサシムレバ壓力ハ高マリ其ノ溫度ニ相等スル飽和壓力 B 點迄上昇ス、尙等溫壓縮ヲ續クレバ等壓ノ儘 BC 線ニ沿ヒ凝結ヲ續ケ C 點ニ於テ全部液化シ其ノ結果著シキ體積ノ減少ヲ伴ヒ更ニ液體ヲ等溫壓縮スレバ CD ノ如ク壓力ノ増加ハ急トナル、斯ノ如ク等溫壓縮ハ三ツノ判然ト區別シ得ル部分即チ AB 過熱狀態、BC 濕潤狀態、CD 液體狀態ノ三部分ヨリ成ルコトヲ知り若シ溫度ヲ高ムレバ同様な結果ヲ得ルモ次第ニ BC ノ長サヲ減ジ K ニ於ケル溫度  $T_k$  迄高ムレバ極限トシテ BC ハ一點トナル、

即チ  $BC = v'' - v' = 0. \quad v'' = v'$

從テ Clapeyron ノ式

$$r = AT(v'' - v') \frac{dp}{dT}$$



ヨリ蒸發潜熱  $r=0$  ナルコトヲ知り尙壓縮溫度ヲ高メテ  $T_k$  以上ニ高ムレバ次第二  $p v = \text{恒數}$  ナル直角雙曲線ニ近ヅキ完全瓦斯ニ近キ性質ヲ有スルニ到ルコトヲ知ル、此ノ  $K$  點ヲ臨界點其ノ點  
Critical point  
 ニ於ケル溫度及壓力ヲ夫々臨界溫度臨界壓力ト名付ケ之等ノ値ハ  
Critical temp. Critical pressure  
 物質ニ依リ夫々一定トナル、W. Schüle ニ依レバ

物 質	臨界溫度 $T_k$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	臨界壓力 $p_k$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	比 容 積 $v_k$ (litre/kg)	飽和溫度 °C at 760 m.m
水 $\text{H}_2\text{O}$	374.0	224.2	2.9	+100
アンモニア $\text{NH}_3$	132.9	116.2	5.22	-33.7
二酸化硫黃 $\text{SO}_2$	156.0	81.5	1.92	-8
炭酸瓦斯 $\text{CO}_2$	31.35	75.3	2.16	-78
窒 素 $\text{N}_2$	-147.1	34.59	3.216	-195.6
酸 素 $\text{O}_2$	-118.8	51.35	—	-183.0
水 素 $\text{H}_2$	-242.0	11.00	—	-252.8
空 氣 —	-140.0	40.4	2.835	-191

以上ノ結果ヨリ濕潤蒸發氣ハ只臨界溫度以下ニ於テノミ存在シ  
 之ヨリ高キ溫度ニ於テハ如何ニ壓力ヲ加フルモ液化シ得ザルコト  
 ヲ知ル、例ヘバ一般ニ完全瓦斯ト看做シ得ル空氣、水素等ノ臨界溫  
 度ハ攝氏零度以下遙カニ低ク換言スレバ常溫ハ臨界溫度ヨリ遙ニ  
 高く常溫ニ於テハ既ニ著シク過熱セラレアルコトトナルガ故ニ從  
 テ其ノ性質ハ完全瓦斯ニ近キ理ナリ、即前述ノ如ク瓦斯ト謂ヒ蒸  
 發氣ト謂フモ其ノ間ニハ判然タル區別アルナク只飽和狀態ヨリノ  
 距リ如何ニアルノミナルコトヲ克ク了解スルヲ要ス、



## 一四、蒸氣線圖、

第一章ニ於テ蒸發氣ニ對スル  $p, v, T$  間ノ特性式及狀態ヲ決定スルニ要スル含熱量, 「エントロピ」ノ式ヲ求メシ故任意ノ狀態ノ變化ニ對スル夫等ノ量ノ變化ハ計算ニ依リ求ムルコトヲ得ルモ一般ニ其ノ手數煩雜ナルヲ免レズ、故ニ今若シ狀態ノ函數ナル  $p, v, T, i, s$  ノ内何レカニツテ座標ニトリ豫メ計算ニヨリ標準トナル多クノ狀態變化ヲ圖示シ置カバ任意ノ狀態ノ變化ニ對スル諸性質ノ變化ハ計算ニ依ラズ直接之等ノ線圖ヨリ求ムルコトヲ得、之實用上廣クカカル線圖ノ用キラルル所以ニシテ其ノ内最モ便利ニシテ廣ク用キラルルモノハ  $T-s$  線圖及  $i-s$  線圖ナリトス、以下蒸氣ニ對スル之等ノ線圖ノ構成ヲ述ベントス、他ノ蒸發氣ニ就テモ同様ノ線圖ヲ得ベシ、

(I) 溫度「エントロピ」線圖 ( $T-s$  線圖)

溫度竝ニ「エントロピ」ヲ座標トスル面上ニ於ケル水及蒸氣ノ兩限界曲線ハ次ノ式即チ

$$s' = \int_{273}^{T_1} \frac{C'dT}{T} \quad (\text{水ノ限界曲線})$$

$$s'' = s' + \frac{r}{T_1} \quad (\text{蒸氣ノ限界曲線})$$

ニ依リ求メ得、即第 8 圖ニ於テ  $A_0A_1, B_1B_2$  ノ如ク圖示セラレ更ニ同面上ニ尙次ノ如キ等狀態線ヲ得、

## (a) 等壓線、

壓力  $p_1$  竝ニ  $p_2$  ニ於ケル飽和溫度ヲ夫々  $T_1, T_2$  トスレバ蒸發中溫度一定ナルガ故ニ  $A_1B_1, A_2B_2$  ノ如ク  $s$  軸ニ平行ナル直線トナル、過熱域ニ於ケル「エントロピー」ノ増加ハ既ニ述ベタル如

