

iii. 横ノ收縮ナキ堰 堰ノ幅 b ハ水路ノ幅 $B =$ 等シク, 水平線ハ薄刃, 落水ノ裏面 = ハ空気自由 = 入り得ルモノトシ近寄り速度 $v = Q/B(h+p)$ ヲ計算 = 入レル。

a) Francis 公式 $Q = 1.838 B \{(h + v^2/2g)^{3/2} - (v^2/2g)^{3/2}\}$.

b) Rehbock 1913 年公式 $0.1 \text{ m} < p < 1.0 \text{ m}, B > 0.60 \text{ m}, 0.025 \text{ m} < h < 0.60 \text{ m}, h < 2p$ ノ場合 ($h < p$ ナラバ一層正確)

$$Q = \frac{2}{3} \left(0.605 + \frac{1}{1000h} + 0.08 \frac{h}{p} \right) \sqrt{2g} B h^{3/2}$$

c) Rehbock 1929 年公式 精度適用範囲共 = 上式 = 略等シイ。

$$Q = 2.953 \left(0.6035 + 0.0813 \frac{h_e}{p} \right) B h_e^{3/2}, \quad h_e = h + 0.0011$$

2. 三角形堰 (第 11 圖)

薄刃, 收縮完全ノ場合ヲ次 = 示ス。

i. $\theta = 90^\circ$ ノ場合

a) Thomson 公式 $h < 5 \text{ cm}$

ノ場合 = ハ適用不安デアル。

$$Q = 1.40 h^{5/2}$$

第 11 圖

b) Strickland 公式 $h > 5 \text{ cm}, B > 7h, p > 3h =$ 適用ス (Barr 實驗)*

$$Q = \left(1.334 + \frac{0.0205}{\sqrt{h}} \right) h^{5/2}$$

c) Barnes 公式 Barr ノ實驗結果ヨリ得タルモノデアル。

$$Q = 1.337 h^{2.48}$$

ii. $\theta = 54^\circ$ ノ場合 流量ハ $\theta = 90^\circ$ ノ場合ノ $1/2 =$ 極メテ近イ。

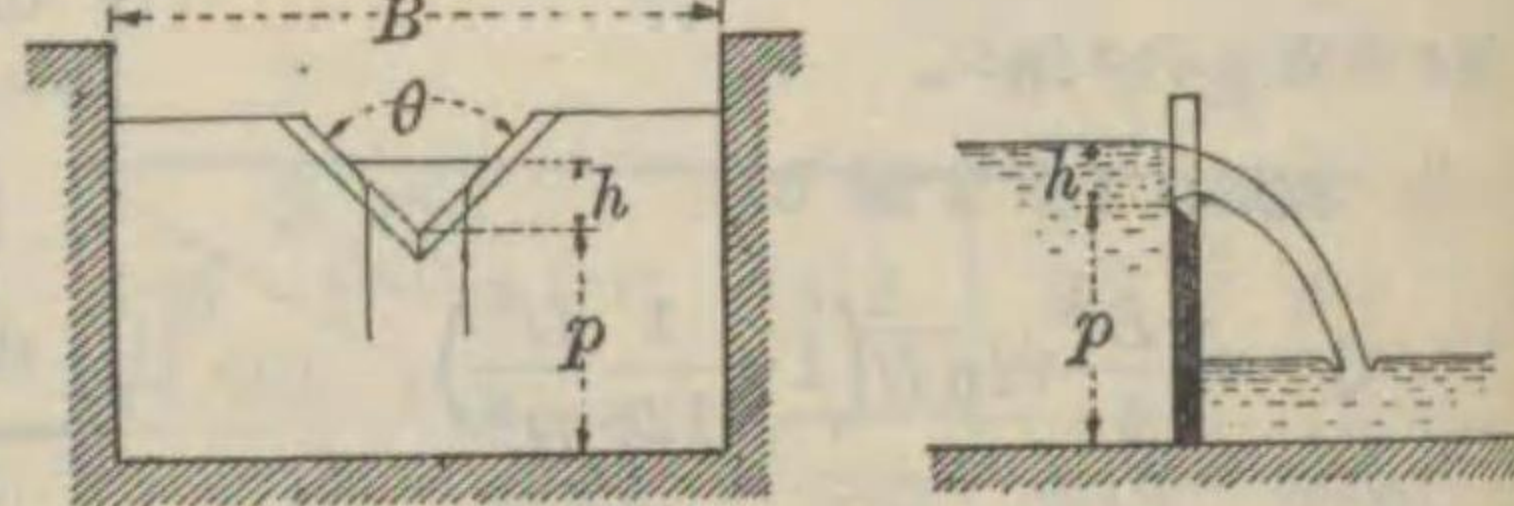
Barnes 公式 $Q = 0.671 h^{2.48}$

6. 水力摩擦

1. 限界速度 例ヲ圓管内流動 = 採リ $v =$ 平均流速 $\text{m/s}, d =$ 内徑 $\text{m}, \nu =$ 運動粘性係數 m^2/s トスレバ

