

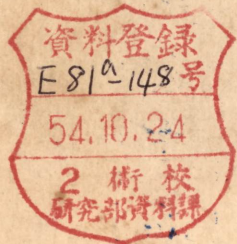
海軍機關學校

應用熱力學教科書

卷之二

第三學年

昭和十年五月



海軍機關學校長 上田宗重

昭和十年五月

本書ニ依リ應用熱力學ヲ修得スヘシ

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

チ行フ
容ノ改訂大増補
力學ト改稱シ内
シ本書ヲ應用熟
チ物理學ニ編入
熱力學基礎理論

第六版 昭和三年三月

海軍教授

佐野慶造

分ツ
卷一、二ニ

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

械卷ノ二合本
「タルピン」機

第三版 大正十一年五月

海軍機關少佐

尾形十郎

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

沿革

[Faint bleed-through text from the reverse side of the page, including dates and names.]

應用熱力學

目次

	頁
第一章 熱力學法則ノ適用ト	
熱力學一般關係式	1
一、總說	1
二、點函數、完全微分	1
三、含熱量並ニ熱力學法則ヨリ導カルル一般關係式	3
四、熱力學一般關係式	6
五、Joule-Thomson 冷却効果	8
六、熱力學一般關係式ノ適用	9
第二章 混合瓦斯及半完全瓦斯ノ性質	12
七、瓦斯恒數ト比熱	12
八、混合瓦斯ノ特性式	15
九、半完全瓦斯	22
一〇、半完全瓦斯ノ狀態變化	22
一一、空氣ニ對スル Oster tag「エントロピー」線圖	28
第三章 蒸發氣ノ一般性質	31
一二、蒸發氣 (Vapour) ニ對スル p, v, T 間ノ關係	31

一三、	蒸發過程ニ於ケル「エネルギー」ノ變化	33
一四、	蒸發氣ノ「エントロピー」ト T-s 線圖	36
一五、	濕潤蒸發氣ノ性質	37
一六、	蒸發氣又ハ蒸氣ノ性質決定上應用セララル熱力學 一般關係式	38
第四章	蒸氣ノ性質	42
一七、	蒸氣 (Steam) ノ性質ト特性式	42
第五章	蒸氣ノ狀態變化ト線圖ノ應用	47
一八、	限界狀態	47
一九、	蒸氣線圖	50
二〇、	蒸氣ノ過飽和ト Wilson 線	56
第六章	瓦斯及蒸發氣ノ流動	60
二一、	彈性流體ノ流動	60
二二、	彈性流體ノ一般「エネルギー」式	61
二三、	摩擦ナキ流動ノ壓力降下及熱降下ノ圖示	63
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	66
二五、	移送管内ニ於ケル摩擦ニ依ル壓力降下	70
第七章	「絞り」過程ニ於ケル狀態變化	74
二六、	「絞り」過程ニ於ケル含熱量ノ不變	74

二七、	「絞り」ニ依ル有効「エネルギー」ノ損失	76
二八、	「絞り」「カロリメーター」	77

應用熱力學

第一章

熱力學法則ノ適用ト熱力學一般關係式

一、總 說、

諸子ハ既ニ物理學ニ於テ熱力學ノ原理ヲ學ビ熱力學法則及完全氣體ノ性質ヲ研究シタリ、本書ニ於テハ更ニ主トシテ實際熱機關ニ使用セラレル作業物質ノ性質ヲ講究セントスルモノナレドモ之等ノ性質ヲ決定スルニハ熱力學法則ヨリ導カルル狀態ノ函數間ノ一般的关系ヲ一層數學的ニ取扱フコト極メテ肝要ニシテ本章ニ於テハ重要ナル熱力學一般關係式及其ノ適用ヲ論ゼントス、

二、狀態函數、

通常熱力學ニテ取扱フ等方均質ナル物體例ヘバ液體及氣體ノ狀態ヲ定ムル變數トシテ壓力 p 、體積 v 、溫度 T 、或ハ内部「エネルギー」 u 及「エントロピー」 s 等ヲ用フルコトハ既ニ知ル處ナリ、而シテ之等ノ變數ノ中孰レカノ三變數ヲ以テ狀態ヲ決定シ得ト雖モ夫等ノ間ニハ例ヘバ理想氣體ニ於ケル $PV=RT$ ノ如キ所謂狀態ノ方程式ナル關係式ガ存在スル故ニ狀態ヲ定ムル獨立變數ハ結

安武
機
関
大
尉

局二個トナル、

今 p, v, T, u, s ノ内任意ノ二獨立變數ヲ選ビ夫等ヲ一般ニ X, Y ヲ以テ示シ他ノ一ツヲ Z ヲ以テ示サバ Z ハ上ニ述ベタル所ニヨリ X ト Y トノ函數トナル、

$$Z = F(X, Y)$$

之即チ状態ノ方程式ニシテカクノ如キ Z ヲ又状態函數トイフ事アリ、今状態ニ dX, dY ナル微小變化ヲアタフレバ Z ハ

$$dZ = \left(\frac{\partial F}{\partial X} \right)_Y dX + \left(\frac{\partial F}{\partial Y} \right)_X dY$$

或ハ $dZ = M dX + N dY$.

ナル變化ヲナス、ココニ

$$M = \left(\frac{\partial F}{\partial X} \right)_Y, \quad N = \left(\frac{\partial F}{\partial Y} \right)_X,$$

此ノ dZ ハ完全微分 (Complete differential or total differential) ニシテ M, N ハ X, Y ニ對スル偏微分係數ナリ、而シテ M, N ノ間ニハ

$$\left(\frac{\partial M}{\partial Y} \right)_X = \frac{\partial^2 F}{\partial X \partial Y} = \left(\frac{\partial N}{\partial X} \right)_Y$$

ナル關係ガ存在ス、之ハ dZ ナル微小量ガ完全微分ナル爲ノ必要且充分ナル條件ニシテ且 Z ナル量ガ状態ノ函數カ否カヲ判別スル重要ナル關係式ナリ、

例ヘバ内部「エネルギー」 u ハ状態ヲ定ムル函數ニシテ今温度ト體積トヲ獨立變數ニ選ベバ

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

從テ $du = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv \dots \dots \dots (1)$

又ハ $du = M dT + N dv \dots \dots \dots (2)$

$$\text{茲} = \quad M = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad N = \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T$$

同様ノ操作ハ他ノ量ヲ獨立變數トトリ p, v, T, s 等ノ何レカヲ從屬變數トシテモ行ハル、

〔注意〕 微少變化ニ依ツテナサルル仕事ハ一般ニハ完全微分ニ非ズ、從ツテ之ヲ直チニ積分シテ狀態ノ函數ヲ求ムル事能ハズ、

三、含熱量並ニ熱力學法則ヨリ

導カル、一般關係式、

熱力學第一法則ニ依レバ狀態ノ微少變化ニ伴フ熱ノ出入ハ

$$dq = du + A p dv \dots\dots\dots (1)$$

トシテ表ハセル、但シ (1) ノ式ハ右邊ニ $A p dv$ ナル仕事ヲ含ムヲ以テタゞチニ之ヲ積分スルヲ得ズ、又 s ヲ以テ「エントロピー」トスレバ dq ハ第二法則ニ依リ

$$dq = T ds \dots\dots\dots (2)$$

ト表ハスコトヲ得、

今初狀態 p_1, v_1, u_1 ナル單位量ノ物質ヲ等壓 p_1 ノ下ニ加熱シ其ノ終狀態ガ p_1, v_2, u_2 ニナリタリトセン、コノ場合ハ式 (1) ヲ積分スル事ヲ得テ

$$\begin{aligned} q &= (u_2 - u_1) + A p_1 (v_2 - v_1) \\ &= (u_2 + A p_1 v_2) - (u_1 + A p_1 v_1) \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

トナリ q ハ狀態變數ノ函數トナル、今

$$i = u + A p v + \text{恒數} \dots\dots\dots (4)$$

ナル量ヲトレバ之ハ u, s 等ト同様狀態函數ノ一種ニシテ上ノ變化ニ於テ吸收セル熱量 q ハ二ツノ狀態ニ於ケル i ノ價ノ差トナル

シカレドモ一般ニ状態變化ノ如何ヲ問ハズ (4) ノ式ニテ定義ナル
ルガ如キ量 (函數) ヲ含熱量 (Heat content) ト稱ス、

式 (4) ヲ微分スレバ

$$di = du + Ad(pv) = du + A p dv + A v dp$$

然ルニ式 (1) ヲヨリ

$$di = dq + A v dp \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{或ハ } dq = di - A v dp \dots\dots\dots (5')$$

トナリ u ノ代リニ新ナル状態函數 i ヲ用ヒタル關係式ヲ得 (カ
クスル事ニ依リ便利ナル場合アリ)

$$\text{故ニ等壓加熱ノ場合 } dp = 0, \quad di = dv \quad \therefore \quad i_2 - i_1 = [{}_1q_2]_p$$

$$\text{又式 (1) ヲヨリ } du = dq - A p dv \dots\dots\dots (1')$$

$$\text{故ニ等積加熱ノ場合 } dv = 0, \quad du = dq \quad \therefore \quad u_2 - u_1 = [{}_1q_2]_v$$

次ニ熱力學ノ兩法則ヨリ有用ナル關係式ヲ導カン、 T, v ヲ獨立
變數トシテ之ニ微少變化 dT, dv ヲアタフレバ

$$dq = c_v dT + l_v dv \dots\dots\dots (6)$$

又 T, p ヲ獨立變數トスレバ

$$dq = c_p dT + l_p dp \dots\dots\dots (7)$$

トナル茲ニ

$$c_v = \left(\frac{\partial q}{\partial T} \right)_v, \quad c_p = \left(\frac{\partial q}{\partial T} \right)_p$$

$$l_v = \left(\frac{\partial q}{\partial v} \right)_T, \quad l_p = \left(\frac{\partial q}{\partial p} \right)_T$$

之等ノ c_v, c_p, l_v, l_p ナル熱容量及 p, v, T ノ變化ハ實驗的ニ容易
ニ求メラレル、之等ノ量ヲ以テ du, di, ds ヲ表ハセバ

$$\text{式 (1) ト (6) ヲヨリ } du = c_v dT + (l_p - A p) dv \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{式 (5) ト (7) ヲヨリ } di = c_p dT + (l_p + A v) dp \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{式 (2) ト (6) ヲヨリ } ds = \frac{c_v}{T} dT + \frac{l_v}{T} dv \dots\dots\dots (10)$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T = \frac{l_p}{T}, \quad \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v = \frac{c_p}{T} \dots\dots\dots (11)'$$

又式 (10)' ヨリ

$$\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{l_v}{T} \right) = \frac{\partial}{\partial v} \left(\frac{c_v}{T} \right) \quad \frac{1}{T} \frac{\partial l_v}{\partial T} - \frac{l_v}{T^2} = \frac{1}{T} \frac{\partial c_v}{\partial v}$$

$$\therefore \frac{\partial c_v}{\partial v} = \frac{\partial l_v}{\partial T} - \frac{l_v}{T} \dots\dots\dots (10)''$$

同様ニ (11)' ヨリ

$$\frac{\partial c_p}{\partial p} = \frac{\partial l_p}{\partial T} - \frac{l_p}{T} \dots\dots\dots (11)''$$

又式 (8)'' (10)'' ヨリ

$$\frac{\partial l_v}{\partial T} - A \frac{\partial p}{\partial T} = \frac{\partial l_v}{\partial T} - \frac{l_v}{T}$$

$$\therefore \underline{l_v = AT \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v} \dots\dots\dots (12)$$

同様ニ (9)'' (11)'' ヨリ

$$l_p = -AT \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \dots\dots\dots (13)$$

斯クノ如クシテ熱力學ノ原理ニ依レバ l_v, l_p ハ p, v, T 等ノ諸量ニテ表ハシ得、

四、熱力學一般關係式、

上述ノ如ク dq, du, di, ds ハ 夫々 (6), (7), (8), (9), (10), (11) 等ノ關係式ニ依リ l_v, l_p, c_p, c_v 及 p, v, T 等ノ諸量ニ依リテ表ハサル、シカルニ (12) 及ビ (13) ノ關係ヲ用フレバ之等ハ更ニ實際實驗上測定シ易キ量 p, v, T , 並ニ c_p, c_v 等ニ依リテ表ハシ得ルヲ以テ便ナリ、即チ式 (12) ノ l_v ヲ (6) (8) (10) ニ代入スレバ

$$dq = c_v dT + AT \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v dv \dots\dots\dots (I)$$

$$du = c_v dT + A \left[T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \right] dv \dots \dots \dots (II)$$

$$ds = \frac{c_v dT}{T} + A \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v dv \dots \dots \dots (III)$$

又式 (10)'' (12) ヨリ

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

又、 $\left(\frac{\partial c_v}{\partial v} \right)_T = A T \left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_v \dots \dots \dots (IV)$

同様ニ式 (13) ノ l_p ヲ (7) (9) (11) ニ代入スレバ

$$dq = c_p dT - A T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp \dots \dots \dots (V)$$

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

$$ds = \frac{c_p}{T} dT - A \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp \dots \dots \dots (VII)$$

又式 (11)'' (13) ヨリ

$$\frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{c_p}{T} \right) = \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{l_p}{T} \right) = - \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p$$

$$\therefore \left(\frac{\partial c_p}{\partial p} \right)_T = - A T \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p \dots \dots \dots (VIII)$$

尙又式 (6) (7) ヨリ

$$c_p dT = l_p dp = c_v dp + l_v dv$$

$$(c_p - c_v) dT = l_v dv - l_p dp \quad \text{トナリ}$$

等壓ノ場合ハ $dp = 0$

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

等積ノ場合ハ $dv = 0$

$$\therefore c_p - c_v = - l_p \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v$$

之等ノ式ニ式 (12) (13) ノ l_v, l_p ノ値ヲ代入スレバ

$$c_p - c_v = AT \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \dots \dots \dots (IX)$$

即 c_p, c_v 間ノ重要ナル關係式ヲ得タリ、

既ニ知レル如ク c_p ハ常ニ c_v ヨリ大ナルモ特別ナル場合トシテ式 (IX) ヨリ $\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v$ 又ハ $\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p$ ノ何レカガ零ナラバ

$$c_p = c_v$$

トナル 例ヘバ流體ガ最大密度ヲ持ツ溫度 (水ナラバ約 4°C) ニ於テハ

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = 0 \quad \therefore c_p = c_v.$$