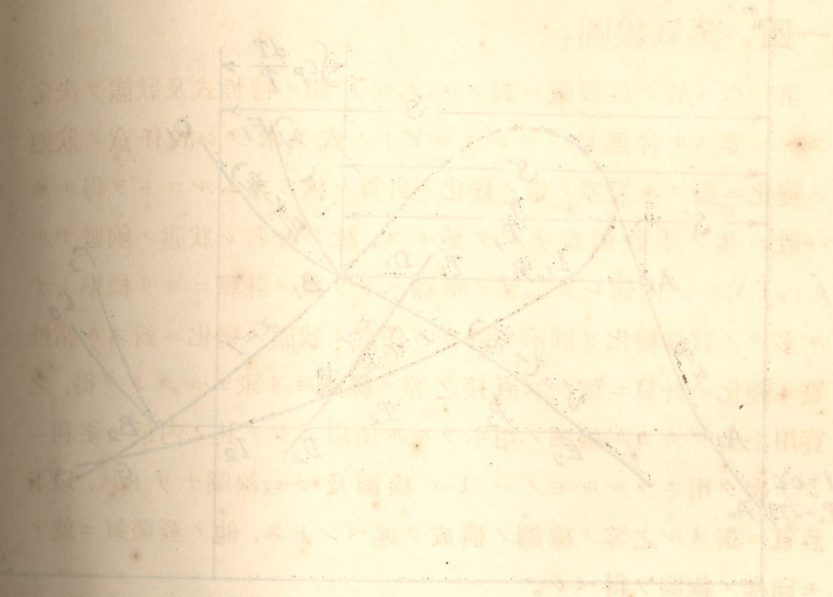


Figure 8: A thermodynamic diagram showing the relationship between temperature (T) and entropy (s) for water and steam. The diagram features a grid with a vertical axis for entropy (s) and a horizontal axis for temperature (T). A curve represents the saturation boundary, with a vertical line indicating the boiling point. The area under the curve is divided into regions for liquid water, saturated steam, and superheated steam. Various points and lines are labeled, including A0A1, B1B2, and A1B1, A2B2, illustrating state changes and processes like isobaric expansion and condensation.







$$\text{或ハ又} \quad x = \frac{A_1 D_1}{A_1 B_1} = \frac{A_2 D_2}{A_2 B_2} = \dots$$

ナル條件ヨリ  $D_1, D_2, \dots$  ノ如ク決定セラルル點ヲ連結スレバ任意ノ乾度  $x$  ナル等乾度線  $D_1 D_2$  ヲ求ムルコトヲ得、

(c) 等積線、

次ニ乾度  $x$  ナル濕潤蒸氣ノ比容ハ既ニ述ベタル如ク、

$$v_m = v' + x(v'' - v')$$

$$\therefore x = \frac{v_m - v'}{v'' - v'}$$

夫故異ル壓力例ヘバ  $p_1, p_2, \dots$  ニ於ケル乾燥飽和蒸氣ノ比容  $v_1'', v_2'', \dots$  及飽和水ノ比容  $v_1', v_2', \dots$  ヲ知レバ同一  $v_m$  ニ對スル乾度ハ上式ヨリ直ニ算出セラレ其ノ値ヲ  $x_1, x_2, \dots$  トシ

$x_1 = \frac{A_1 E_1}{A_1 B_1}$   $x_2 = \frac{A_2 E_2}{A_2 B_2}$  ..... トナル如キ  $E_1, E_2, \dots$  ナル點ヲ對應スル等溫線上ニ求メ之等ノ點ヲ連結スレバ所要ノ等積線ヲ得、例ヘバ壓力  $p_1$  ノ乾燥飽和蒸氣ノ比容  $v_1''$  ト等シキ等積線ハ  $B_1 E_2$  ノ如シ、

尙過熱域ニ於ケル等積線ハ其ノ特性式  $v = f(T, p)$  ガ與ヘラルレバ體積ヲ一定トシテ異ル壓力ニ對スル溫度ヲ算出シ、此ノ  $p$  ト  $T$  ノ値ヲ用ヒ「エントロピ」ノ式ヨリ  $T$  ト  $s$  ノ對應値ヲ求ムレバ  $B_1 F_1, B_2 F_2, \dots$  ノ如ク求メラレ其ノ傾斜ハ等壓線ヨリ急ナリ、