Reynolds 數 $N = vd/\nu$

* 機械學會誌第 34 卷第 170 號 952~953 頁參照



其値ハ單位 = 無關係デアル。一般 = $N_c = 2000 =$ 於テ流動狀態ガ一變スルガ此數値ハ實驗方法 = テ多少變動スル。 $N < N_c$ ノ時ハ流線狀態, $N > N_c$ ノ時ハ混亂狀態ノ流動トナル。 $N_c = 2000$ トスレバ 0°C ノ水 = テハ限界速度 $v_c \text{ cm/s}$ ト内徑 $d \text{ cm}$ トノ關係ハ $v_c d = 36 =$ テ表ワサレル。

2. 流體摩擦ノ一般 圓管 (第 12 圖) = 於テ長 $l \text{ m}$ ノ間 = テ失ワレル摩擦水頭 $h \text{ m}$ ハ次式 = テ表ワサレル。

$$h = \zeta \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

v ハ管内ノ平均流速 $\text{m/s}, d$ ハ管ノ内徑 m, ζ ハ Reynolds 數 vd/ν ノ函數 = シテソノ形ハ場合 = ヨリ

テ異ナル。Reynolds = 依レバ

$$\zeta = k(v/d)^{2-n}$$

k ハ定數, n ハ次ノ如ク場合 = ヨリテ異ナル値ヲ有ス。

i. 流線運動 ($N < 2000$) 長 $l \text{ m}$ ノ間ノ損失壓力 $\delta p \text{ kg/m}^2$ トスレバ

$$\frac{\delta p}{l} = \frac{32\mu}{d^2} v, \quad \text{或ハ } h = \frac{32\mu}{\gamma} \frac{l}{d^2} v = 64 \frac{\nu}{vd} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

平均流速 $v =$ 正比例シ壓力及表面ノ粗度 = ハ無關係デアル。コレヲ Poiseuille ノ法則ト云ウ。Reynolds ノ式 = 於テ $n = 1$ トシテモ同様ノ形ガ得ラレル。爰 = μ ハ流體ノ粘性係數 $\text{kg-s/m}^2, \gamma$ ハ單位體積ノ流體ノ重量 kg/m^3 デアル。

ii. 混亂流動 ($N > 2000$)

a) Reynolds ノ式 = 於ケル n ノ値ハ彼ノ實驗 = ヨレバ鉛管及硝子管 = 對シテ 1.79, アスファルト塗鑄鐵管 = テ 1.82, 新鑄鐵管 = テ 1.88, 古キ鑄鐵管 = テ 2 デアル。