以上 (I) ヨリ (IX) 迄ノ熱力學一般關係式ハ若シ流體ノ特性式ヲ知レバ夫ニ對スル dq, du, di, ds, c_p, c_v 等ノ關係式ヲ直ニ確定シ得ルヲ以テ熱機關作業物質タル瓦斯並ニ蒸發氣ノ性質ヲ知ル上ニ重要欠クベカラザル式ナリ、

五、Joule-Thomson 冷却効果、

「絞り」(throttling) ナル現象ニ於テハ其ノ前後ニ含熱量ノ變化ハナキモノト見做サル (後章ニ詳述ス)、

從ツテ式 (VI) ニ於テ $di=0$ ト置ケバ

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i = \frac{A}{c_p} \left[T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p - v \right] \dots \dots \dots (1)$$

此ノ式ハ絞りノ際ニ於ケル壓力ノ變力ニ對スル溫度降下ノ割合ヲ表ハスモノニシテ之ヲ Joule-Thomson 冷却効果ノ式ト稱ス、

若シ $\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = \frac{v}{T}$ ナルトキハ $\left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i = 0$ トナリ冷却効果ハ現ハレズ、例ヘバ完全氣體ノ場合

$$pv = RT \quad \text{ヨリ}$$

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = \frac{R}{p} = \frac{v}{T}$$

即チ完全氣體ニアリテハ冷却効果現ハレズ、之 Joule ノ法則トシテ既ニ知レル處ナリ、

次ニ完全氣體ニ非ザル場合ヲ考ヘン、第三節ノ式 (9) (13) ヨリ

$$\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T = (l_p + Av), \quad l_p = -AT\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

$$\therefore -\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T = A\left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p - v\right]$$

之ヲ式 (1) ニ代入スレバ

$$c_p\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_i = -\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T \dots\dots\dots (2)$$

又ハ
$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_i = -\frac{1}{c_p}\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T \dots\dots\dots (3)$$

更ニ $i = u + A\rho v$ ヨリ

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_i = -\frac{1}{c_p}\left(\frac{di}{\partial p}\right)_T = -\frac{1}{c_p}\left[\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T + A\left\{\frac{\partial(\rho v)}{\partial p}\right\}_T\right] \dots\dots (4)$$

之ハ不完全氣體又ハ蒸發氣ノ性質ヲ決定スルニアタリ理論ノ基礎トシテ重要ナル關係式ナリ、即不完全氣體ニ就テハ式中 $-\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T$

ハ Joule ノ法則ヨリノ偏倚ヲ示シ $-\left\{\frac{\partial(\rho v)}{\partial p}\right\}_T$ ハ Boyle ノ法則ヨリノ偏倚ヲ示ス項ナリ、

六、熱力學一般關係式ノ適用、

(1) 完全氣體特性式ニ對スル適用、

完全氣體特性式ハ $p v = RT$ ナルヲ以テ

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = \frac{R}{v}, \quad \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = \frac{R}{p} \quad \text{トナル}$$

コノ値ヲ熱力學ノ一般式ニ代入スレバ

$$\left. \begin{aligned} \text{式 (I) ヲリ} \quad \partial q &= c_v dT + A \frac{RT}{v} dv = c_v dT + A p dv \\ \text{式 (V) ヲリ} \quad \partial q &= c_p dT - A \frac{RT}{p} dp = c_p dT - A v dp \end{aligned} \right\} \dots (a)$$

$$\text{式 (II) ヲリ} \quad du = c_v dT + A \left(\frac{RT}{v} - p \right) dv = c_v dT \dots (b)$$

$$\text{式 (VI) ヲリ} \quad di = c_p dT + A \left(\frac{RT}{p} - v \right) dp = c_p dT \dots (c)$$

式 (b) (c) ヲリ c_v, c_p ハ 恒數カ 然ラザレバ T ノ ミノ 函數ナルコトヲ 知リ得ベシ、何トナレバ du, di ハ 完全微分ニシテ $c_v dT, c_p dT$ ハ 積分シ得ベキガ故ナリ、更ニ

$$\text{式 (IX) ヲリ} \quad c_p - c_v = AT \frac{R}{p} \frac{R}{v} = AR \dots (d)$$

之既ニ知レル結果ナリ、又

$$\left. \begin{aligned} \text{式 (III) ヲリ} \quad ds &= \frac{c_v}{T} dT + AR \frac{dv}{v} \\ \text{式 (VII) ヲリ} \quad ds &= \frac{c_p}{T} dT - AR \frac{dp}{p} \end{aligned} \right\} \dots (e)$$

以上 (b) (c) (e) ヲリ之等ヲ積分シテ u, i, s ヲ求ムルコトヲ得、

(2) Van der Waals ノ 特性式ニ對スル適用、

Van der Waals ノ 特性式

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$$

ヨリ

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{v-b}, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial T^2} = 0.$$

$$T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p = \frac{RT}{v-b} - p = \frac{a}{v^2}.$$

之等ノ値ヲ一般式 (I) (II) (III) (IV) ニ夫々代入スレバ

$$\text{式 (I) ヲリ} \quad dq = c_v dT + \frac{ART}{v-b} dv \dots (a)$$

式 (II) ヨリ $du = c_v dT + \frac{Aa}{v^2} dv \dots\dots\dots (b)$

式 (III) ヨリ $ds = \frac{c_v}{T} dT + \frac{AR}{v-b} dv \dots\dots\dots (c)$

式 (IV) ヨリ $\frac{\partial c_v}{\partial v} = 0 \dots\dots\dots (d)$

即 c_v ハ 體積ニ無關係ニシテ又前同様式 (b) ヨリ c_v ハ 恒數カ又
ハ 溫度ノミノ函數トナリ 壓力ニモ無關係ナルヲ知ル、

式 (b) (c) ヨリ之等ヲ積分シテ u, s ヲ求ムルコトヲ得、

第二章

混合瓦斯及半完全瓦斯ノ性質

七、瓦斯恒數ト比熱、

一般ニ氣體ハ同一壓力並ニ溫度ニ於テ同一體積ノ重量ハ其ノ分子量ニ比例ス、(第一表參照)

今異ルニツノ氣體ノ密度ヲ γ_1, γ_2 トシ其ノ分子量ヲ m_1, m_2 , 比容ヲ v_1, v_2 トスレバ

$$\gamma_1 = \frac{1}{v_1} \quad \gamma_2 = \frac{1}{v_2}$$

$$\therefore \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{m_1}{m_2} \quad \text{又ハ} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\text{一般ニ} \quad m_1 v_1 = m_2 v_2 = m_3 v_3 = \dots\dots\dots$$

ニシテ $m_1 v_1, m_2 v_2, \dots\dots$ ハ $m_1, m_2, \dots\dots$ kg ノ氣體ノ體積トナル故總テノ氣體ノ m (分子量) kg. ノ體積ハ同一溫度壓力ノ下ニ於テ常ニ相等シ、

而シテ一般ニ分子量ノ數値ヲ kg. ニテ表ハシ瓦斯量ノ單位トスル時珣分子又ハ簡單ニ 1 mol. ト稱ス、即チ酸素ノ 32 kg. 水素ノ 2.016 kg. ハ 1 mol. トナリ從テ 1 mol. ノ總テノ瓦斯體積ハ等シク標準狀態ニ於テ 22.4 m³ トナリ溫度 $t^\circ\text{C}$ 壓力 p (水銀柱 mm.) ニテハ

$$22.4 \times \frac{273+t}{273} \times \frac{760}{p} \text{ トナル、}$$

表一第

化學符號	原子數	分子(近似值) m	瓦斯恒數 R	密度 γ °C 760 mm kg/m ³	比		熱		比熱比 $k = \frac{C_p}{C_v}$
					C_p 1 kg ヌル	C_v = 對	C_p' 1 m ³ = 對ヌル	C_v'	
水素素素氣	2	(2)	420.6	0.0899	3.41	2.42			
酸素素素	2	32	26.5	1.429	0.217	0.155			
窒化炭素	2	(28)	30.26	1.251	0.247	0.176	0.307	0.218	1.41
一酸化炭素	2	28	30.29	1.250	0.242	0.172			
空蒸	—	—	29.27	1.293	0.238	0.170			
水汽	3	(18)	47.06	0.804	0.48	0.37	0.386	0.297	1.30
二酸化炭素	3	44	19.24	1.965	0.21	0.16	0.393	0.304	1.293
二酸化硫黃	3	(64)	13.2	2.861	0.15	0.12	0.429	0.342	1.255
アムモニヤ	4	(17)	49.79	0.761	0.53	0.41	0.396	0.305	1.298
メタン	5	(16)	52.9	0.717	0.59	0.46	0.424	0.334	1.270
アルコール	9	(46)	18.42	0.205	0.453	0.400	0.930	0.822	1.133
ベンゼン	12	(78)	10.87	0.349	0.33	0.305	1.150	1.063	1.082

尙之等ノ關係ヨリ若シ瓦斯ノ分子量ヲ知レバ其ノ比容 v ヲ求ムルコトヲ得、即チ

$$v_0 = \frac{22.4}{m} \text{ m}^3/\text{kg.} \quad (0^\circ\text{C}, 760 \text{ mm.})$$

又 15°C , 735 mm. = 於ケルモノハ

$$v_{15^\circ} = \frac{22.4 \times \frac{273+t}{273} \times \frac{760}{735}}{m} = \frac{24.4}{m} \quad (15^\circ\text{C}, 735 \text{ mm.})$$

(I) 1 mol. = 對スル瓦斯恒數、

若シ瓦斯ガ完全瓦斯特性式 即チ

$$pv = RT \quad \text{= 從フ時 1 mol. = 對スル一般式ハ}$$

$$pmv = mRT = 22.4 p$$

$$\therefore R = \frac{1}{m} \frac{22.4 p}{T}$$

標準状態 (0°C , 760 mm.) = 於テ

$$T = 0^\circ + 273^\circ = 273^\circ$$

$$p = 760 \text{ mm. (水銀柱)} = 1.0333 \times 10^4 \text{ kg./cm.}^2$$

$$\therefore R = \frac{1}{m} \frac{22.4 \times 1.0333 \times 10^4}{273}$$

$$\text{即チ } R = \frac{848}{m}$$

(II) 1 mol. = 對スル瓦斯ノ比熱、

1 mol. = 對スル比熱ヲ C_m ニテ表ハセバ

$$C_{m.p.} = mC_p$$

$$C_{m.v.} = mC_v$$

又完全瓦斯 = 對スル

$$C_p - C_v = AR$$

ヨリ

$$mC_p - mC_v = C_{m.p.} - C_{m.v.} = AR$$

$$\begin{aligned} \text{從テ} \quad C_{mp} &= mC_p = AmR + (C_{mv}) = \frac{848}{427} + C_{m.v.} \\ &= 1.985 + C_{m.v.} \quad (0^\circ\text{C. } 760 \text{ mm.}) \end{aligned}$$

ナル一定ノ關係アルヲ知ル、

又實驗ノ結果ニ依レバ一般ニ吾々が取扱フ瓦斯ノ比熱ハ溫度上昇ニツレテ増加シ其ノ變化ハ各瓦斯ノ性質ニ依ルモノニシテ諸家ノ實驗結果ヲ綜合セバ二原子瓦斯 $\text{H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO}$ 等ニ對スル比熱ハ等シク且溫度ニ就キテノ變化ハ直線的ニシテ $\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2$ 等ニ對スルモノハ二次曲線のニ變化スルモノトセラル、

Stodola. ニ依レバ

$$\text{H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO} \quad C_{m.v} = mC_v = 4.67 + 1.0 \times 10^{-3}T.$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad C_{m.v} = mC_v = 4.67 + 1.263 \times 10^{-3}T + 1.18 \times 10^{-6}T^2.$$

$$\text{CO}_2 \quad C_{m.v} = mC_v = 4.67 + 8.004 \times 10^{-3}T - 2.337 \times 10^{-6}T^2.$$

八、混合瓦斯ノ特性式、

今混合瓦斯ヲ構成スル各ノ瓦斯ニ對シ、

p_1, p_2, \dots, p_n 壓力、

V_1, V_2, \dots, V_n 體積、

$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ 密度、

G_1, G_2, \dots, G_n 重量、

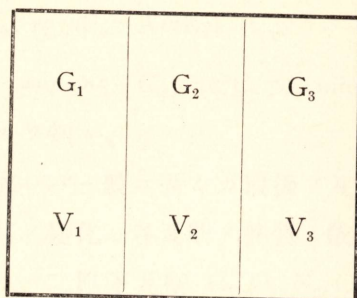
m_1, m_2, \dots, m_n 分子量、

C_1, C_2, \dots, C_n 比熱、

R_1, R_2, \dots, R_n 瓦斯恒數、

T_1, T_2, \dots, T_n 絶對溫度、

混合瓦斯ニ對スルモノヲ夫々 $p, V, \gamma, G, m, C, R, T$ トス、



p, T (恒數)

Fig. 1

(I) 混合瓦斯ノ部分壓力 (Dalton ノ法則)

今異ナル瓦斯ヲ Fig. 1 ノ如キ隔壁アル容器ニ入レ其ノ各ノ重量ヲ G_1, G_2, G_3, \dots 體積ヲ V_1, V_2, V_3, \dots トシ尙何レモ同一溫度並ニ壓力 T, p ナル時若シ隔壁ヲ取除カバ互ニ擴散シテ結局各ノ瓦斯ハ一樣ニ容器全容積

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots = V$$

ヲ占ムルコトトナリ從テ混合瓦斯ノ部分壓力 (Partial pressure) ハ最初ノ壓力 p ヨリ低ク其ノ部分壓力ヲ p_1, p_2, p_3, \dots トスレバ溫度一定ナル故 Boyle ノ法則ニ從フ時

$$pV_1 = p_1V \quad \text{又ハ} \quad p_1 = p \frac{V_1}{V}$$

$$pV_2 = p_2V \quad \text{又ハ} \quad p_2 = p \frac{V_2}{V}$$

$$pV_3 = p_3V \quad \text{又ハ} \quad p_3 = p \frac{V_3}{V}$$

.....
.....