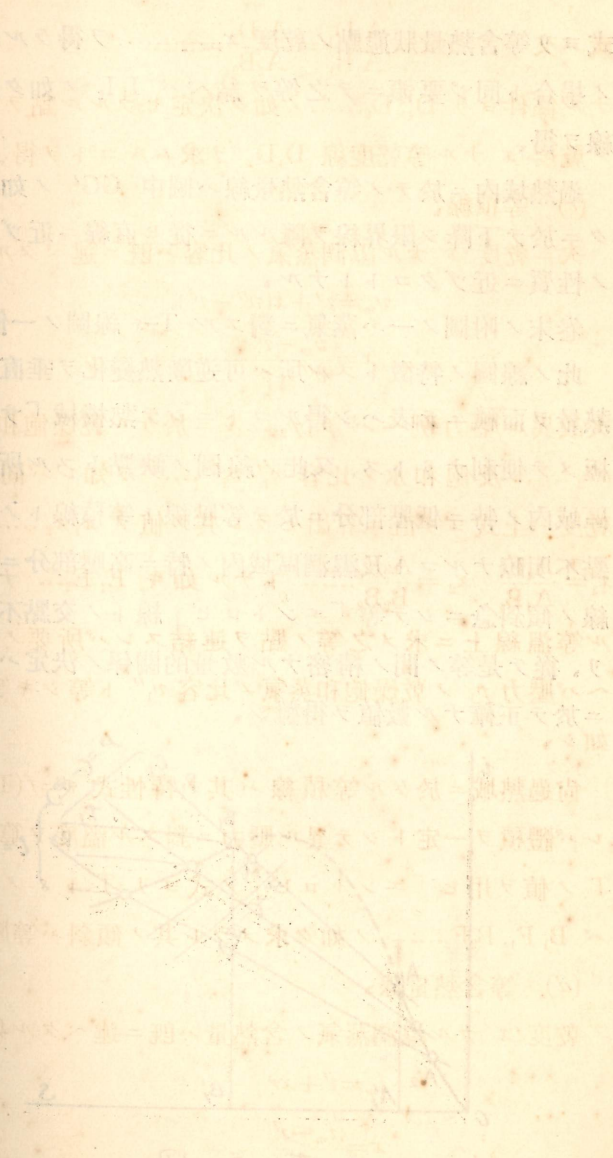
(d) 等含熱量線、

乾度  $x$  ナル濕潤蒸氣ノ含熱量ハ既ニ述ベタル如ク、

$$i_m = i' + xr$$

$$\therefore x = \frac{i_m - i'}{r}$$

夫故異ル壓力ニ對スル  $i', r$  ヲ知レバ、一定  $i_m$  ナル條件ヲ用ヒ上



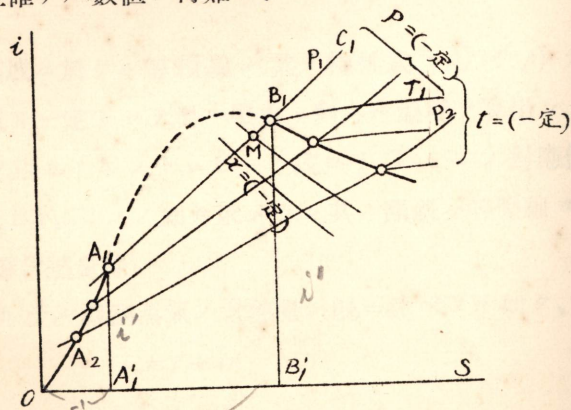


式ヨリ等含熱量狀態點ノ乾度  $x_1, x_2, \dots$  ヲ得ラルルガ故ニ等積線ノ場合ト同ジ要領ニテ之等ヲ結ベバ  $I_1 I_2$  ノ如ク所要ノ等含熱量線ヲ得、

過熱域内ニ於テノ等含熱量線ハ圖中  $GG'$  ノ如ク飽和限界線近クニ於テ下降シ限界線ヲ離ルルニ從ヒ直線ニ近ヅキ漸次完全瓦斯ノ性質ニ近ヅクコトナル、

卷末ノ附圖ノ一ハ蒸氣ニ對スル  $T-s$  線圖ノ一例ナリ、

此ノ線圖ノ特徴トスル所ハ可逆斷熱變化ヲ垂直線ニテ表ハシ又熱量ヲ面積ニテ表ハシ得ルコトニシテ熱機械「サイクル」研究上極メテ便利ナリトス、又此ノ線圖ノ缺點トスル所ハ過熱域及濕潤區域内ノ特ニ低壓部分ニ於テ等壓線ト等積線トノ交角小ニシテ交點不明瞭ナルコト及濕潤區域内ノ特ニ高壓部分ニ於ケル等含熱量線ノ傾斜急ニシテ等「エントロピ」線トノ交點不明瞭ナルコトナリ、從テ是等ノ間ノ精密ナル數量ノ關係ノ決定ハ困難ニシテ結果ニ於テ正確ナル數値ヲ得難シ、



第 9 圖



(II)  $i$ - $s$  線圖 (Mollier 線圖)

含熱量  $i$  ヲ縦軸トシ「エントロピ」 $s$  ヲ横軸トスル直角座標ニ依リ蒸氣ノ性質ヲ圖示セルモノニシテ Mollier 最初ニ之ヲ企テシヲ以テ又 Mollier 線圖ト稱ス、

第 9 圖ニ於テ飽和液線及乾燥飽和蒸氣線ノ兩限界線ニ  $A_1A_2$ ,  $B_1B_2$  ノ如ク蒸汽表ノ數值ヨリ直ニ圖示シ得ラル、例ヘバ壓力  $p_1$  ニ於ケル  $s', i', s'', i''$ , ヲ表ヨリ求メ  $s' = OA'_1$ ,  $i' = A_1A'_1$ ,  $s'' = OB'_1$ ,  $i'' = B_1B'_1$  ノ如ク  $A_1B_1$  ヲ決定シ同様ナ方法ニテ異ナル壓力  $P_2, P_3, \dots$  ニ對シ  $A_2A_3, \dots$  及  $B_2B_3, \dots$  ナル點ヲ求メテ連結スレバ兩限界線ヲ得、

## (a) 等乾度線、

濕潤區域内ニ於ケル任意ノ點  $M$  ハ壓力ト乾度  $x$  トヲ知レバ

$$i_m = i' + xr$$

$$s_m = s' + x \frac{r}{T}$$

ニ依リ決定セラル、從テ異ル壓力ニ於テ  $x$  ヲ一定トセル狀態點ヲ結ベバ等乾度線ヲ得ラル、

## (b) 等壓線、

等壓點ヲ結ベバ等壓線ハ得ラレ  $A_1B_1C_1$  ノ如クナルナル、

濕潤區域ニ於テハ  $(dq)_p = di$ ,  $ds = \frac{dq}{T}$  ナルヲ以テ  $\left(\frac{di}{ds}\right)_p = T$  トナリ、

與ヘラレタル  $p$  ニ對シ  $T$  ハ一定ナル故  $i$  ト  $s$  トノ變化割合一定ニシテ此ノ部分ノ等壓線ハ  $A_1B_1, A_2B_2$  ノ如ク直線トナル而シテ直線ノ傾ハ其ノ壓力ニ相當スル絶對飽和溫度ナルコトヲ知ル、サレド過熱域内ニ於テハ溫度ノ上昇ニ伴ヒ含熱量ト「エントロピ」



第五十一期生徒平常考查問題

施行期日 16. 2. 28

時 限 45分

應 用 熱 力 學

- 一、 圧力  $20 \text{ kg/cm}^2$  (abs) 乾度  $90\%$ 、濕潤蒸氣、性質 (含熱量、内部「エネルギー」、比容「エントロピー」、蒸氣溫度) を求む (蒸氣表ヲ使用セヨ)
- 二、  $30 \text{ kg/cm}^2$  (abs) 蒸氣溫度  $350^\circ\text{C}$ 、過熱蒸氣、性質ヲ  $i-s$  線ヨリ求む。

三、 補助排氣ヲ以テ加熱スル直接式主給水加熱器アリ、主機械、  
複水溫度  $30^\circ\text{C}$  = シテ之ヲ前記給水加熱器 = 依リ加熱セントス  
給水溫度如何、

但シ補助排氣量、主蒸氣量、 $10\%$  = シテ圧力  $2 \text{ kg/cm}^2$  (abs)  
乾度  $80\%$  ナリ、又 疏ニ熱損失ハナキモノトセヨ、