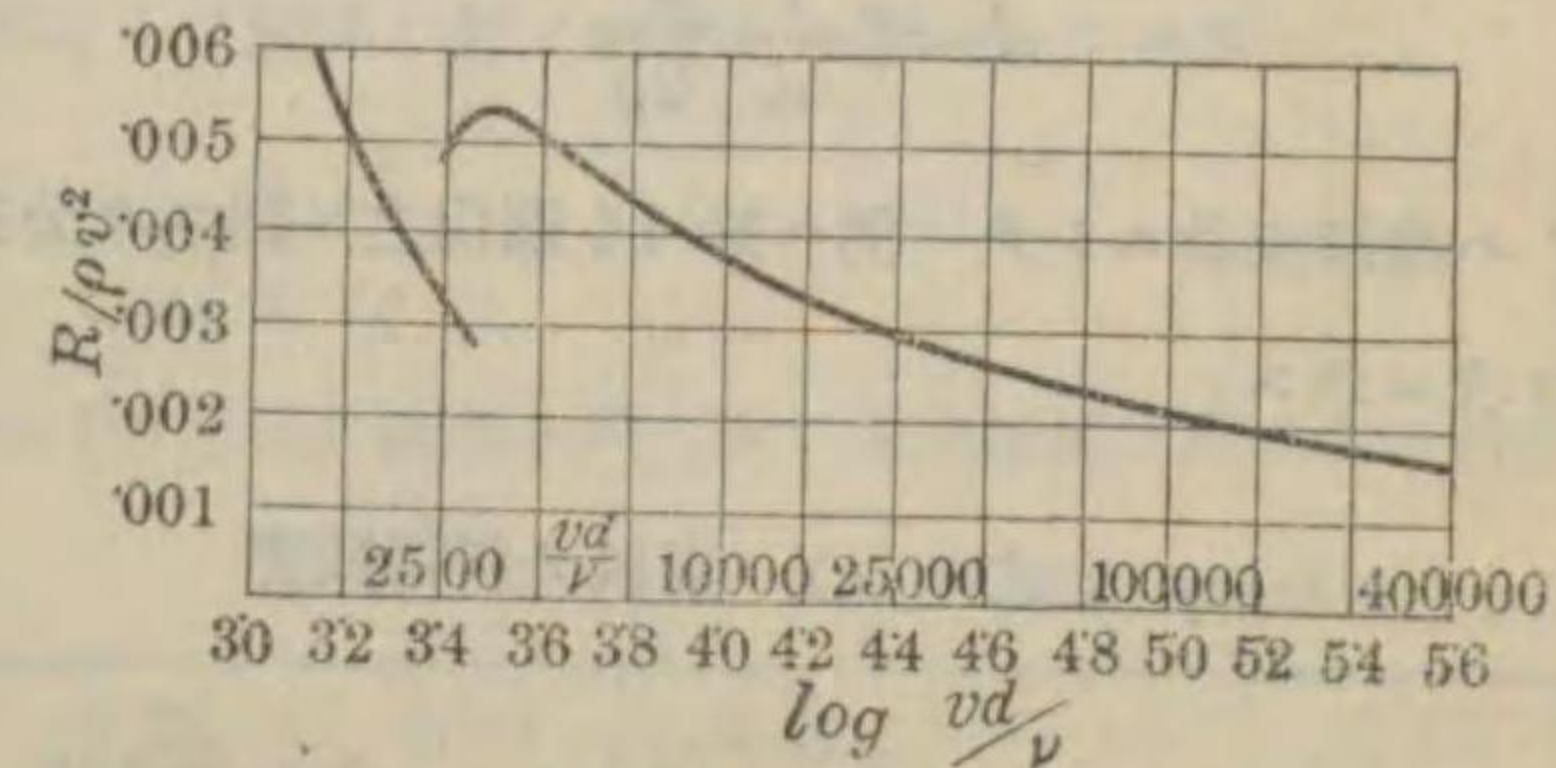
b) Blasius ハ真鍮管 = 水ヲ通

シタル實驗結果ヨリ

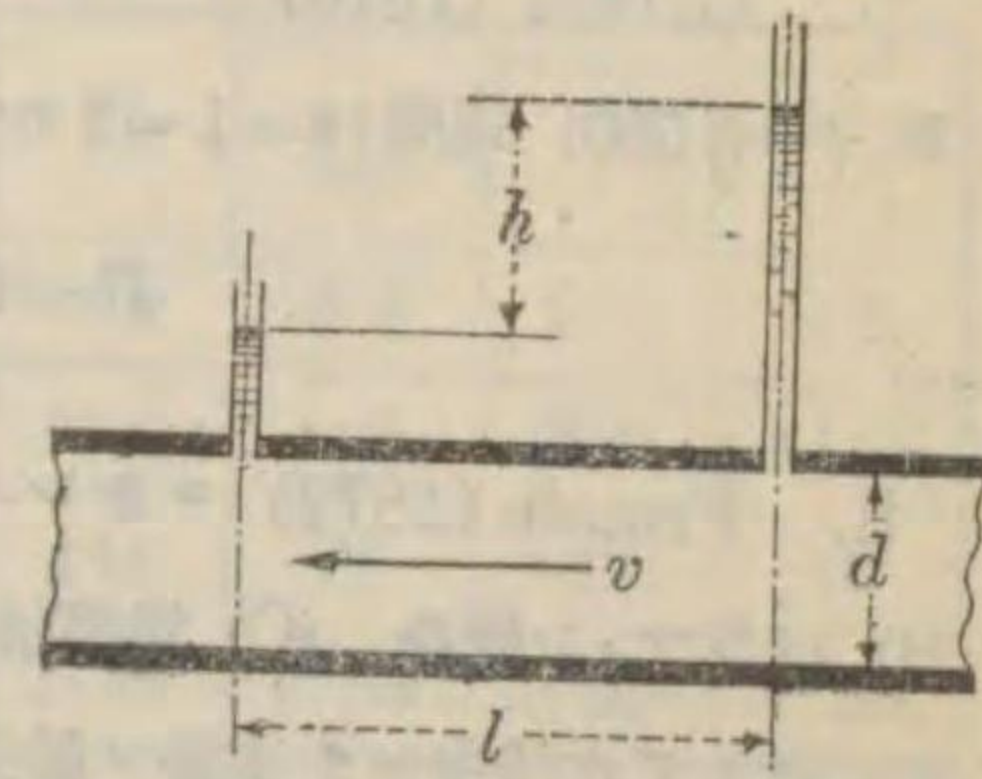
$$\zeta = 0.3164 (v/d)^{1/4}$$

ト得タガコレハ $n = 1.75 =$ 當ル。

第 13 圖ハ英國 N.P.L. = テ内徑 $0.361 \sim 12.62 \text{ cm}$ ノ圓管 = 空気又ハ水ヲ通シタル實驗結果ヲ示ス。



第 13 圖



第 12 圖

縦座標ハ $R/\rho v^2$, R ハ管壁ノ單位面積上ノ摩擦抵抗デアル。

異ナル流體ニテモ N ノ値等シケレバ ζ 亦等シ。之ヲ Reynolds ノ類似法則ト云フ。以上述ベタルモノハ圓管以外ノ總テノ摩擦抵抗ニモ適用セラレル。

3. 平板上ノ水力摩擦 水中ニテ縦ノ長 l m ナル滑カナル平板ヲ縦ノ方向ニ速度 v m/s ニテ動カス時ノ表面摩擦抵抗 R kg ハ次ノ如キ式ニテ表ワサレル。

i. Gebers (1916) = ヨレバ板ノ幅 b m, 長 l m, 表面積 $A=2bl$ m², $l=18b$, 厚 $t=l/500$, 速度 $v=1\sim 8$ m/s ニテ

$$R = 0.0103 \left(\frac{v}{lv} \right)^{0.125} \frac{\gamma v^2 A}{g}$$

ii. Froude (1872) = ヨレバ厚 4.76 mm, 幅 482.6 mm ノ板ノ面ヲ (A) ワニス塗 (B) パラフィン蠟塗, (C) 錫箔張, (D) 中粗サノ砂ヲ塗付ケタルモノ、四種トシ長 l m 四種ニ變エテ水槽中ニテ實驗ノ結果, f ヲ摩擦係數, A ヲ表面積 m², v ヲ速度 m/s トスレバ

$$R = f A v^n$$

指數 n 及 $v=3.16$ m/s ノ場合ノ抵抗 R/A kg/m² ノ値ヲ下表ニ示ス。

種別	60.96				243.84				609.6				1524		
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	C	D
n	2.00	1.95	2.16	2.00	1.85	1.94	1.99	2.00	1.85	1.93	1.90	2.00	1.83	1.83	2.00
R/A	2.01	1.86	1.47	4.40	1.59	1.54	1.36	3.06	1.36	1.32	1.28	2.61	1.22	1.20	2.39