$$\therefore p_1 : p_2 : p_3 : \dots = V_1 : V_2 : V_3 : \dots$$

$$\text{又 } p_1 + p_2 + p_3 + \dots = p \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots}{V} = p.$$

$$\text{即チ } \sum p_i = p.$$

此ノ關係ヲ Dalton ノ法則ト稱ス、

$$\text{又 } p_1 V = G_1 R_1 T$$

$$pV = GRT$$

$$\therefore \frac{p_1 V}{pV} = \frac{G_1 R_1 T}{GRT}$$

$$\therefore p_1 = p \left(\frac{G_1}{G} \right) \left(\frac{R_1}{R} \right), \quad p_2 = p \left(\frac{G_2}{G} \right) \left(\frac{R_2}{R} \right) \dots \dots \dots$$

即チ部分壓力ハ各瓦斯ノ重量割合ト瓦斯恒數比ヲ以テモ表ハシ得、

(II) 混合瓦斯ノ重量割合、密度及分子量、

今混合セル各瓦斯ヲ同一壓力同一溫度ナルモノト考ヘ其ノ部分體積 V_1, V_2, \dots ナル時各瓦斯ニ對シ

$$pV_1 = G_1 R_1 T, \quad pV_2 = G_2 R_2 T, \quad \dots \dots \dots pV_n = G_n R_n T.$$

又混合瓦斯ニ對シ

$$pV = GRT.$$

從テ重量割合ハ

$$\frac{G_1}{G} = \left(\frac{V_1}{V} \right) \frac{R}{R_1}, \quad \frac{G_2}{G} = \left(\frac{V_2}{V} \right) \frac{R}{R_2} \dots \dots \dots \frac{G_n}{G} = \left(\frac{V_n}{V} \right) \frac{R}{R_n}$$

即チ體積割合 $\left(\frac{V_1}{V} \right), \left(\frac{V_2}{V} \right) \dots$ ヲ以テ表ハスコトヲ得、

サレド多クノ場合混合瓦斯ノ恒數 R ハ不明ナル故標準状態ニ於ケル各瓦斯ノ密度ヲ以テ求ムルヲ普通トス、

$$\text{即チ } G = G_1 + G_2 + \dots \dots \dots G_n$$

$$\gamma V = \gamma_1 V_1 + \gamma_2 V_2 + \dots \dots \dots \gamma_n V_n$$

$$\therefore \gamma = \gamma_1 \left(\frac{V_1}{V} \right) + \gamma_2 \left(\frac{V_2}{V} \right) + \dots + \gamma_n \left(\frac{V_n}{V} \right) \dots (1)$$

從ツテ

$$\frac{G_1}{G} = \left(\frac{V_1}{V} \right) \frac{\gamma_1}{\gamma}, \quad \frac{G_2}{G} = \left(\frac{V_2}{V} \right) \frac{\gamma_2}{\gamma}, \quad \dots \quad \frac{G_n}{G} = \left(\frac{V_n}{V} \right) \frac{\gamma_n}{\gamma} \dots (2)$$

即チ重量割合ハ又體積割合並ニ密度比ヲ以テ表ハシ得、

尙混合瓦斯ノ見掛ケノ分子量ヲ m トスレバ mol. ノ考ヲ用ヒ重量ト體積トノ間ニハ一定ノ關係アリ、

故ニ

$$\frac{\gamma_1}{\gamma} = \frac{m_1}{m}, \quad \frac{\gamma_2}{\gamma} = \frac{m_2}{m} \dots \dots \dots \frac{\gamma_n}{\gamma} = \frac{m_n}{m}.$$

式 (1) = 代入シテ

$$m = m_1 \left(\frac{V_1}{V} \right) + m_2 \left(\frac{V_2}{V} \right) + \dots + m_n \left(\frac{V_n}{V} \right) = \sum m_i \left(\frac{V_i}{V} \right) \dots (3)$$

從テ式 (2) (3) ヨリ

$$\frac{G_1}{G} = \left(\frac{V_1}{V} \right) \frac{m_1}{m} = \frac{m_1 \left(\frac{V_1}{V} \right)}{\sum m_i \left(\frac{V_i}{V} \right)}$$

$$\frac{G_2}{G} = \frac{m_2 \left(\frac{V_2}{V} \right)}{\sum m_i \left(\frac{V_i}{V} \right)}$$

.....
.....

又一般ニ各瓦斯ノ mol 數ハ

$$n_1 = \frac{G_1}{m_1}, \quad n_2 = \frac{G_2}{m_2} \dots \dots \dots n_n = \frac{G_n}{m_n}$$

從テ混合瓦斯ノ mol 數ハ又

$$\frac{G}{m} = \frac{G_1}{m_1} + \frac{G_2}{m_2} + \dots = n_1 + n_2 + \dots$$

$$\therefore m = \frac{n_1 m_1 + n_2 m_2 + \dots}{n_1 + n_2 + \dots} \quad (4)$$

(III) 混合瓦斯ノ瓦斯恒數、

前同様混合瓦斯ノ重量ヲ G kg. トスレバ

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

尙各瓦斯ニ對シ

$$p_1 V = G_1 R_1 T$$

$$p_2 V = G_2 R_2 T$$

.....

.....

$$p_n V = G_n R_n T.$$

$$\therefore (p_1 + p_2 + \dots + p_n) V = (G_1 R_1 + G_2 R_2 + \dots + G_n R_n) T.$$

今混合瓦斯ノ特性式ヲ

$$pV = GRT$$

ト置ケバ未知恒數 R ハ兩式ヨリ

$$GR = (G_1 R_1 + G_2 R_2 + \dots + G_n R_n) = \sum G_i R_i$$

$$\therefore R = \frac{\sum G_i R_i}{G} \quad (5)$$

又ハ

$$R = \frac{G_1}{G} R_1 + \frac{G_2}{G} R_2 + \dots + \frac{G_n}{G} R_n \quad (6)$$

即チ各瓦斯ノ混合重量割合ヲ以テ混合瓦斯ノ瓦斯恒數ヲ表ハシ得、

又 1 mol. ニ對スル瓦斯恒數ハ常ニ一定ナルコトニ依リ式 (3)

(4) ヨリ混合瓦斯ニ對スル見掛ケノ分子量ヲ m トスレバ

$$R = \frac{1 \text{ mol. 對スル瓦斯恒數}}{m} \dots\dots\dots (7)$$

(IV) 混合瓦斯ノ比熱、

混合瓦斯ノ溫度ヲ 1°C 高ムルニ要スル全熱量ハ各瓦斯ノ熱量ノ總和ナリ、

故ニ

$$CG = C_1G_1 + C_2G_2 + \dots\dots\dots + C_n G_n$$

$$\therefore C = \frac{\sum C_1G_1}{G} \dots\dots\dots (8)$$

今混合瓦斯全量ヲ 1 kg. トスレバ

$$C = \sum C_1 G_1$$

從テ

$$C_p = \sum C_{p1}G_1, \quad C_v = \sum C_{v1}G_1 \dots\dots\dots (9)$$

又各瓦斯ノ體積比ヲ知レバ其ノ割合ハ混合瓦斯 1 mol. 對スル mol. 數トナル故今

$n_1, n_2, \dots\dots\dots n_n$ 混合瓦斯 1 mol 對スル各瓦斯ノ mol. 數、

$C_{m1}, C_{m2}, \dots\dots\dots C_{mn}$ 1 mol 對スル比熱、

C_m 混合瓦斯ノ比熱、

トセバ

$$C_m(n_1 + n_2 + \dots + n_n) = n_1C_{m1} + n_2C_{m2} + \dots\dots + n_nC_{mn}$$

$$\therefore C_m = \frac{\sum n_1C_{m1}}{\sum n_1} = \sum n_1C_{m1} \quad (\because \sum n_1 = 1) \dots\dots\dots (10)$$

從テ

$$C_{mp} = \sum n_1C_{mp1}, \quad C_{mv} = \sum n_1C_{mv1} \dots\dots\dots (11)$$

(V) 混合瓦斯ノ溫度、

前述ノ如ク

[Faint handwritten notes and equations on the right page, including mathematical derivations and references to other parts of the text.]

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

$$C_v GT = C_{v1} G_1 T_1 + C_{v2} G_2 T_2 + \dots + C_{vn} G_n T_n = \sum_{v1} G_1 T_1$$

又式(9)ヨリ

$$C_v G = C_{v1} G_1 + C_{v2} G_2 + \dots + C_{vn} G_n = \sum C_{v1} G_1$$

故ニ混合瓦斯ノ溫度ハ

$$T = \frac{\sum C_{v1} G_1 T_1}{\sum C_{v1} G_1} \dots \dots \dots (12)$$

體積ノ項ニテ表ハセバ

$$G_1 = \frac{p_1 V_1}{R_1 T_1}, \quad G_2 = \frac{p_2 V_2}{R_2 T_2}, \quad \dots \dots \dots G_n = \frac{p_n V_n}{R_n T_n}$$

尙

$$\frac{m_1 C_{v1}}{m_1 R_1} = \frac{m_2 C_{v2}}{m_2 R_2} = \dots \dots \dots$$

故ニ式(12)ニ代入シテ

$$T = \frac{\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} + \dots}{\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} + \dots} = \frac{\sum p_1 V_1}{\sum \frac{p_1 V_1}{T_1}}$$

$$\text{又} \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = G_1 R_1, \quad \frac{p_2 V_2}{T_2} = G_2 R_2, \quad \dots \dots \dots$$

$$GR = G_1 R_1 + G_2 R_2 + \dots = \sum G_1 R_1 \quad [\text{式}(5)]$$

$$\therefore T = \frac{\sum p_1 V_1}{\sum G_1 R_1} = \frac{\sum p_1 V_1}{GR} \dots \dots \dots (14)$$

$$\text{又} \quad GRT = p_1 V_1 + p_2 V_2 + \dots = \sum p_1 V_1$$

$$\therefore pV = p_1 V_1 + p_2 V_2 + \dots = \sum p_1 V_1 \dots \dots \dots (15)$$

[例題]

1. 發生爐瓦斯 $1 m^3$ ニ對スル分析ノ結果體積割合 $(H_2) = 0.07$
 $(CO) = 0.27$ $(CO_2) = 0.05$ $(CH_4) = 0.02$ $(N_2) = 0.59$ ナル時

今 $dv=0$

$$\therefore ds = C_v \frac{dT}{T} = \left(\frac{a_v}{T} + b \right) dT.$$

$$\therefore \Delta s = s_2 - s_1 = a_v \left[\log_e \frac{T_2}{T_1} + \frac{b}{a_v} (T_2 - T_1) \right]$$

3. $L=0.$

$$4. q = u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT = a_v (T_2 - T_1) \left[1 + \frac{1}{2} \frac{b}{a_v} (T_2 - T_1) \right]$$

今之等ノ關係ヲ T-s 線圖ニ依リ圖示スレバ Fig. 2 ノ如ク「エントロピー」ノ變化ハ溫度ノミノ函數トシテ表ハシ得ル故等積線ハ AB ノ如キ對數曲線トナリ從テ状態 A (T_1, p_1, v_1) ヨリ B (T_2, p_2, v_1) へノ變化中ノ受熱量 (又ハ放熱量) ハ

$$q = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT = \text{面積 } A_1 A B B_1$$

トナリ「エントロピー」ノ變化ハ $A_1 B_1$ トナル、

(II) 等壓變化、

1. $p = p_0 \quad \frac{v}{T} = \frac{R}{p_0} = \text{恒數}$

2. $ds = \frac{dq}{T} = \frac{C_p dT - A v dp}{T}$ [10 頁式 (a)]

今 $dp=0$

$$\therefore ds = C_p \frac{dT}{T} = \left(\frac{a_p}{T} + b \right) dT$$

$$\therefore \Delta s = s_2 - s_1 = a_p \left[\log_e \frac{T_2}{T_1} + \frac{b}{a_p} (T_2 - T_1) \right]$$

3. $L = p_1 (v_2 - v_1)$

$$4. q = i_2 - i_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = a_p (T_2 - T_1) \left[1 + \frac{1}{2} \frac{b}{a_p} (T_2 + T_1) \right]$$

前同様ニシテ Fig 2 ニ於テ等壓線ハ AC ノ如ク表ハサレ同一溫度範圍ニ於ケル「エントロピー」ノ増加ハ比熱恒數ナル場合等

今之等ノ關係ヲ T-s 線圖ニ依リ圖示スレバ Fig. 2 ノ如ク「エントロピー」ノ變化ハ溫度ノミノ函數トシテ表ハシ得ル故等積線ハ AB ノ如キ對數曲線トナリ從テ状態 A (T_1, p_1, v_1) ヨリ B (T_2, p_2, v_1) へノ變化中ノ受熱量 (又ハ放熱量) ハ

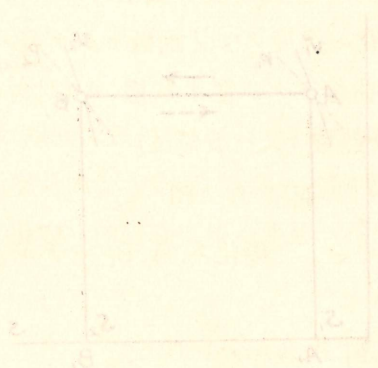


Fig. 2

$$q = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = a_p (T_2 - T_1) \left[1 + \frac{1}{2} \frac{b}{a_p} (T_2 + T_1) \right]$$

$$L = p_1 (v_2 - v_1)$$

$$q = i_2 - i_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

$$q = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = a_p (T_2 - T_1) \left[1 + \frac{1}{2} \frac{b}{a_p} (T_2 + T_1) \right]$$

積變化ノ場合ノ $\frac{C_p}{C_v} = R$ 倍トナリ AC ノ傾斜ハ AB ニ比シ緩トナル、又此ノ場合ノ受熱量ハ面積 A_1ACC_1 ニシテ其ノ内面積 D_1DCC_1 ハ温度上昇ノミニ用キラルル熱量ヲ表ハシ面積 A_1ACDD_1 ハ AL ニ相當スル熱量トナリ「エントロピー」ノ増加ハ A_1C_1 トナル、