ノ變化ノ割合一定トナラズ、從テ此ノ部分ノ等壓線ハ直線トナラズ、若シ過熱蒸氣ニ對スル含熱量ト「エントロピ」ノ表ヲ利用シ得バ直ニ其ノ等壓竝ニ等溫線ハ圖示シ得ルモ然ラザル場合ハ與ヘラレタル壓力ニ對シ近似的ニ次ノ關係式ヨリ求メ得、

$$i = i'' + \int_{T_1}^{T_s} C_p dT = i'' + C_p(T_s - T_1)$$

$$s = s'' + \int_{T_1}^{T_s} C_p \frac{dT}{T} = s'' + C_p \log \frac{T_s}{T_1}$$

茲ニ  $T_1$  ハ飽和溫度、 $T_s$  ハ過熱溫度トス、

(c) 等溫線、

等溫線ハ  $A_1 B_1 T_1$  ノ如クナリ濕潤區域ニ於テハ等壓線ト重ルモ過熱狀態ニ於テハ  $i$  ト  $s$  トノ變化割合一定ナラザルヲ以テ曲線トナル各等壓線上ニ同一溫度ニ對スル  $i$   $s$  トノ對應値ヲ求メ其ノ點ヲ結ベバ等溫線ヲ得、

(d) 等積線、

等積線ノ求メ方ハ  $T$ - $s$  線圖上ニ於ケル場合ト略等シク濕潤區域ニ於テハ  $v_m = v' + (v'' - v')x$  ヨリ各壓力線上ニ與ヘラレタル  $v_m$  ニ對スル  $x$  點ヲ求メ之ヲ連結シテ得ラル、

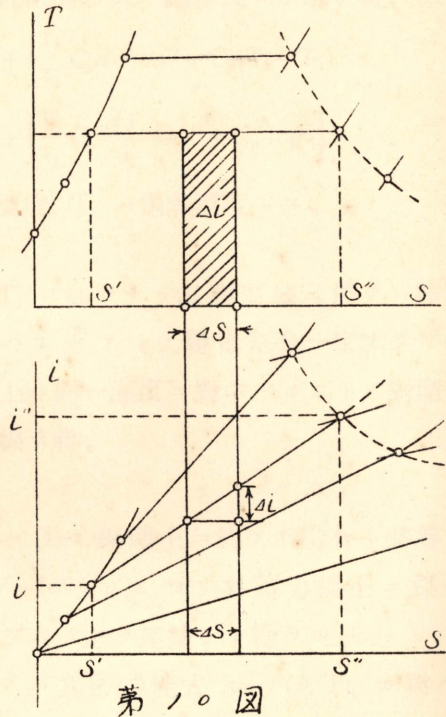
過熱域ニ對シテハ其ノ特性式  $v = f(p, T)$  ガ與ヘラルレバ  $v = \text{const}$  ノ條件ノ下ニ  $p$  ト  $T$  トノ對應値ヲ求メ  $s$  及  $i$  ノ式ヨリ求ムルコトヲ得、

卷末ノ附圖ニハ蒸氣ニ對スル Mollier 線圖ノ一例ナリ、

此ノ線圖ハ總テノ  $i$   $s$  一對ノ値ニ對スル  $p, x$  又ハ  $p, t$  ノ値ハ直チニ得ラレ斷熱變化モ直線ニテ表ハサルルノミナラズ第 10 圖ニ示ス如ク  $T$ - $s$  線圖ニ於テハ熱量ハ面積ニテ表ハサルニ對シ此ノ線圖ヲ以テセバ單ニ垂直距離ニテ測リ得バク實用上特ニ便利



トスル所以ナリ、只此ノ線圖ニ於テハ壓力線ノ尺度ガ部分的ニ著シク異リ特ニ高壓端ニ於テ插間法ニ依リ正確ナル値ヲ得ルコト困難ニシテ又等積線ヲ等壓線ニ對シ明瞭ニ記入シ得ザル缺點アリ、



直角座標ニ依ル  $i-s$  線圖ハ上述ノ如キ缺點アリ特殊ノ蒸氣ニ依リテハ等性線ノ交點極メテ不明瞭トナルニツキ此ノ缺點ヲ除ク爲メ對角線方向ノ等性線ノ間隔ヲ擴グル目的ヲ以テ  $s$  軸ノミ斜向線ヲ選ビタル「モリエル」斜交軸線圖アリ、冷却「サイクル」ニ於ケル  $\text{CO}_2, \text{NH}_3$  ノ含熱量ノ變化ヲ表ハスニ便利ナリ、諸子ハ機械熱力學ニ於テ之ガ圖形及使用法ヲ研究會得スベシ、

Mollier oblique co-ordinate diagram

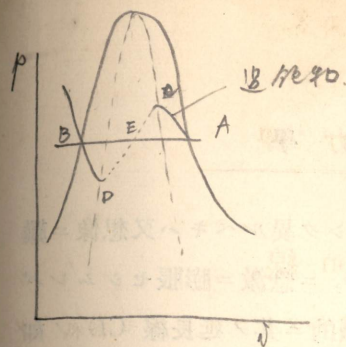


## 一五、蒸氣ノ過飽和ト Wilson 線、

蒸發氣ノ過飽和現象ニ就テハ既ニ述ベタルコトナルモ蒸氣「タービン」ノ發達ト共ニ噴口ヨリノ流出量ノ實驗ガ精密ニ行ハルルヤ其ノ結果ハ在來ノ理論的計算（安定平衡トシテノ）ヨリ算出セル流出量ニ比シ常ニ約 5% 多クナリ之レヲ説明センガ爲ニ過飽和ナル現象ガ考究セラルルニ至リタルヲ以テ以下蒸氣ノ過飽和現象ニ就キ述ベントス、

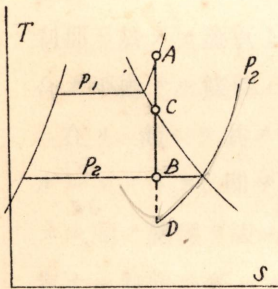
一般ニ蒸氣ノ性質ヲ圖示スル前述ノ線圖ヲ用フレバ蒸氣ガ平衡ヲ保チナガラ状態ヲ變化スル場合其ノ變化ノ途中ニ於ケル性質ノ推移ヲ知ルコトヲ得、茲ニ所謂平衡膨脹トハ膨脹ノ間ハ如何ナル刹那ニ於テモ蒸氣ト水トノ混合ハ常ニ平衡ヲナストノ謂ニシテ混合ガ平衡ナル條件ハ常ニ蒸氣ノ溫度ハ混在スル水ノ溫度ト等シキニ在リ、而シテ其ノ共通溫度ハ只單ニ壓力ノミニ依リ決定セラルルモノトス、即チ第 12 圖ニ於ケル CB ハ此ノ平衡状態ニ對スル間ノ關係ヲ表ハスモノニシテ此ノ平衡曲線外ノ點ハ總テ不安定ナル状態ヲ表ハスコトナル、斯ノ如キ平衡ナル状態變化ハ勿論一ノ理想過程ニシテ膨脹スルニツレテ蒸氣ノ一部分ガ凝結セザレバ實現シ得ズ然ルニ蒸氣ノ凝結ハ一種ノ表面現象ニシテ一部分ハ容器ノ表面ニ就テ起リ他ノ一部ハ容器中ニ或ル水滴ノ生長ヲ待ツテ起ルモノナルヲ以テ平衡膨脹ヲ實現センガ爲ニハ可成リノ長時間ヲ要スルモノナリ、又平衡状態ヨリ如何ナル状態變化ヲ爲スニ際シテモ先ヅ平衡ノ攪亂ハ伴フモノナリ、

例ヘバ蒸氣ガ噴口内ニテ膨脹スル場合ノ如キ壓力降下ニ要スル時間ハ僅ニ  $1/1,000$  乃至  $1/10,000$  秒ニシテカカル急激ナル膨脹ニ對

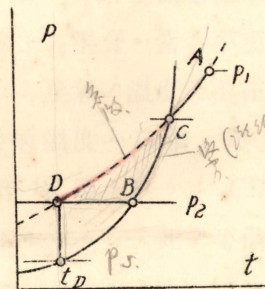




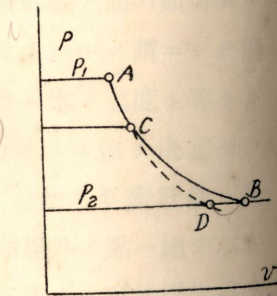
スル状態ノ變化ハ理想平衡膨脹ヨリ著シク異ルベキハ又想像ニ難カラズ、即チ第12圖ニ於テ  $p_1$  ヨリ  $p_2$  ニ急激ニ膨脹セシムレバ凝結ノ暇ナク膨脹曲線ハ AC ヨリ連続的ニ其ノ延長線 CD ノ如クナリ蒸氣ハ凝結ノ熱ヲ得ザル爲膨脹後ノ温度ハ同一壓力ニ於ケル平衡温度ヨリ低温度トナル、從ツテ平衡膨脹ノ場合ヨリモ比容小トナリ即チ密度大トナル、コノ D ノ如キ點ニテ表ハサルル状態ニアル蒸氣ヲ過飽和又ハ過冷却蒸氣ト稱シ尙状態 D ニ於ケル實際壓力  $p_2$  ト温度  $t_D$  ニ對スル飽和壓力  $p_s$  トノ比  $p_2/p_s$  ヲ過飽和度ト稱ス、第13圖ハ同ジ事實ヲ  $p-v$  線圖ニ依リ圖示シタルモノナリ、



第11圖



第12圖



第13圖

然レ共 D 點ノ如キ不安定状態ハ永久的デナク此ノ儘相當長時間放置スレバ次第ニ凝結ガ行ハレ其レト共ニ發生セル熱ノ爲温度高マリ「エントロピ」ヲ増シテ通常ノ濕潤混合體トナリ平衡状態ニ移ルモノナリ、(而シテ蒸氣ノ凝結現象ハ前述ノ如ク表面現象ニシテ蒸氣内ニ塵埃等ノ如キ適當ニシテ充分ナル核ガ存在スル時ハ此ノ凝結ヲ促進スルモ然ラザル時ハ水分ノ分子運動ノ衝突ニ依リ偶然結合セラレタル核ヲ中心トシテ始マルモノト想像セラル)

D 點ノ不安定状態ニシテ、凝結ニ度マナシ。



然ラバ急激ナル膨脹ヲ何程迄繼續シテモ常ニ過飽和ノ現象ヲ生ズルカト云フニ其處ニハ自ラ限度アリ (Wilson ノ實驗ニ依リ假令塵埃ノ如キ核心トナルベキモノ無キ場合ニ於テモ或ル程度以上ノ膨脹ヲ爲ス場合ハ分子ノ連結ガ起リ核心ノ働キヲ爲シ凝結ヲ起スコトヲ知レリ、)

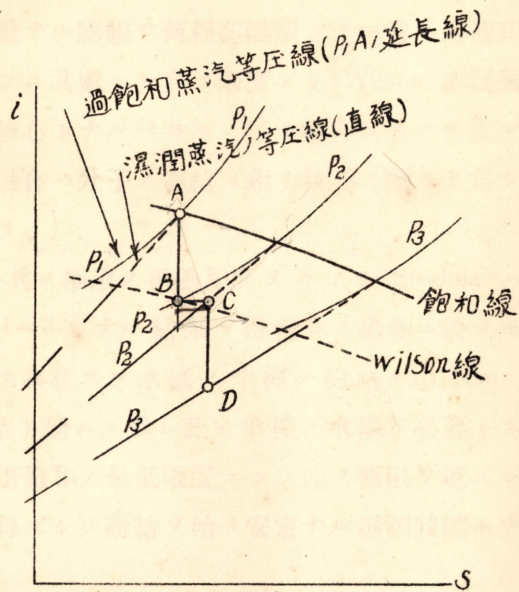
Wilson ハ其ノ極限ノ過飽和度ヲ 8 トシ Stodola ハ高壓高温蒸氣ニ對シ 3.1~3.3 ナル結果ヲ得何レノ場合ニ於テモ此ノ過飽和度ノ點ニ於テ存在スル水滴ノ半徑ハ約  $5 \times 10^{-8}$  cm. ト算定セラル、即チ凝結ヲ始ムル爲ニ此ノ半徑ノ水滴ヲ必要トスル状態ニ達シタル時ハ過飽和ノ最低限度ニシテ此ノ極限ヲ越ユレバ蒸氣ハ過飽和トナリ得ズシテ凝結ヲ始メ安定ナル濕潤状態トナル事ヲ知レリ、