III 等温變化

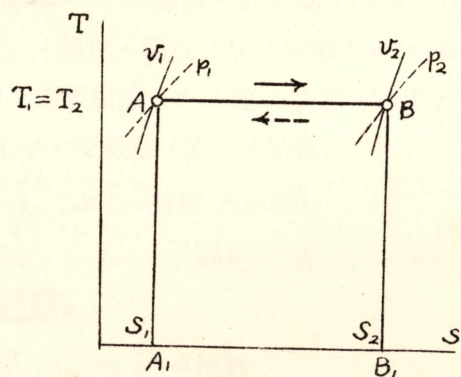


Fig. 3

1. $T = T_0$ $pv = RT_0 = \text{恒数}$ 、

2. $ds = \frac{dq}{T} = \frac{C_v dT + A p dv}{T} = \frac{C_p dT - A v dp}{T}$

今 $dT = 0$

$$\therefore ds = \frac{A p dv}{T} = AR \frac{dv}{v}$$

$$= -\frac{A v dp}{T} = -AR \frac{dp}{p}$$

$$\therefore \Delta s = s_2 - s_1 = AR \log_e \frac{v_2}{v_1} = AR \log_e \frac{p_1}{p_2}$$

$$3. L = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p_1 v_1 \log_e \frac{v_2}{v_1}$$

$$4. q = AL = (s_2 - s_1)T.$$

T-s 線圖 = 於此ノ變化ハ Fig. 3ノ如ク S 軸ニ平行線トナリ
面積 A_1ABB_1 ハ受熱量 q ヲ表ハシ之ハ又仕事ノ熱當量トナリ
「エントロピー」ノ變化ハ A_1B_1 トナル。

(IV) 等「エントロピー」(斷熱)變化

$$1. ds = \frac{dq}{T} = \frac{C_v dT + A p dv}{T} = \left(\frac{a_v}{T} + b \right) dT + AR \frac{dv}{v}$$

今 $ds = 0$ 又 $a_p - a_v = AR$

$$\therefore 0 = a_v \frac{dT}{T} + b dT + (a_p - a_v) \frac{dv}{v}$$

積分シテ $a_v \log T + bT + (a_p - a_v) \log v = \text{恒數}$ 、

$$\therefore T \cdot v^{(\gamma_0 - 1)} \cdot e^{\frac{bT}{a_v}} = \text{恒數} \dots \dots \dots (1)$$

(1) ヨリ v ヲ消去スレバ

$$T^{\gamma_0} \cdot p^{(1 - \gamma_0)} \cdot e^{\frac{bT}{a_v}} = \text{恒數} \dots \dots \dots (2)$$

又 (1) ヨリ T ヲ消去スレバ

$$p \cdot v^{\gamma_0} \cdot e^{\frac{bT}{a_v}} = \text{恒數} \dots \dots \dots (3)$$

2. $\Delta s = s_2 - s_1 = 0$ 又ハ $s = \text{恒數}$

3. 外部仕事ハ内部「エネルギー」ノ消費ニ依ル 故ニ

$$AL = -(u_2 - u_1) = - \int_{T_1}^{T_2} C_v dT$$

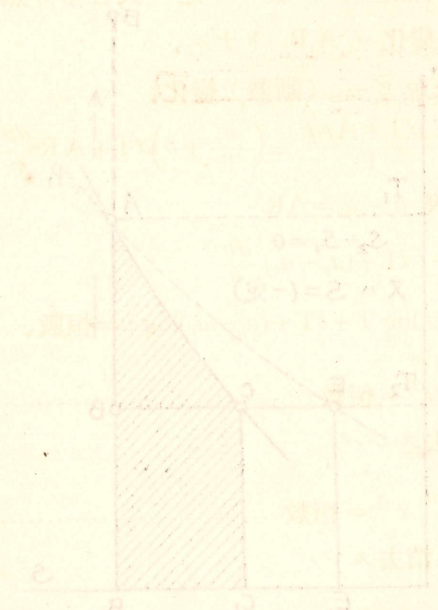
$$= -a_v (T_2 - T_1) \left\{ 1 - \frac{1}{2} \frac{b}{a_v} (T_2 + T_1) \right\}$$

$$\therefore L = - \frac{a_v}{A} (T_2 - T_1) \left\{ 1 + \frac{1}{2} \frac{b}{a_v} (T_2 + T_1) \right\}$$

然ルニ $r_0 = 1 = \frac{AR}{a_v}$

$$\left\{ (T_2 + T_1) \frac{b}{2a_v} + 1 \right\} \frac{C_v (T_2 - T_1)}{A} = \dots$$

$$(T_2 + T_1) \frac{b}{2a_v} + 1 = \dots$$



圖中 T-s 線圖ニ於テ、T 軸ニ垂直ニ線ヲ引キ、T₁ 中ノ點ニ至ル
 中ノ點ニ至ル、T₂ 中ノ點ニ至ル、T₁ 中ノ點ニ至ル、T₂ 中ノ點ニ至ル
 費用ノ一、T₁ 中ノ點ニ至ル、T₂ 中ノ點ニ至ル、T₁ 中ノ點ニ至ル、T₂ 中ノ點ニ至ル
 同ノマニ至ル、T₁ 中ノ點ニ至ル、T₂ 中ノ點ニ至ル、T₁ 中ノ點ニ至ル、T₂ 中ノ點ニ至ル

様ニ B ヨリ A ニ壓縮スル場合外部ヨリ爲サルル仕事トナル、

サレド之等ノ仕事ハ静止セル瓦斯ノ斷熱膨脹又ハ壓縮ニヨリナサルル仕事ニシテ例ヘバ空氣機關又ハ空氣壓搾機ニテ斷熱膨脹又ハ壓縮ニヨリテナサルル仕事ハ其ノ上ニ尙等壓仕事ヲ伴フ爲仕事ハ含熱量ノ差即チ

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

トナリ其ノ場合ノ仕事ハ面積 $E_1 E A B_1$ ニテ表ハサルルコトト混同スベカラズ、

[例題]

絶對壓力 3 氣壓溫度 15°C ナル炭酸瓦斯 0.1 kg ヲ絶對壓力 20 氣壓迄斷熱壓縮スル時壓縮後ノ溫度及壓縮ニ要スル仕事量ヲ求メヨ但シ比熱ハ溫度ニ對シ直線的ニ變化スルモノトス、

一一、空氣ニ對スル Ostertag

「エントロピー」線圖、

瓦斯ノ比熱ヲ溫度ノミノ函數トセバ一般ニ

$$C_v = a_v + bT + cT^2 + \dots$$

$$C_p = a_p + bT + cT^2 + \dots$$

ニテ表ハサル 但シ a_v, a_p, b, c, \dots 恒數、

若シ T ガ甚シク大ナラザル場合ニ於テハ實際上上式右邊ノ第二項以下ハ閑却スルコトヲ得ル程度ニアリ、乃之等ノ項ヲ無視スレバ

$$C_v = a_v = \text{恒數、}$$

$$C_p = a_p = \text{恒數、}$$

トナル、然ルトキハ半完全瓦斯ノ「エントロピー」ノ變化ハ

$$ds = \frac{dq}{T} = C_v \frac{dT}{T} + \frac{A p dv}{T} = C_p \frac{dT}{T} - \frac{A v dp}{T}$$

$$\begin{aligned} \therefore s - s_0 &= C_v \log \frac{T}{T_0} + AR \log \frac{v}{v_0} \\ &= C_p \log \frac{T}{T_0} - AR \log \frac{p}{p_0} \end{aligned}$$

一般的ニ基準ノ溫度ヲ T_0 、任意ノ溫度ヲ T トシタルモノナリ、此等ノ式ヨリ「エントロピー」ノ變化ハ溫度ト體積ノミカ又ハ溫度ト壓力ノミカノ項ニテ決定セラル、 C_v, C_p, R ハ孰レモ與ヘラレタル瓦斯ニ就キ實驗的ニ決定セラルルヲ以テ $T-s$ 座標上ニ任意ノ體積又ハ壓力ニ對スル等積線並ニ等壓線ヲ求ムルコトヲ得、斯クシテ得タル $T-s$ 線圖ヲ使用セバ狀態ノ變化ハ圖上ヨリ容易ニ求メ得ベシ、

Ostertag ハ空氣 1 kg. ニ就キ溫度範圍 $-50^\circ \sim 350^\circ \text{C}$ ニ對シ

$$C_v = 0.170 \quad C_p = 0.238$$

ナル値ヲ採用シ Fig. 5 ノ如キ「エントロピー」線圖ヲ作製シ尙

$$i - i_0 = C_p(T - T_0)$$

ナル關係ヨリ T 軸ニ含熱量 i ノ尺度ヲモ併セ目盛リタリ、基準初狀態トシテ

$$T_0 = 273. \quad (t = 0^\circ \text{C}) \quad p_0 = 10^4 \text{kg/m}^2 \quad (1 \text{ at.})$$

ヲ撰ベバ

$$v_0 = \frac{RT_0}{p_0} = \frac{29.27 \times 273}{10^4} = 0.799 \text{ m}^3/\text{kg.}$$

又 $u_0 = 0$

$$\therefore i_0 = u_0 + A p_0 v_0 = \frac{1}{427} RT_0 = 18.71 \text{ k. cal./kg.}$$

尙此ノ空氣線圖ハ又他ノ瓦斯ニモ適用スルコトヲ得、即チ Avo-

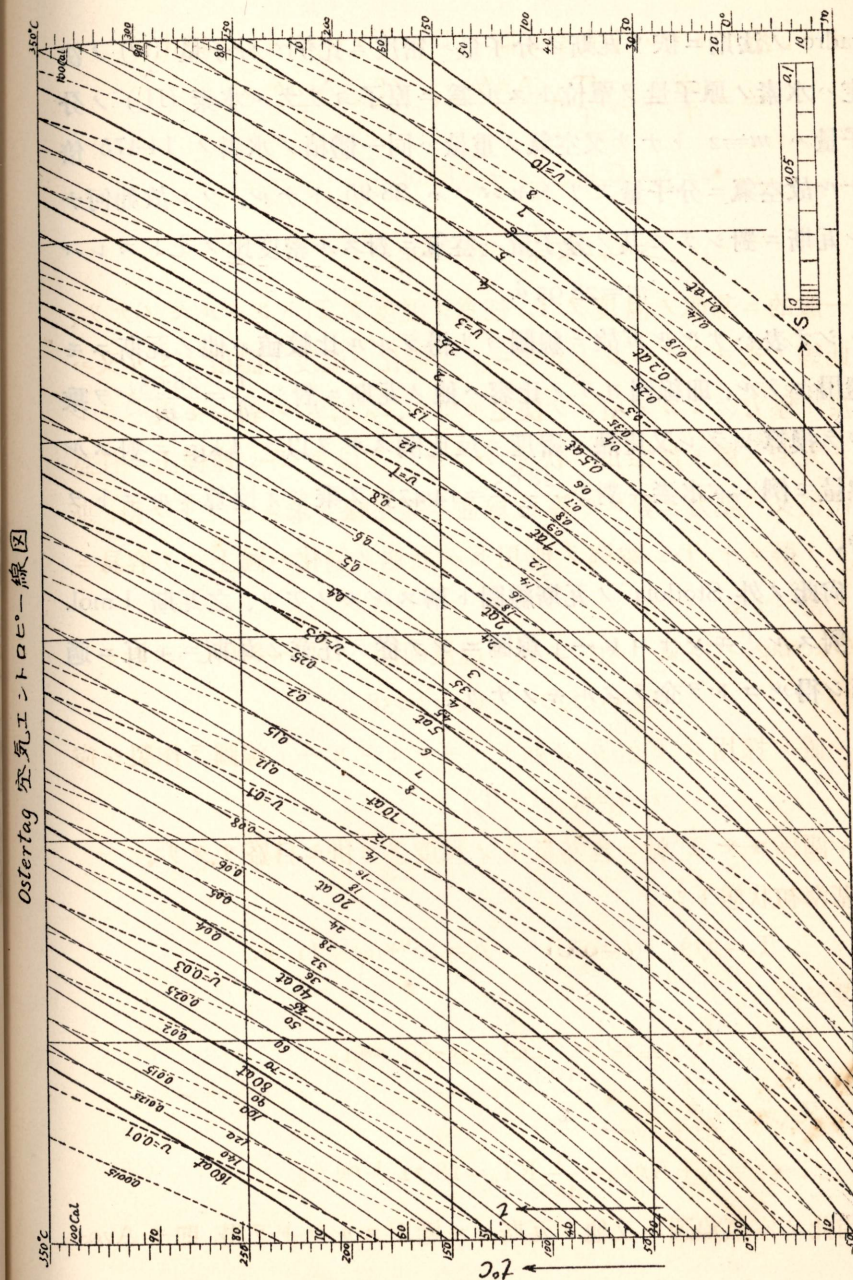


Fig. 5.

gadro ノ法則ニ依リ瓦斯ノ分子量ハ密度ニ比例シ分子量 (m) ノ決定ハ水素ノ原子量ヲ單位トスル爲ニ原子ヨリナル水素 (H_2) ノ分子量ハ $m=2$ トナリ又空氣ノ重量ハ同一體積ノ水素ノ 14.475 倍ナル故空氣ニ分子量アリトセバソハ 28.95 トナル、ソレ故如何ナル瓦斯ニ對ジテモ其ノ分子量ハ空氣ニ對スル密度比ヲ δ トスレバ

$$m = 28.95 \delta.$$

トシテ表ハサルルガ故ニ線圖ヨリ得ラルル比較値ハ他ノ瓦斯ニモ適用セラル、即線圖ヨリノ比容ハ他ノ瓦斯ニ對シ $\frac{1}{\delta} = \frac{28.95}{m}$ ヲ乘ジテ換算セラレ又比熱ハ密度ニ反比例スルヲ以テ 1 kg. ニ對スル熱量モ例ヘバ水素ニ對シ $\frac{28.95}{2} = 14.475$ ヲ乘ジテ換算スルコトヲ得、

尙此ノ外 Stodola ノ瓦斯線圖ト稱スルモノアリ、之瓦斯 1 mol. ニ對スル「エントロピー」線圖ニシテ從テ任意ノ瓦斯ニモ直ニ適用シ得ルコトヲ企テタルモノナリ、

第 三 章

第 三 章

Stodola の瓦斯線圖ト稱スルモノアリ、之瓦斯 1 mol. ニ對スル「エントロピー」線圖ニシテ從テ任意ノ瓦斯ニモ直ニ適用シ得ルコトヲ企テタルモノナリ、



熱ヲ加フルトモ蒸發氣溫度ハ一定ニシテ壓力ヲ増サバ其ノ溫度モ高マルガ故ニ、蒸發氣溫度ハ壓力ノ函數 $t=f_1(p)$ トナル。

又蒸發氣ノ比容(又ハ密度)ハ與ヘラレタル壓力ノ下ニ於テハ一定ニテ若シ其ノ壓力ヲ變ズレバソレニ應ジテ増減スル故比容(又ハ密度)モ亦壓力ノ函數 $v=f_2(p)$ ナリ、

此ノ蒸發過程ヲ $p-v$ 面上ニ圖示スレバ Fig. 6 ノ如クニシテ今 w ヲ壓力 p_1 ニ於ケル沸騰點ニアル水ノ狀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狀態 s ニ達スル迄等溫ノ儘其ノ體積ハ増加スルガ故ニ蒸發中ノ狀態變化ハ 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狀態ヲ表ハシ其ノ位置ニテ混在液體ノ割合ヲ表ハス

即チ $x = \frac{wm}{ws}$ ヲ乾度(又ハ乾燥度)(Dryness fraction)

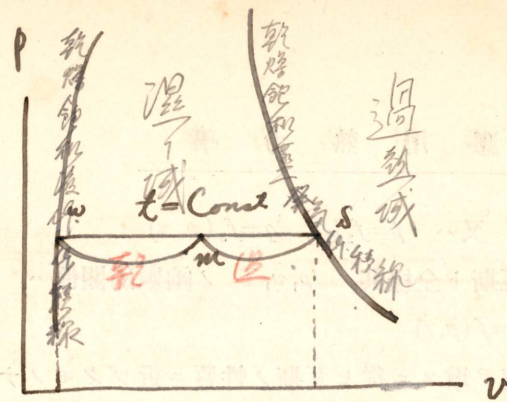
$1-x = \frac{ms}{ws}$ ヲ濕り度 (Wetness fraction)

ト稱ス、

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 (Saturation curve) ト稱シ兩限界ヲ示シ其ノ中間ハ濕り域、 v'' 線ヨリ右側ハ蒸發氣ノ過熱域トナル、而シテ濕り蒸發氣ノ溫度 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 及乾度 x ノ函數トナル、

飽和曲線



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{乾燥度 } x = \frac{wm}{ws} \\ \text{濕り度 } 1-x = \frac{ms}{ws} \end{array} \right.$$

例 大氣圧 $p_1 = 1 \text{ kg/cm}^2$ 濕り度 $\phi_1 = 0.6$
 溫度 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ナル時之ヲ
 $p_2 = 2 \text{ kg/cm}^2$, $t_2 = 60^\circ\text{C}$ 迄壓縮セル時、濕り度
 求ム

$$\phi_2 = \phi_1 \frac{p_2}{p_1} \frac{p_{s1}}{p_{s2}}$$

$$= 0.6 \times \frac{2}{1} \times \frac{0.0238}{0.2031} = 0.14$$

$\phi_2 \rightarrow 1$ ナル時

$$p_{s2} = 0.60 \times \frac{2}{1} \times 0.0238 = 0.0285 \text{ kg/cm}^2$$

即チ $t=f_1(p)$ 又ハ $p=f_2(t)$, $q=f_3(p, t)$

又過熱蒸發氣ハ瓦斯ト全様其ノ $p_1 v_1 T$ ノ函數的關係ハ

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

ニテ與ヘラレ過熱度ヲ増スニ從ヒ瓦斯ノ性質ニ近ヅクモノナリ、

一三、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溫度ハ 0°C . 又ソレニ相當スル飽和壓力ニ於ケル内部「エネルギー」ヲ零ト規約ス、從テ含熱量ハ此ノ基準零状態ニテ零トハナラズ、

(I) 液體熱 (Heat of liquid)

與ヘラレタル壓力ニ於ケル 0°C ノ液體ノ單位量例ヘバ 1kg . 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 $C' = \text{液體ノ比熱} = \text{溫度ノ函數 } f(t)$.

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

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從テ之ガ爲ニナサルル仕事量モ僅少ナル故液體熱ノ大部分ハ内部「エネルギー」ノ増加トナル、

(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

$q' \rightarrow$ 液體熱

= 體積増加 = $Ap(v' - v_0)$, 熱量 + 加熱 = 依ル内部「エネルギー」ノ増加
僅小 大部分:

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

($0 = 0^\circ\text{C}$ 時 $v = v_0$)

液體熱, 大部分ハ内部「エネルギー」ノ増加トナル

ト云ヒ其ノ變化ノ間溫度ハ不變ナリ、

$$r = \text{蒸發潛熱} = \left[\begin{array}{l} \text{狀態變化ニ伴ヒ體積增加ノ爲ルル仕事} \\ = Ap(v'' - v') \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{狀態變化ニ伴フ内部「エネルギー」ノ增加} \\ = r - Ap(v'' - v') \end{array} \right]$$

$$= \text{外部潛熱 } \phi + \text{内部潛熱 } \rho$$

(External latent heat) (Internal latent heat)

但シ $v'' = \text{蒸發氣ノ比容}$ 、

(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' ト蒸發潛熱 r トノ和トナリ之ヲ全熱量 (Total heat) ト稱ス、

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

又 $q'' = i'' - i_0$ 、

茲ニ $i'' = \text{壓力 } p \text{ ノ乾燥飽和蒸發氣ノ含熱量}$ 、

$i_0 = \text{壓力 } p \text{ } 0^\circ\text{C} \text{ ノ液體ノ含熱量}$ 、

$$= u_0 + Apv_0 = Apv_0 \quad (\because \text{定義ニ依リ } 0^\circ\text{C} = \text{於テ } u_0 = 0)$$

$$\therefore q'' = i'' - Apv_0$$

$$\therefore i'' = q'' + Apv_0 = q' + r + Apv_0$$

同様ニ飽和溫度ニ於ケル液體ノ含熱量ハ

$$i' = u' + Apv'$$

$$\therefore q' = i' - i_0 = i' - Apv_0$$

$$\therefore r = i'' - i'$$

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°C ノ液體ヲ乾燥飽和蒸發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°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

$r \rightarrow$ 蒸發潛熱

$$= \underbrace{\phi}_{\text{外部潛熱}} + \underbrace{\rho}_{\text{内部潛熱}}$$

全熱量 = 液體熱 + 蒸發潛熱

$$q'' = q' + r$$

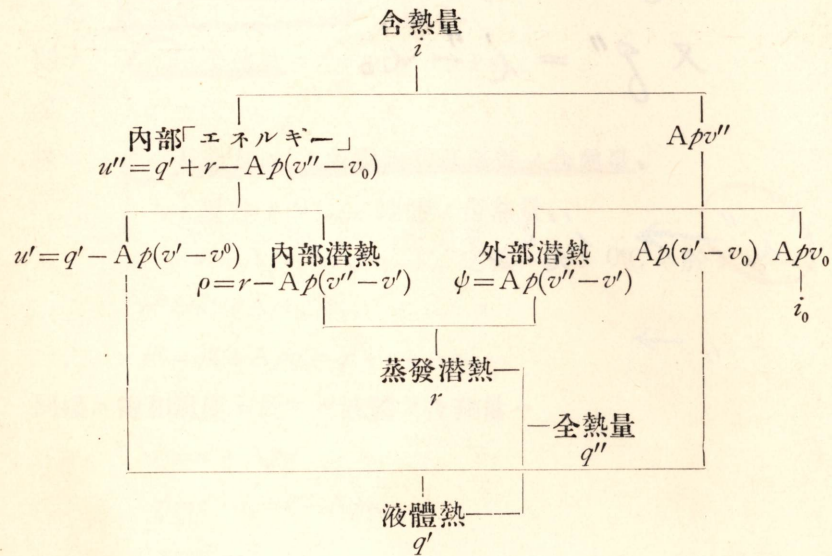
$$\times q'' = i'' - i_0$$

$i'' \rightarrow i$ 線圖ニ直ニ表スル

$i_0 \rightarrow$

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°C ノ水
 フ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、然レドモ一般ニ i_0 ハ壓力甚シク大ナラザル限
 リ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
 ト看做サルルモ既ニ述ベタル如ク i ハ狀態ノ函數ニシテ 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、



尙過熱蒸發氣ノ含熱量ハ

$$i = i'' + \int_T^{T_s} C_v dT$$

但シ T ハ飽和溫度、 T_s ハ過熱蒸發氣ノ溫度トス、

Figure 10-1: A thermodynamic diagram showing the relationship between internal energy u and specific volume v . The vertical axis is labeled u and the horizontal axis is labeled v . A curve represents the saturation vapor line, with points u'' and u' marked on it. A horizontal line is drawn at $u = u'$, intersecting the curve at v' and v'' . A vertical line is drawn at $v = v_0$, intersecting the curve at u_0 . A point u_0 is also marked on the vertical axis. The diagram illustrates the decomposition of total heat content i into internal energy u'' and work $A\rho v''$, and further into internal latent heat ρ and external latent heat ψ .

一四、蒸發氣ノ「エントロピー」ト T-s 線圖、

0°C 大氣壓ニ於ケル單位量ノ液體ヲ斷熱壓縮ニ依リ所要壓力ニ高ムレバ「エントロピー」ノ變化ナク唯僅ニ溫度ノ上昇ヲ伴フ、然ル後等壓ノ下ニ加熱シ其ノ溫度ヲ沸騰點迄高ムレバ「エントロピー」ノ變化ハ

$$s' - s_0 = \int_0^{t'} \frac{C' dT}{T} \quad \text{但シ } C' = \text{液體ノ比熱} = f(T).$$

今 0°C, 大氣壓ニ於ケル液體ノ「エントロピー」ヲ零ト規約セバ、

$$s_0 = 0 \quad \therefore \quad s' = \int_{273}^{T_1} f(T) \frac{dT}{T}.$$

即チ液體ノ比熱ヲ知ラバ異ル溫度ニ對スル「エントロピー」ノ變

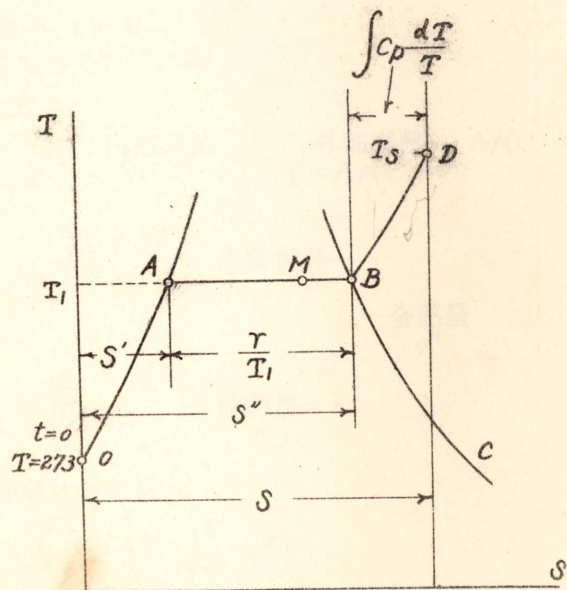


Fig. 7

... (faint, mostly illegible text on the right page) ...

化ハ容易ニ求ムルコトヲ得、Fig. 7 ノ OA ノ如ク圖示セラレ液體
限界曲線トナル、

次ニ等壓蒸發過程ニ於ケル潛熱ヲトセバ溫度變化ナキ爲「エ
ントロピー」ノ増加ハ

$$s'' - s' = \frac{r}{T_1}$$

トナリ AB ノ如ク表ハサル、從テ乾燥飽和蒸發氣ノ「エントロ
ピー」ハ

$$s'' = s' + \frac{r}{T_1}$$

トナリ異ル壓力ニ對スル s'' ヲ求ムレバ飽和蒸發氣ノ限界曲線
BC ヲ得、

更ニ等壓ノ儘溫度 T_s 迄過熱セバ「エントロピー」ノ増加ハ

$$s - s'' = \int_{T_1}^{T_s} \frac{C_p dT}{T} \quad \text{但シ } C_p = \text{過熱蒸發氣ノ等壓比熱、}$$

從テ異ル過熱溫度ニ對スル「エントロピー」ノ増加ハ曲線 BD ノ
如ク圖示セラレ、

一五、濕潤蒸發氣ノ性質、

Fig. 6, Fig. 7ニ於ケル兩飽和曲線ノ間ノ點例ヘバ m 又ハ M
ハ既ニ述ベタルガ如ク濕潤蒸發氣 (Wet vapour) ノ狀態ヲ表ハシ
今其ノ乾度ヲ x トスレバ此ノ狀態ニ於ケル

$$\text{含熱量 } i_m = i' + xr = i'' - (1-x)r.$$

$$\text{内部「エネルギー」 } u_m = u' + x\rho = u'' - (1-x)\rho.$$

$$\text{「エントロピー」 } s_m = s' + \frac{xr}{T_1} = s'' - (1-x)\frac{r}{T_1}.$$

$$\text{比容 } v_m = v' + x(v'' - v') = xv'' + (1-x)v' = xv''.$$

1. 飽和水ノ「エントロピー」

$$s' = \int_0^{T_1} \frac{C_d dT}{T}$$

2. 飽和蒸氣ノ「エントロピー」

$$s'' = \int_0^{T_1} \frac{C_d dT}{T} + \frac{r}{T_1}$$

3. 過熱蒸氣ノ「エントロピー」

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

$$i_m = i' + xr$$

$$u_m = u' + x\rho$$

$$s_m = s' + \frac{xr}{T_1}$$

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

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。

一六、蒸發氣又ハ蒸氣ノ性質決定上應用セラルル熱力學一般關係式、

蒸發氣ノ性質決定ハ勿論實驗ニ俟ツベキモ其ノ諸性質ハ決シテ互ニ無關係トハナラズ熱力學一般式ニヨリ決定セラル、從テ諸性質ノ内測定シ易キ量ヲ實驗ニ依リ決定スレバ他ノ性質ハ夫等關係式ヨリ導キ出サレ又異ル性質ヲ實驗ニ依リ無關係ニ定ムレバ夫等ノ結果ノ正確サヲ確メ得、蒸發氣又ハ蒸氣ノ表ガ如何ニシテ作ラレルカヲ知ル爲今熱力學一般關係式ノ内最モ廣ク應用セラルル例ヲ擧グレバ、