此ノ過飽和ノ限界ヲ Martin ハ第 14 圖ノ如ク Mollier 線圖上ニ記入シテ之ヲ Wilson 線ト名付ケタリ、例ヘバ  $p_1$  ノ乾燥飽和蒸氣ガ  $p_3$  迄急ニ斷熱膨脹スルトキ Wilson 線トノ交點迄即チ AB 間ハ過飽和状態トナルコトヲ表ハシ B ニ達スレバ蒸氣ハ凝結ヲ始メ其ノ點ノ壓力ハ過飽和蒸氣等壓線ヨリ  $p_2$  ナルコトヲ知ル、若シ此ノ點ニ達スル瞬間ニ於テ平衡状態ニナルモノトセバ含熱量  $i$  竝ニ壓力ハ不變ナル故平衡後ノ状態ハ B ヨリノ水平線ト平衡等壓線  $p_2$  トノ交點 C トナリ更ニ C ヨリ  $p_3$  迄 CD ノ如ク膨脹スルモノト考ヘラル、

此ノ過飽和ノ状態ニアル蒸氣ハ其ノ性質寧ロ「ガス」ニ近ク前述ノ如ク比容ヲ減ジ噴口ヨリノ流量ヲ増加スルモ「エントロピ」ハ増加シ有效「エネルギー」ノ増失(約2%)ヲ伴フモノナリ、何トナレバ此ノ「エントロピ」ノ増加ハ熱ノ收得ニヨリ生ジタルモノニ

Wilson 線ニ達シ利那完全ニ平衡濕潤状態ト  
 成リ又高膨脹ノ進ムニ依リ漸次安定トナルニ於テ  
 竟見出シテ今ノ處斷定ニ難シ下迄過飽和現象  
 生ズルコトヲ示ス





第 14 圖

アラズ只不安定カラ安定ナル状態ニ非可逆的ニ内部ノ變化ヲ爲シタ事ニ依リ起リタルモノニシテソレ丈「エネルギー」ノ損失ヲ伴ヒ此ノ損失ハ第 13 圖ニ於テ面積 BCD ニテ表ハサル、

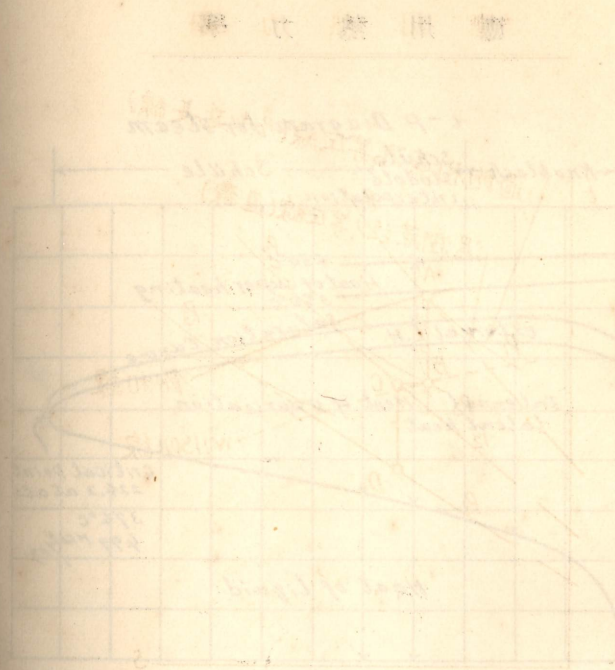
一六、高壓高温蒸氣、

何軒以上ノ壓力ヲ高壓ト稱スルカハ未ダ定説ナキモ一般ニ 30 kg/cm<sup>2</sup> 以上ノ蒸氣ヲ高壓蒸氣ト稱スルガ如シ、

(I) 高壓蒸氣ノ性質、

今 Knoblach ノ關係式ヲ用ヒ延伸法<sup>Extrapolation</sup>ニ依リ壓力 100 kg/cm<sup>2</sup> 溫度 350°C (現今通常使<sup>用</sup>サルル溫度) 及 450°C (現今實際ニ主機械ノ操縦弁前ニ於テ達シ得ル溫度) マデ過熱蒸氣ノ含熱量ヲ算出シ之ヲ圖示スレバ第 15 圖ノ如シ、

(1) 高圧









漸次増加シ壓力  $22.5 \text{ kg/cm}^2$  附近ニ於テ最大トナリ其ノ後ハ壓力ノ高マルニツレテ次第ニ減少シ臨界壓力  $224.2 \text{ kg/cm}^2$  ニ於テハ最小値  $499 \text{ Kcal}$  トナル、此ノ現象ヨリ結局「高壓蒸氣ノ保有全熱量ハ蒸氣壓力ノ高マルニ隨ヒ減少ス」或ハ「高壓蒸氣ノ保有全熱量ハ蒸氣壓力ニ逆比例ス」ト云フコトヲ得、

之ガ理由ニ就テハ種々學說アルモ一般ニ次ノ如ク考ヘラル即チ水ハ  $\text{H}_2\text{O}$  ナル化學式ニテ表ハサルルモ其ノ組成ハ  $\text{H}_2\text{O}$  ノ單一分子ナラズシテ  $(\text{H}_2\text{O})_2$   $(\text{H}_2\text{O})_3$   $(\text{H}_2\text{O})_4$ .....等ノ如ク數多ノ複合分子ニヨリ形成セラルルモノナリ、之ニ反シ蒸氣ハ  $(\text{H}_2\text{O})$  ナル單一分子ニヨリ形成セラルルヲ以テ蒸發ニ際シテハ水ノ複合分子ヲ單一分子ニ分解スルヲ要シ之ガ爲ニ加ヘラルル熱量ハ所謂蒸發潛熱ト稱セラルルモノナリ、