(I) Clausius ノ式ノ應用、

熱力學一般關係式 (VIII) (7 頁)

$$\left(\frac{\partial C_p}{\partial p}\right)_T = -AT \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p \dots \dots \dots (1)$$

ヲ Clausius ノ式ト稱シ特ニ過熱蒸發氣ノ比熱 C_p ト比容 v トノ間ノ關係ヲ示ス重要ナル式ナリトス、若シ實驗ニ依リ溫度一定ノ下ニテ壓力ノ變化ニ對スル C_p ノ變化ノ割合ヲ測定シ得レバ夫ヲ二重積分シテ比容 v ヲ決定シ得又蒸發氣ノ特性式ヲモ定メ得ルモノニシテカノ有名ナル Knoblauch ノ蒸發表ハ此ノ式ヲ基トシテ作ラレタルモノナリ、

(II) Clapeyron ノ式ノ應用、

次ニ潛熱 r ニ對スル蒸發中ノ體積ノ増加ヲ $(v'' - v')$ トスレバ

36

32
カ

$$r = l_v(v'' - v') \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{又ハ } l_v = \frac{r}{v'' - v'} \dots\dots\dots (2')$$

但シ l_v ハ熱係數 $(\frac{\partial q}{\partial v})_i$ ニシテ膨脹ノ潜熱 (Latent heat of expansion) ト稱セラル、

又一般關係式 [6 頁 (12) 式]

$$l_v = AT \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \text{ ヲリ}$$

$$r = AT \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v (v'' - v') \dots\dots\dots (3)$$

ナル關係ヲ得、之ヲ Clapeyron ノ式ト稱シ特ニ飽和蒸發氣ノ性質決定上重要ナル式ナリトス、

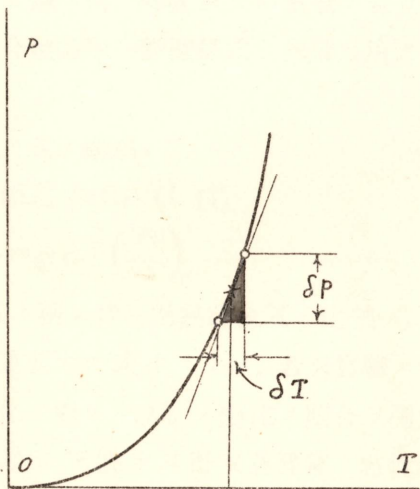


Fig. 8

一般ニ飽和蒸發氣ノ溫度ト壓力トノ關係ハ實驗ニ依リ定メ易ク此ノ關係ハ Fig. 8 ノ如ク圖示セラレ從テ $(\frac{\partial p}{\partial T})_{\text{sat}}$ ノ値ハ圖ヨリ

$l_v \rightarrow$ 膨脹、潜熱

$$l_v = \frac{r}{\text{体積増加}}$$

[Faint, mostly illegible text and diagrams on the right page, including a large graph with multiple lines.]

第四章 蒸氣ノ性質

—○○○○—

一七、蒸氣 (Steam) ノ性質ト特性式、

(I) 水ノ比熱、

水ノ比熱ハ一定ニアラズ、溫度ト共ニ變化ス、Callender ノ結果ニ依レバ Fig. 10 ノ如ク又 Dieterici ハ 40°C ヨリ 300°C 迄ニ就キ下記ヲ與ヘ居レリ、

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

尙嚴密ニハ比熱ハ溫度ノミナラ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、

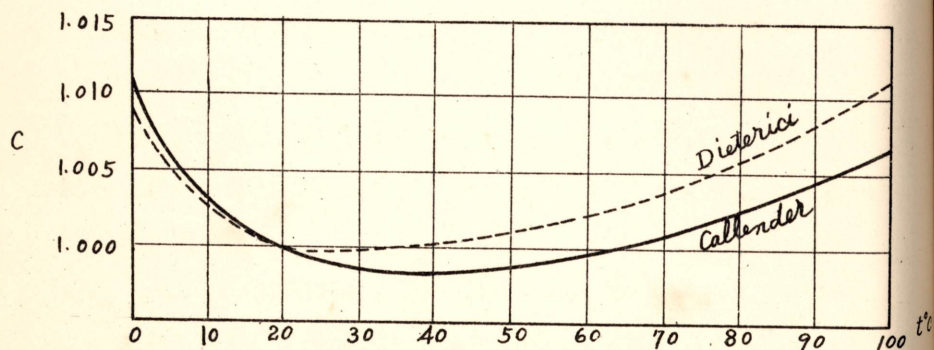


Fig. 10

(II) 蒸氣ノ比熱、

蒸氣ノ等壓比熱 C_p ハ前述ノ如ク若シ蒸氣ノ特性式 $v=f(T, p)$ ヲ知レバ Clausius ノ式 [38 頁(1) 式] ヲヨリ求メラレ然ラザレバ實驗ニ依リ直接測定スルヲ要ス、 C_p ノ値ヲ實驗ニ依リ定メタルモノノ内特ニ有名ナルモノハ Knoblauch ノ結果ニシテ彼ハ壓力 30 at. 溫度 350°C 迄ノモノヲ測定シ其ノ結果ハ Fig. 11 ノ如ク又下式ヲ以テ表ハシタリ、

$$C_p = f(T) + \frac{c}{T - \varphi(p)}$$

但シ $f(T) = 0.3391 + 0.000197 T - \frac{12.8}{T - 256.4}$ (100°C 以上)

$= 0.4575 - \frac{20.33}{T - 241.58}$ (100°C 以下)

$\varphi(p) = 0.3575 + 0.37354 p - \frac{588.97}{18.165 + p}$

$c = \text{恒數} = 20.33$

$p = \text{kg./cm}^2$

$T = \text{絕對溫度}(C^\circ)$

(III) 蒸氣ノ特性式 $v=f(T, p)$

若シ蒸氣ノ特性式 $v=f(T, p)$ ヲ知レバ前述ノ如ク C_p ハ實驗ニ依ラズシテ求ムルコトヲ得ルガ故ニ熱力學一般關係式 (VI) (VII) ヲヨリ含熱量、「エントロピー」ハ決定セラル、今迄諸家ニ依リ與ヘラレタル特性式ノ數ハ多ケレド之等ヲ綜合スレバ次ノ形ノ一般式ニテ表ハサル、

$$p(v-b) = RT - X$$

但シ $R = \text{瓦斯恒數}$, $b = \text{恒數}$, $X = f(p, T)$

而シテ Callender ノ與ヘタルモノハ最モ簡單ニシテ其ノ特性式

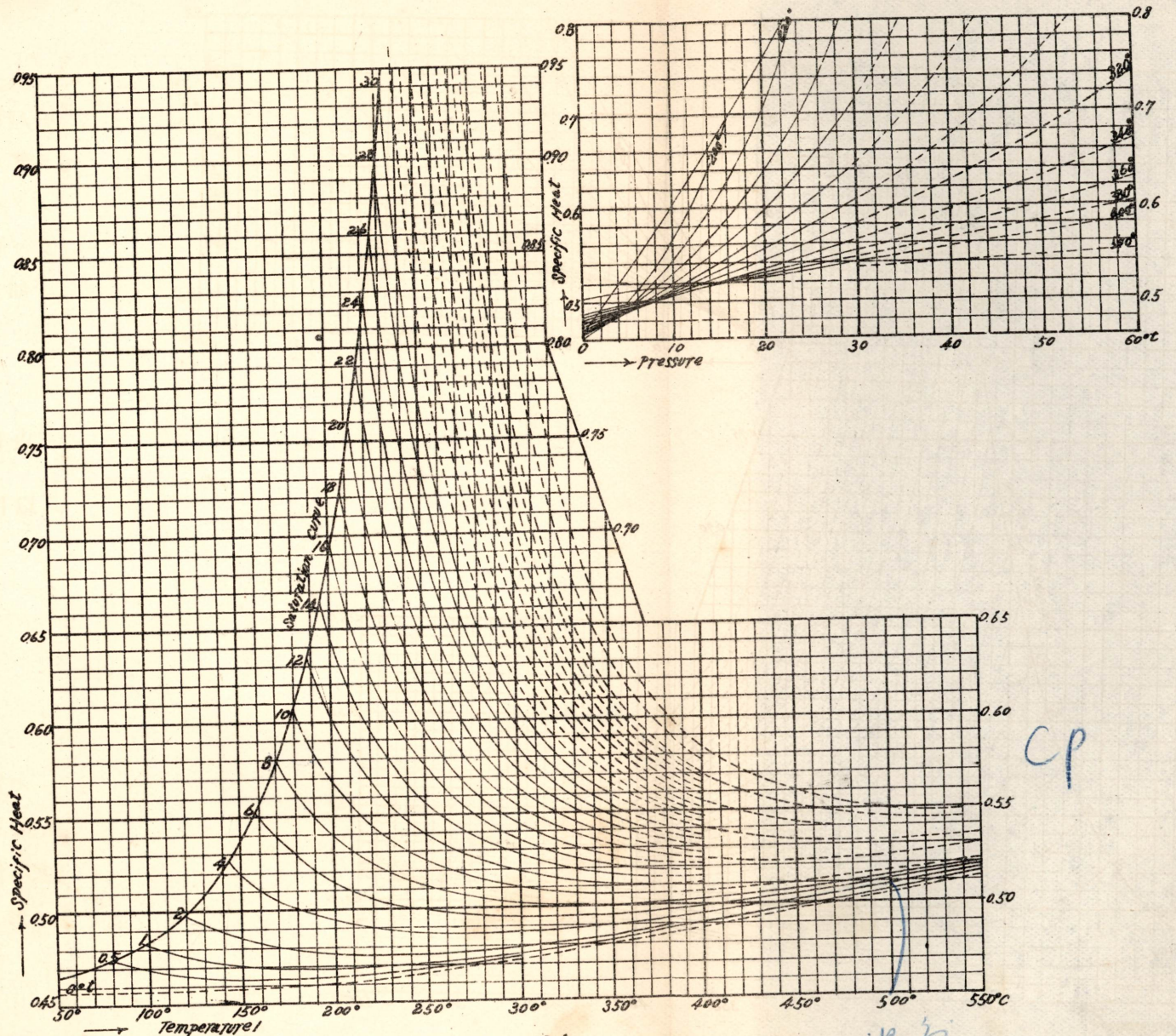


Fig 11

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ハ著シク異ル、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° (CO₂), -35° (NH₃), -8° (SO₂) ニ於テ始メテ濕潤狀態トナリ換言スレバ大氣壓ニ於ケル沸騰點ハ著シク低シ或ハ又同一溫度ニ對スル飽和壓力著シク高シ 即チ 0°C ニ於テ

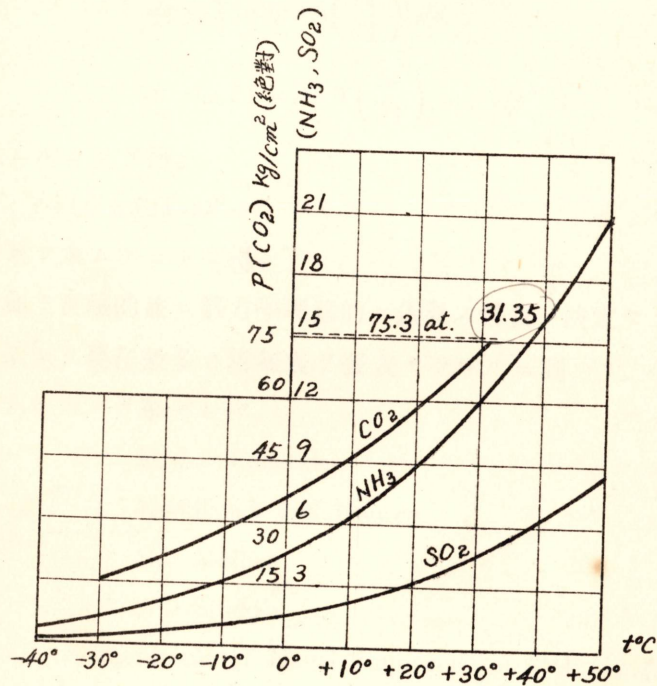


Fig. 12

CO₂—約 35 at.

NH₃—約 4.4 at.

... 蒸氣ノ性質ニ關シテハ... 蒸氣ノ特性ニ類似シ...

... 31.35 ... 75.3 at. ...

... 蒸氣ノ性質ニ關シテハ... 蒸氣ノ特性ニ類似シ...

第五章

蒸氣ノ状態變化ト線圖

一八、限界状態、

既ニ Fig. 6. Fig. 7 ニ圖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 Fig. 13, Fig. 14 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
 フ示シ從テ液體、蒸發氣兩限界曲線ハ此ノ連續曲線ノ一部ニ過ギ

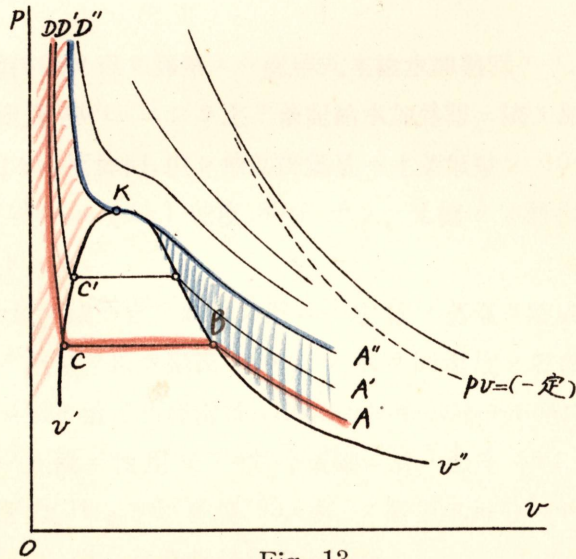


Fig. 13

第五章

圖解ノ狀態變化ト線圖

蒸氣ノ状態變化ト線圖

Figure 13 is a P-v diagram illustrating the transition of a liquid-vapor mixture to a supercritical state. The vertical axis represents pressure (P) and the horizontal axis represents specific volume (v). The diagram shows a solid curve representing the liquid-vapor coexistence region, which includes a horizontal segment between points C and A. A dashed curve represents the supercritical region, with a horizontal segment between points C' and A'. Point K is the critical point where the two curves meet. A vertical line DD'D'' is shown at the left. A curve labeled $pv = (-定)$ is also shown. The area between the curves is shaded with red and blue diagonal lines.