然ルニ  $22.5 \text{ kg/cm}^2$  以上ノ壓力下ノ蒸發ニ於テハ水ノ複合分子ノ一部ハ單一分子ニ分解セラルルコトナシニ直接蒸氣ニ變化スル性質アリ壓力ノ高マルニ從テ此ノ直接變化ノ量ガ次第ニ増加シ臨界壓力下ニ於テハ水ノ複合分子ハ全ク分解セラレズ直接蒸氣ニ變化スルモノナリ、コレガ即チ高壓ニナルニ從テ蒸發潛熱ガ減少シ臨界壓力ニ於テハトナリ極メテ微量ノ熱量ヲ加フルモ沸騰ノ現象ヲ呈スルコトナク瞬間的ニ水ト同一容積ノ飽和蒸氣ニ變化スル所以ナリ、

斯ノ如ク壓力ノ上昇ニ伴ヒ蒸發潛熱ハ減少スルヲ以テ蒸發溫度迄加熱スルニ要スル熱量即チ顯熱ハ増加スルモ其ノ増加率ハ潛熱ノ減少率ヨリ少ク結局全體トシテハ壓力ヲ高メルニ從ヒ保有全熱量ハ減少スルモノナリ、

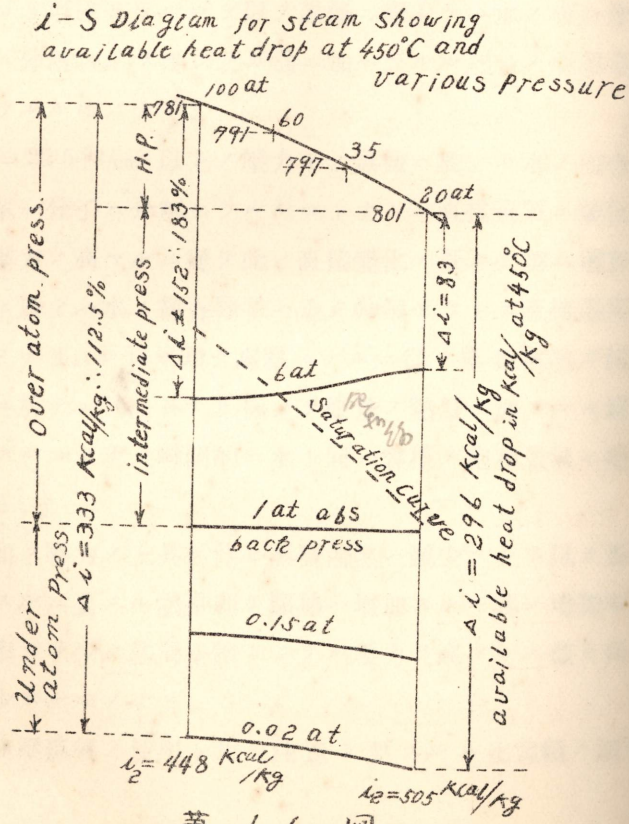
次ニ高壓蒸氣ノ使用ト共ニ注意ヲ要スルハ比容積ノ減少ナリ、



之レ蒸氣管竝ニ弁ノ切斷面積ヲ決定シ又「タービン」翼植込決定ノ標準トナルモノナリ例ヘバ 100 kg/cm<sup>2</sup> 450°C ノ蒸氣ノ比容積ハ 20 kg/cm<sup>2</sup> 350°C ノモノノ約 1/5ニ過ギザルヲ以テ此ノ兩者ノ蒸氣速度ヲ同一ナリト假定セバ前者ノ場合ニ於ケル管ノ内徑ハ後者ニ對スルモノノ約 0.45 倍ニ過ギズ、

(II) 高壓高溫蒸氣ノ仕事量、

蒸氣ノ効率ヲ比較スル爲メニハ損失ナキ理想機關ニ於テ各壓力及溫度ノ蒸氣ニ對シ其ノ利用シ得ル有效熱降下竝ニ含熱量ヲ知ラザルベカラズ、之ガ爲メニ今 Knoblach ノ *i-s* 線圖ヲ使用シ有效熱降下ヲ抽出シテ畫ケバ第 16 圖ノ如シ、



第 16 圖

圖 81 葉



第 16 圖ハ初壓力 20, 35, 60, 及 100 at. 溫度 450°C ノ蒸氣ヲ終壓力 0.02, 0.15, 1.0, 及 6 at. 迄斷熱膨脹セシムル場合ノ有效熱降下ヲ求メ 1 at. ノ背壓線ヲ水平ニ描キ之ヲ基準トシテ其ノ上下ニ各力ニ對スル熱降下ヲ示シテ畫キタルモノナリ、

圖ニ見ル如ク溫度 450°C ニテ初壓力ガ 20 at. ヨリ 100 at. ニ上昇スルニ從ヒ有效熱降下ハ大氣壓以下ノ區域ニ於テハ僅ニ減少シ大氣壓以上ノ區域ニ於テハ急激ニ増加スルモノナリ、

即チ背壓ガ達成シ得ベキ最高真空 0.02 at. ノ場合初壓力ガ 20 at. ヨリ 100 at. ニ上昇スル時ハ全有效熱降下ハ 296 Kcal ヨリ 333 kcal トナリ 12.5% ノ増加トナル、之レ即チ復水器ニ逃散スル蒸氣ノ含熱量ガ 505 kcal/kg ヨリ 448 kcal/kg ニ減少スルコトヲ意味スルモノニシテ高壓蒸氣使用ノ結果ハ復水器内ニ於テ無益ニ放捨サルル熱量ヲ輕減スルモノナルコトヲ知ル、

又一般工業用トシテ使用サルル例トシテ背壓 6 at. ノ場合ヲ見ルニ初壓力ヲ 20 at. ヨリ 100 at. 迄高ムル時有效熱降下ハ 83 kcal/kg ヨリ 152 kcal/kg トナリ實ニ 83% ノ増加トナル、以上ノ事實ヨリ使用蒸氣壓力ヲ高ムル時ハ背壓高キ程有效熱降下<sup>V</sup>が增大スルコトヲ知ル、<sub>割合</sub>