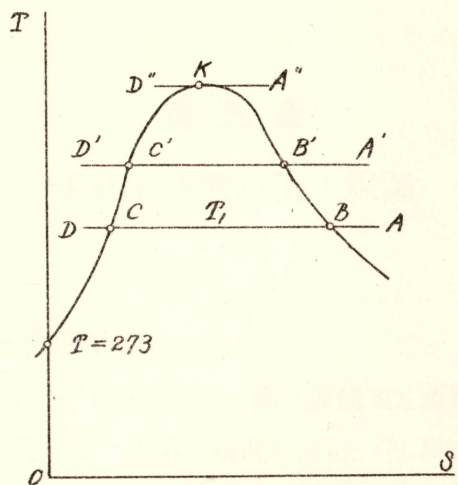


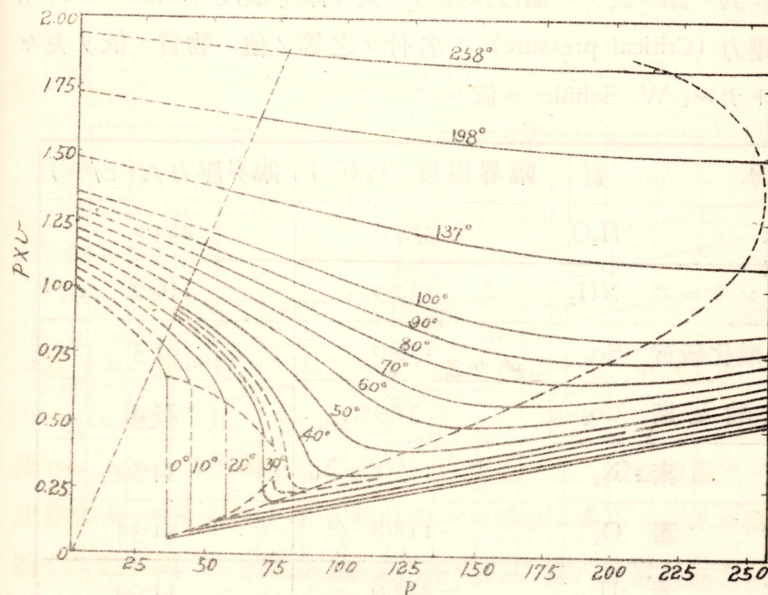
Fig. 14

ザルコトヲ知ル、此ノ連続曲線ノ示ス意味ヲ一層明瞭ニスル爲ニ等温變化（壓縮）ヲ考フルニ今 Fig. 13, 14 ニ於テ状態 A ニテ示サル過熱蒸氣ヲ其ノ温度 T, ノ儘等温壓縮ヲナサシムレバ壓力ハ高マリ其ノ温度ニ相等スル飽和壓力 B 點迄上昇ス、尙等温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温壓縮スレバ CD ノ如ク壓力ノ増加ハ急トナル、斯ノ如ク等温壓縮ハ三ツノ判然ト區別シ得ル部分即チ AB 過熱状態、BC 濕潤状態、CD 液體状態ノ三部分ヨリ成ルコトヲ知リ若シ温度ヲ高ムレバ同様ナル結果ヲ得ルモ次第ニ BC ノ長サヲ減ジ K ニ於ケル温度 T_k 迄高ムレバ極限トシテ BC ハ一點トナル、

即チ $BC = v'' - v' = 0$ $v'' = v'$

從テ Clapeyron ノ式

Amagat



炭酸「ガス」ノ等温線

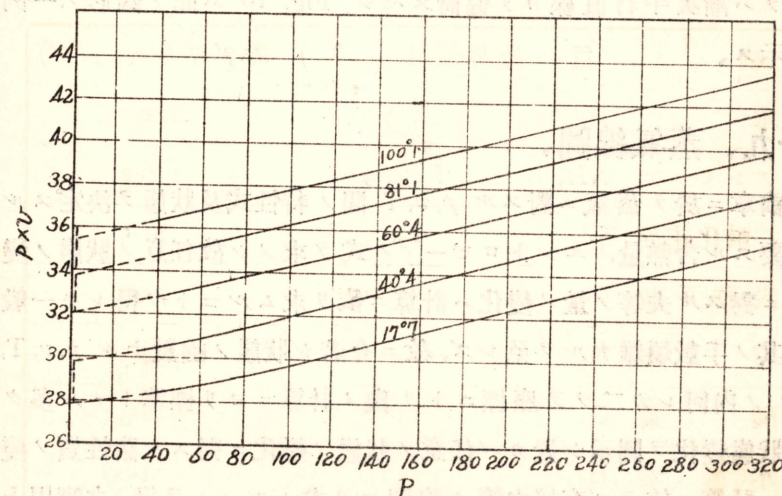
Fig 15, 1

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

ヨリ蒸發潜熱 $r=0$ ナルコトヲ知リ尙壓縮溫度ヲ高メテ T_k 以上ニ高ムレバ次第ニ $pv = \text{恒數}$ 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 (Critical point), 其ノ點ニ於ケル溫度及壓力ヲ夫々臨界溫度 (Critical temp.), 臨界壓力 (Critical pressure) ト名付ケ之等ノ値ハ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 (C°)	臨界壓力 p_k (kg./cm ²)
水	H ₂ O	374.0	224.2
アンモニア	NH ₃	132.9	116.2
二酸化硫黃	SO ₂	156.0	81.5
炭酸瓦斯	CO ₂	31.35	75.3
窒素	N ₂	-147.1	34.59
酸素	O ₂	-118.8	51.35
水素	H ₂	-242.0	11.00
空氣	—	-140.0	40.4

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ク常溫ニ於テ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、即瓦斯ト謂ヒ蒸發氣ト謂フ



水素ノ等温線

Fig 15, 2

モ其ノ間ニハ判然タル區別アルナク只前述ノ如ク飽和狀態ヨリノ
距リ如何ニアルノミナルコトヲ克ク了解スルヲ要ス、

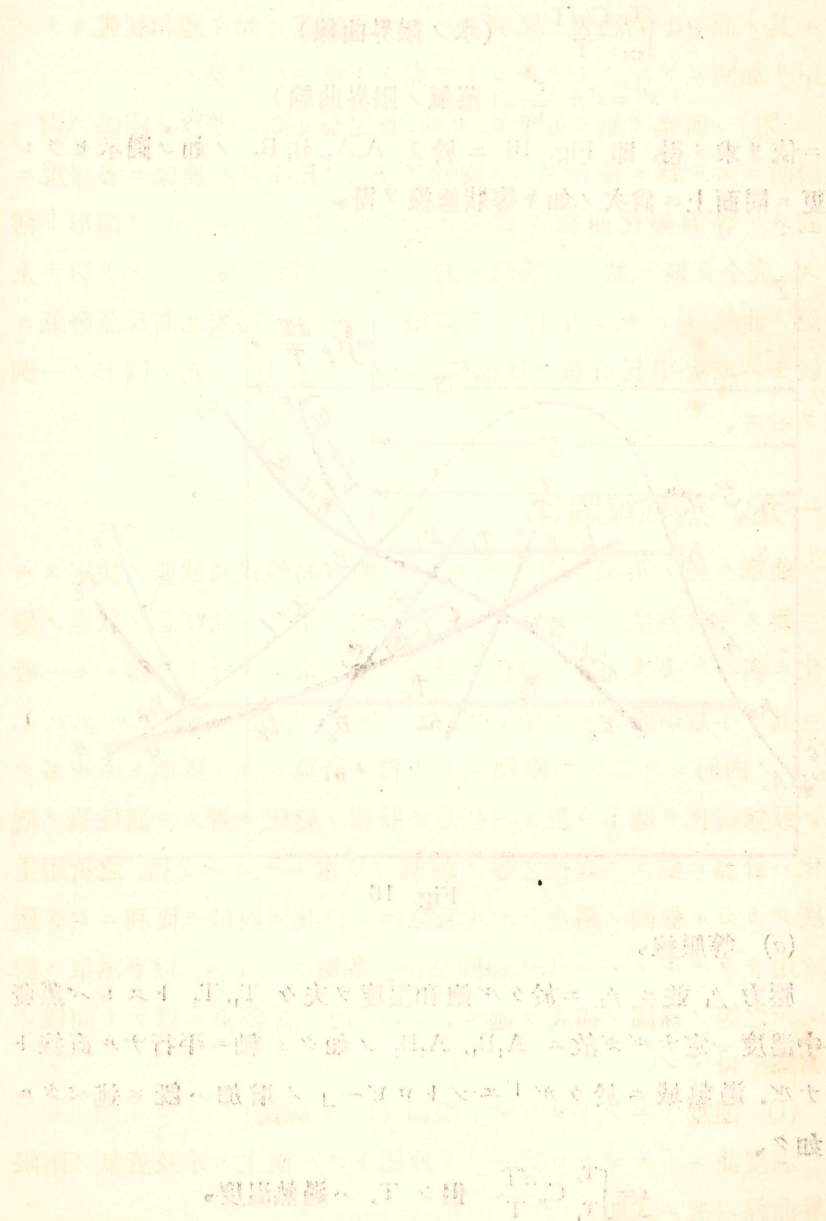
〔附〕 前述ノ如キ蒸發氣、瓦斯、及完全瓦斯ノ性質ノ關係ヲ尙一
層明ニスル爲ニ横軸ヲ v 、縦軸ヲ pv ノ積トスル座標ニ各溫度ニ
對スル等溫變化曲線ヲ畫クコトアリ、之ヲ Amagat ノ圖形ト稱
ス、完全瓦斯ニ就テハ等溫ニ於テ pv ノ積ハ一定トナルヲ以テ上
記ノ曲線ハ v 軸ニ平行ナル直線トナルベク實際瓦斯及蒸發氣ニ
就テハ漸次平行直線ヨリ偏倚スベシ、Fig. 15 ハ此ノ圖形ノ一例
ヲ示ス、

一九、蒸氣線圖、

前章ニ於テ蒸氣ニ對スル p, v, T 間ノ特性式及狀態ヲ決定スル
ニ要スル含熱量、「エントロピー」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 ノ内何レカ二ツヲ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「エントロピー」線圖 ($T-s$ 線圖)

溫度並ニ「エントロピー」ヲ座標トスル面上ニ水及蒸氣ノ兩限
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 Fig. 16 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状態線ヲ得、

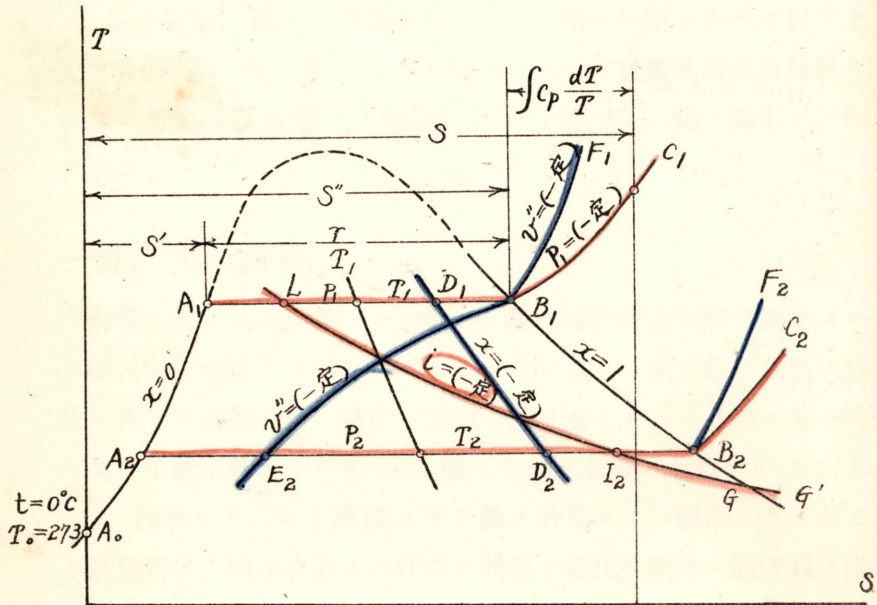


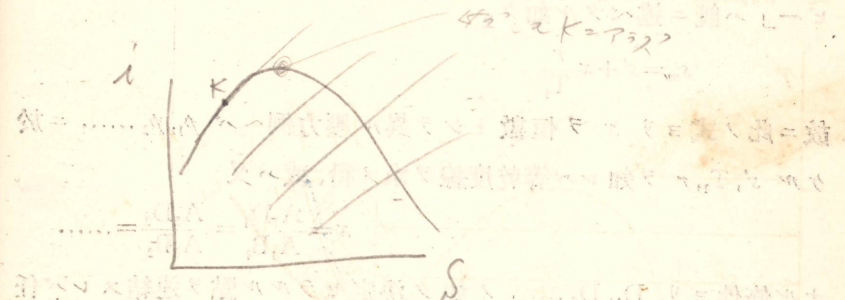
Fig. 16

(a) 等壓線、

壓力 p_1 並ニ p_2 ニ於ケル飽和温度ヲ夫々 T_1, T_2 トスレバ蒸發中温度一定ナルガ故ニ 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ク、

$$s = \int_{T_1}^{T_s} C_p \frac{dT}{T} \quad \text{但シ } T_s \text{ ハ過熱温度、}$$

1. $P \rightarrow$ 上ノ一般、含蒸量、多ナル。
2. $\gamma_n \downarrow =$ 行程過熱少ナルヲ指シ、
3. 式カ力ニ達スル含蒸量、小ナル。
4. $K =$ 於テ含蒸量最大ニアル。



$$\begin{aligned} x &= 1 + \dots D_1 \dots B_1 \\ x &= 0 + \dots D_1 \dots A_1 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} x &= 1 + \dots D_1 \dots B_1 \\ x &= 0 + \dots D_1 \dots A_1 \end{aligned}} \right\} 1 + \dots$$