又第 16 圖ニ就キ乾燥飽和蒸氣線ヲ見レバ蒸氣壓力増大ト共ニ過熱域ノ熱降下ハ僅ニ減少シ其ノ反對ニ濕潤域ニ於テ急激ニ増加スルヲ知ル、即チ蒸氣ヲ一定壓力迄膨脹セシメタル場合初壓力ノ高キ程膨脹後ノ乾度ハ不良トナルモノナリ、然レ共蒸氣溫度ヲ高メルニ從ヒ此ノ現象ハ緩和セラルルコトハ勿論ニシテ各壓力ノ飽和蒸氣及過熱蒸氣ヲ壓力 1 kg/cm<sup>2</sup> 迄斷熱膨脹ヲセシメタル場合膨脹後ノ乾度ヲ示セバ次ノ如シ、

100	35	60	100	100	100	100	100	100	100
296.0	333.0	333.0	333.0	333.0	333.0	333.0	333.0	333.0	333.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
207.0	307.0	307.0	307.0	307.0	307.0	307.0	307.0	307.0	307.0
0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

100  
296.0 333.0 333.0 333.0 333.0 333.0 333.0 333.0 333.0 333.0  
— — — — — — — — — —  
— — — — — — — — — —  
207.0 307.0 307.0 307.0 307.0 307.0 307.0 307.0 307.0 307.0  
0.10 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15  
0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02  
0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02  
0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02



壓力 $\text{kg/cm}^2$	20	30	40	60	80	100	
蒸氣 溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	飽和	0.830	0.804	0.784	0.753	0.729	0.707
	250	0.866	0.823	0.785	—	—	—
	300	0.902	0.866	0.838	0.787	0.740	—
	350	0.933	0.899	0.874	0.830	0.798	0.765
	400	0.962	0.928	0.903	0.866	0.836	0.810
	450	0.989	0.955	0.931	0.895	0.865	0.842
	500	110 $^{\circ}\text{C}$	0.980	0.957	0.921	0.894	0.873

上表ニテ明カナル如ク蒸氣壓力ヲ高ムルノミニテハ膨脹後ノ乾度著シク不良トナリ熱力學的ノ利益ヲ害スルモノナレバ壓力ヲ高ムルニ從ツテ相當程度ノ過熱ヲ行ヒ膨脹後ノ乾度降下ヲ防止スル要アリ、サレバ現ニ實用ニ供セラルル蒸氣ハ單ニ高壓タルノミナラズ高壓高溫ナル所以モ亦此所ニ存スルモノナリ、

然レ共尙壓力ガ非常ニ高マル時ハ可成リ高度ノ過熱ヲ行フモ尙且ツ膨脹後ノ乾度ハ低クナルヲ以テ(臨界壓力ヨリ  $0.1 \text{ kg/cm}^2$  迄膨脹セシムレバ膨脹後ノ乾度ハ約 50% トナル) 此ノ如キ場合ニハ中間<sup>加</sup>過熱ヲ行ハザルベカラズ然レ共中間<sup>加</sup>過熱ヲ實地ニ行フ事ハ裝置複雑ニシテ取扱困難トナリ極高壓力ノ蒸氣ガ船用殊ニ軍用機關トシテ使用困難ナル一因ヲ爲スモノナリ、

### (III) 高壓高溫蒸氣ノ限度、

高壓高溫蒸氣ノ性質大要ハ前述ノ如ク熱力學的ニ有效ナルモ之ヲ軍用機關ニ利用センニハ使用材料及工作上ノ問題アリ、又中間加熱其ノ他ノ關係モアリ使用シ得ル壓力及溫度ニハ自然ニ限界アリ、最近獨逸ニ於ケル說ニ依レバ船用機關ニ於テハ蒸氣壓力ヲ



80 kg/cm<sup>2</sup> 以上トナス事ハ經濟構造操縦何レノ方面ヨリ見ルモ大ナル利益ハ無ク先ヅ 70~80 kg/cm<sup>2</sup> ヲ限度トスト稱セラル、又蒸氣溫度ハ壓力ト異リ高キ程有利ナルモ材料方面ノ制限ヲ受ケ先ヅ 450°C ガ適當ナリト稱セラル、

此等ヲ綜合シテ考フルニ軍用機關トシテ採用シ得ル高壓高溫蒸氣ノ壓力及溫度ノ限度ハ 60 kg/cm<sup>2</sup> 450°C 程度ナルベシ、

(IV) 高壓高溫蒸氣使用ノ現狀

口述ス、

例題

1. 溫度 60°C ナル水ガ 200°C 迄加熱セラレ其ノ溫度ニ於テ乾度 95% ノ濕潤蒸氣トナリ更ニ斷熱的ニ 2.0 kg/cm<sup>2</sup> abs. 迄膨脹セリ此ノ過程ヲ T-s 線圖及 i-s 線圖上ニ圖示セヨ、

2. 罐過熱器ニ於テ 30 kg/cm<sup>2</sup> 98% 乾度ノ濕潤蒸氣ヲ 60°C 過熱ス、過熱器ニ於ケル蒸氣 1 kg ノ受熱量如何、T-s 線圖及 i-s 線圖ヨリ之ヲ求メ其ノ熱量ヲ圖上ニ示セ、

3. 壓力 21 kg/cm<sup>2</sup> abs 溫度 350°C ノ過熱蒸氣ヲ真空 40 糎迄膨脹セシメタル時ノ熱降下及膨脹後ノ性狀ヲ求メヨ、

$i = 0.898$   
 $i' = 1.76$   
 $s = 1.655$

2.  $3.017/\text{cm}^2 \cdot 232.8^\circ\text{C}, \chi' = 239.6 \quad i'' = 669. \quad r = 829.8$

$(1-x) r = 0.02 \times 829.8 = 16.596$

$(C_{mp})_{60} = 0.9895 \times 60 = 59.37$   
 $16.596 + 59.37 = 75.966 \quad \text{kcal/kg}$

3.  $21 \text{ kg/cm}^2 \quad 213.9^\circ\text{C} \quad i' = 218.5 \quad \chi'' = 168.0 \quad r = 449.5$

$h' = h_f + t + (C_p)_{h_m} (350 - 213.9) = 88.6$

$(C_{pi}) = \frac{1}{2} (0.77 + 0.533) = 0.6515$   
 $= 218.5 + 449.5 + 88.6 = 756.6 \quad \text{kcal/kg}$

$40 \text{ cm} \quad \frac{26}{76} \times 1.033 = 0.49$

$h' = 99.95 \quad \chi'' = 631.39 \quad r = 551.44$

~~$16.596 + 59.37 = 75.966$~~