水 $\sim H_2O, (H_2O)_2, (H_2O)_3$ 等ヲナシ、
之等、 $H_2O =$ 直ニナシ、
之等、work done = 直ニナシ、

ヨリ求ムルコトヲ得、故ニ過熱域ノ等壓線ハ B_1C_1, B_2C_2 ノ如ク圖
示セラレ從テ全域ニ亘ル等壓線 $A_1B_1C_1, A_1B_2C_2, \dots$ ヲ求メ得、

(b) 等乾度線、

與ヘラレタル壓力ニ於ケル乾度 x ナル濕潤蒸氣ノ「エントロ
ピー」ハ既ニ述ベタル如ク、

$$s_m = s' + x \frac{r}{T_1}$$

故ニ此ノ式ヨリ x ヲ恒數トシテ異ル壓力例ヘバ p_1, p_2, \dots ニ於
ケル s', T_1, r ヲ知レバ等乾度線ヲ求メ得、或ハ又

$$x = \frac{A_1D_1}{A_1B_1} = \frac{A_2D_2}{A_2B_2} = \dots$$

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_1D_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 トスレバ之等ノ
状態ヲ示ス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_1E_2 ノ如シ、

尙過熱域ニ於ケル等積線ハ其ノ特性式ヨリ體積ヲ一定トシテ異
ル壓力ニ對スル溫度ヲ算出スレバ B_1F_1, B_2F_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、

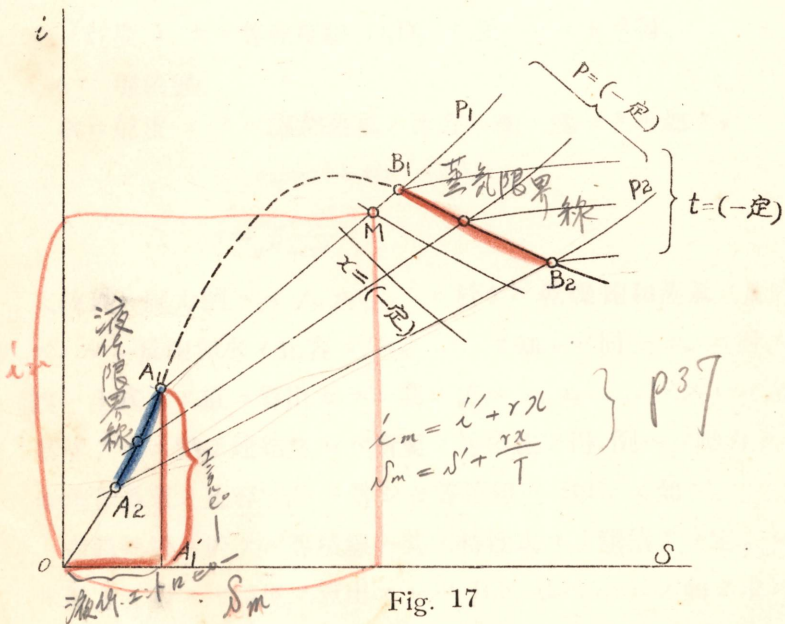


Fig. 17

(II) $i-s$ 線圖 (Mollier 線圖)

含熱量 i ヲ縦軸トシ「エントロピー」 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、

Fig. 17 ニ於テ液體及蒸氣兩限界線ハ A_1A_2, B_1B_2 ノ如ク蒸氣表ノ數値ヨリ直ニ圖示シ得ラル、例ヘバ壓力 p_1 ニ於ケル沸騰點ヲ

t_c トスレバ液體「エントロピー」ハ $s' = s_0A_1$ 含熱量ハ $\int_0^t C_p' dt = A_1A_1'$ トナル、尙濕潤域内ニ於ケル任意ノ點 M ハ壓力ト乾度 x トヲ知レバ

$$\begin{cases} i_m = i' + rx \\ s_m = s' + \frac{rx}{T} \end{cases}$$

ニテ決定セラレ從テ x ヲ一定トセル狀態點ヲ結ベバ等乾度線ヲ得ラレ、等壓點ヲ連續スレバ等壓線トナル、

等壓蒸發中加ヘラルル熱量 q ハ含熱量 i ノ増加トナル故

$$(dq)_p = di.$$

從テ「エントロピー」ノ増加ハ $ds = \frac{dq}{T}$

$$\therefore \left(\frac{di}{ds} \right)_p = T.$$

又濕潤域内ニ於テハ與ヘラレタル p ニ對シ T ハ一定ナル故此ノ部分ノ等壓線ハ A_1B_1, A_2B_2 ノ如ク直線ナルコトヲ知ル、サレド過熱域内ニ於テハ温度ノ上昇ニ伴ヒ含熱量ト「エントロピー」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「エントロピー」ノ表ヲ利用シ得バ直ニ其ノ等壓並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、

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

圧力 P_1 }
沸騰点 t_c }

液體エントロピー
エンタルピー

$$S' = s_0A_1'$$

$$\int_0^t C_p' dt = A_1A_1'$$

$R(500 - 605)$

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

茲ニ T_1 ハ飽和溫度, T_s ハ過熱溫度トス、

卷末ノ附圖ノ一ハ蒸氣ニ對スル Mollier 線圖ノ一例ナリ、

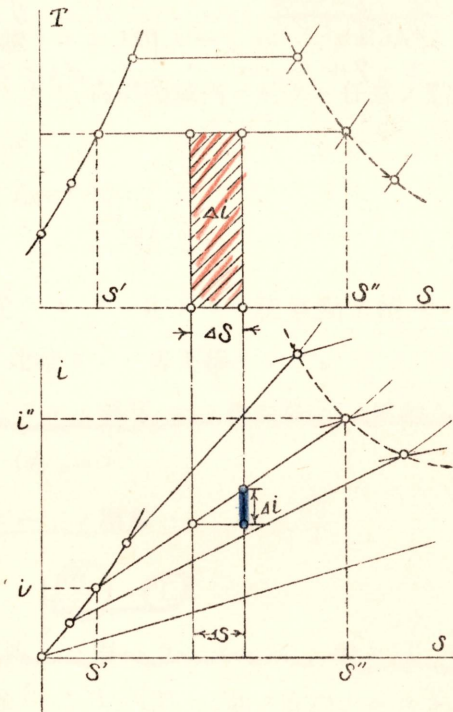


Fig 18.

以上 $T-s$ 及 $i-s$ 線圖ハ蒸氣ノ諸性質ヲ一見明瞭ニ知ルコトヲ得ルト共ニ斷熱變化ハ $s = \text{const.}$ 即チ s 軸ノ垂直線ニテ表ハサレ又其ノ變化中ノ熱量ハ前者ニ於テハ面積ニテ後者ニ於テハ單ニ直線距離ニテ測リ得ル等熱機關「サイクル」研究上其ノ圖示ニ極メテ便利ナルハ廣ク之等ノ線圖ガ實用セラルル所以ナリトス、

(Fig. 18 参照)

斷熱變化

$$s = \text{Const.}$$

二〇、蒸氣ノ過飽和ト Wilson 線、

一般ニ蒸氣ノ性質ヲ圖示スル前述ノ線圖ハ又蒸氣ガ平衡ヲ保チナガラ狀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モ知ルコトヲ得、例ヘバ今壓力 p_1 ナル過熱蒸氣ガ p_2 迄斷熱膨脹ヲナスモノトセバ其ノ膨脹線ハ T-s 線圖ニ於テ Fig. 19 ノ如ク垂直線 AB ニテ表ハサレ AC ハ過熱域内ニ於ケル膨脹ヲ示シ C ニ於テ乾燥飽和狀態トナリ更ニ平衡膨脹ヲナスニツレテ蒸氣ノ一部分ハ凝結シ次第ニ濕り度ヲ増スコトヲ知ル、所謂平衡膨脹トハ CB 間ニ於ケル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ニ依リ決定セララルモノトス、即チ Fig. 20 ニ於ケル CB ハ此ノ平衡狀態ニ對スル p, v 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混合狀態ヲ表ハスコトトナル、而シテ斯ノ如キ平衡ナル狀態變化ハ勿論一ノ理想過程ニシテ若シ實現セントセバ無限ノ時間ヲ必要トシ又一ノ平衡狀態ヨリ如何ナル變化ヲナスモ先ヅ平衡ノ攪亂ヲ伴ハザルヲ得ズ、

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狀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 Fig. 20 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 ヨリ連續的ニ CD ノ如クナリ蒸氣ハ凝結ノ熱ヲ得ザル爲膨脹後ノ溫度ハ同一壓力ニ於ケル平衡溫度ヨリ低溫度トナル、コノ D ノ如キ點ニテ表ハサルル狀態ニア

蒸氣・溫度 = 混在スル水・溫度

共通溫度.. 壓力 = 依リ決定ナル

ル蒸氣ヲ過飽和又ハ過冷却蒸氣 (Supersaturated or Undercooled steam) ト稱シ尙狀態 Dニ於ケル實際壓力 p_2 ト溫度 t_D ニ對スル飽和壓力 p_s トノ比 p_2/p_s ヲ過飽和度 (Degree of Supersaturation) ト稱ス、Fig. 21ハ同ジ事實ヲ $p-v$ 線圖ニ依リ圖示シタルモノナリ、

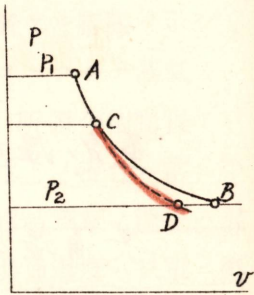
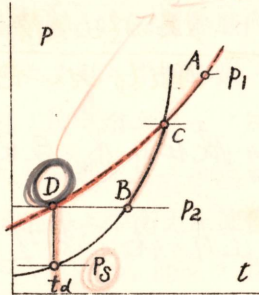
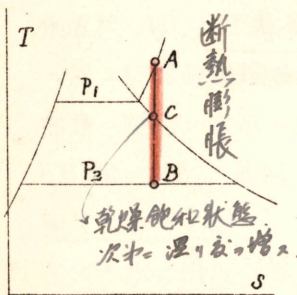


Fig. 19

Fig. 20

Fig. 21

此ノ不安定狀態ヨリ平衡狀態ニ移ルニハ凝結ヲ伴フ爲相當ノ時間ヲ必要トシ又適當ニシテ充分ナル核 (Nuclei) ノ存在ハ此ノ凝結ヲ促進ス、サレド蒸氣内ニ凝結ヲナス爲ノ核トナルベキ何物モ存在セザルトキハ凝結水滴ハ無限小ノ大サヨリハ生ゼズ、或大サヨリ始マルベキナリ、即一定ノ過飽和度ニ達スルトキ始メテ微細ナル凝結水滴ガ生成スルモノニシテ Wilson ハ其ノ極限ノ過飽和度ヲ 8.トシ Stodola ハ高壓高溫蒸氣ニ對シ 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 5×10^{-8} cm. ト算定セラル、此ノ過飽和ノ限界ヲ Martin ハ Fig. 22 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_2 迄急ニ斷熱膨脹スルトキ Wilson 線トノ交點即チ AB 迄ハ過飽和狀態トナルコトヲ表

過飽和度 = $\frac{D \text{ 點之實際壓力}}{\text{溫度 } t_D \text{ 之飽和壓力}}$
 1. 溫度下降
 2. 比容増加
 3. 有効エネルギー減少

$$\text{過飽和度} = \frac{D \text{ 點之實際壓力}}{\text{溫度 } t_D \text{ 之飽和壓力}}$$

Wilson	:	8
Stodola	:	3.1~3.3
水滴半徑	:	5×10^{-8} cm

蒸氣、凝結、過飽和、乾燥、濕度、飽和、過飽和、凝結、水滴、核、Nuclei、Wilson 線、Stodola、Martin、Mollier 線圖、乾燥飽和蒸氣、過飽和狀態、斷熱膨脹、比容、溫度、實際壓力、飽和壓力、有效エネルギー、減少、增加、下降、過飽和度、點、存在スル水滴ノ半徑、算定、限界、名付ケタリ、交點、過飽和狀態トナルコトヲ表

ハシ B_2 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 並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、即チ此ノ過飽和現象ハ非可逆過程ニシテ圖ノ如ク「エントロピー」ヲ増シ從テ有効「エネルギー」ノ損失ヲ増スモノナリ、

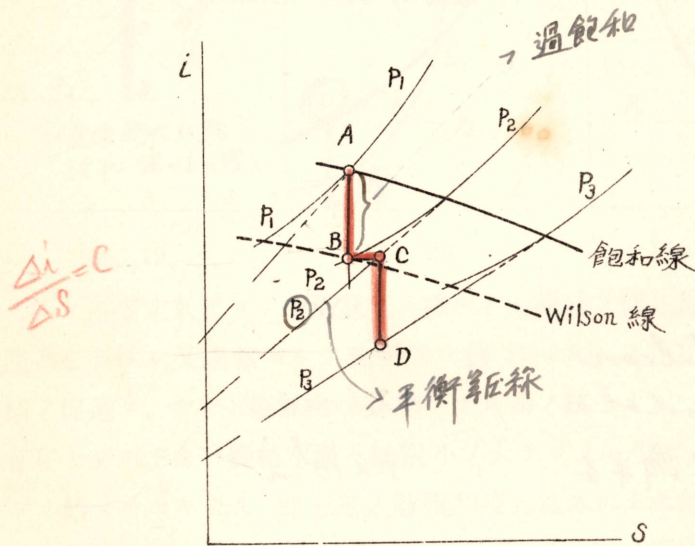


Fig. 22

過飽和状態ニアル蒸氣ハ其ノ性質寧ろ瓦斯ニ近ク平衡状態ノ蒸氣ト其ノ性質ヲ異ニスルガ故ニ近時特ニ蒸氣「タルビン」ノ研究者ノ注意ヲ惹クニ到レリ、

〔例題〕

1. 温度 60°C ナル水 200°C 迄熱セラレ其ノ温度ニ於テ乾度

$$p(v-b) = \frac{RT}{a} - cp.$$

95%ノ濕潤蒸氣トナリ更ニ斷熱的ニ絶對壓力 2 kg./cm^2 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^2 98% 乾度ノ濕潤蒸氣ヲ 60°C 過熱ス、加熱器ニ於ケル蒸氣 1 kg. ノ受熱量如何、T-s 線圖及 i-s 線圖ヨリ之ヲ求メ且其ノ熱量ヲ圖上ニ示セ、

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

(chibin jishu to vol 1) ... (faint text, likely bleed-through from the reverse side) ...