4. 圓管摩擦公式 内徑 d m ナル圓管中ヲ平均流速 v m/s ニテ水ガ流ル、時長 l m ノ間ノ摩擦損失水頭 h m ハ次ノ形ニテ與エラレル。

$$h = \zeta \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

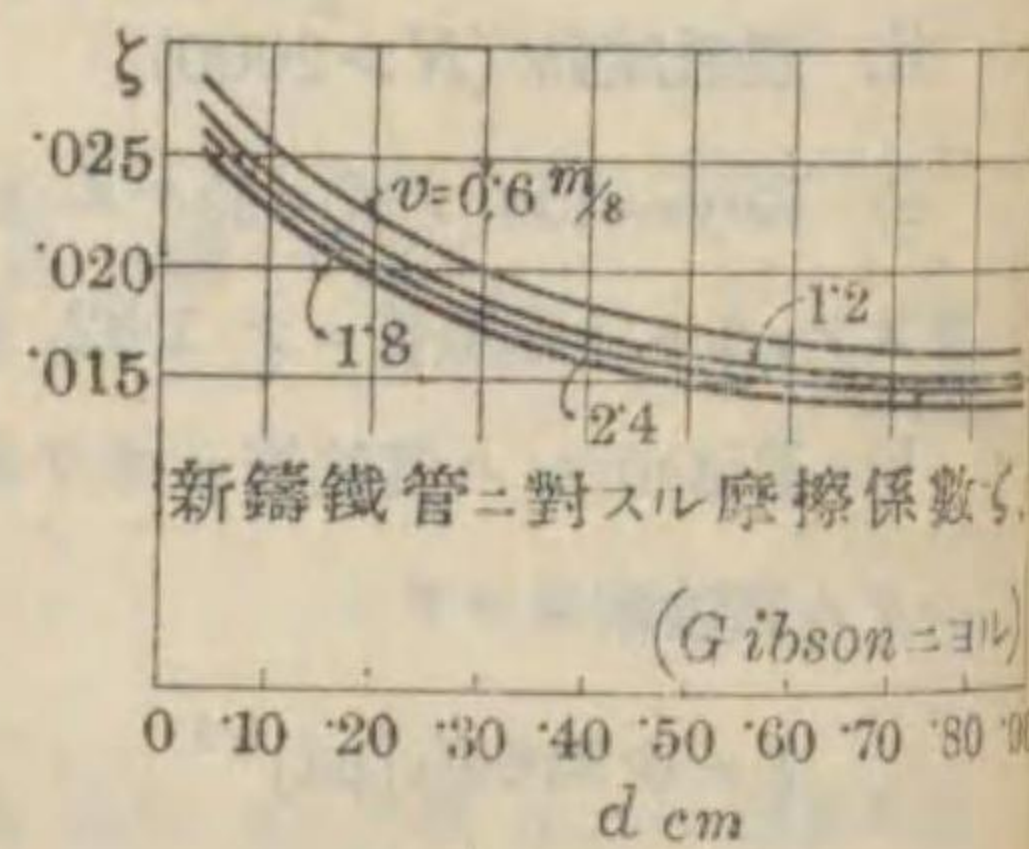
ζ ハ摩擦係數ニシテ一例ハ第 14 圖尙之ニ關スル公式ヲ次ニ示ス。

i. Darcy 公式 a) 素肌ノ新鑄鐵管

$$h = \frac{1}{1000} \left(20 + \frac{1}{2d} \right) \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

b) 垢ツキタル古キ鑄鐵管

$$h = \frac{1}{1000} \left(40 + \frac{1}{d} \right) \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$



第 14 圖

ii. Lang 公式 (1899)

$$h = \frac{1}{10.0} \left(\alpha + \frac{1.8}{\sqrt{vd}} \right) \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

銅子管, 亞鉛管其他滑カナ管ニ對シテハ $\alpha=12$, 新鑄鐵管等ニ對シテハ $\alpha=20$.

iii. Biel 公式 (1907)

$$h = \frac{1}{1000} \left(a + \frac{b}{\sqrt{vd}} + \frac{cv}{v\sqrt{d}} \right) \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

a ハ定數, b ハ管内面ノ粗サニ關係スル係數, c ハ流體ノ粘性ニ關係スル係數, v ハ運動粘性係數 cm²/s. 粗度 I ハ引拔真鍮

管, 新シキ鉛管, II ハ鍊鐵瓦斯管, III ハ新鑄鐵管, 滑カナルセメント面, IV ハ粗キ木板面, 普通ノセメント面, V ハ普通ノ練瓦積, 切石積ヲ意味スル。係數 a, b, c 及流體ガ溫度 12°C ナル水ノ場合ノ cv ノ値ヲ右表ニ示ス。

表面粗度	I	II	III	IV	V
a	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
b	1.05	2.8	5.6	8.5	11.3
c	150	111	72	42	42
cv	1.85	1.38	0.89	0.50	0.50

iv. Lang 新公式 (1917)

$$h = \left(\alpha + 16 \sqrt{\frac{\alpha v}{vd}} \right) \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

v ハ運動粘性係數 m²/s, α ハ管内面ノ状態ニヨリテ異ナル係數デアル。(a) 新シキ銅, 真鍮, 鉛等ノ滑カナル管, (b) 新シキ普通ノ鍊鐵管, 新シキフランジ付鑄鐵管, (c) 新ツキ木道用鑄鐵管, 紙綴鍊鐵管, 木管, (d) 古キ鑄鐵管等トスレバ各場合ノ α ノ値ハ下表ニ示ス如シ。

a	b	c	d
0.011~0.012	0.013~0.014	0.015	0.023~0.030

以上ノ諸公式中 Darcy 公式ハ大直徑管ニハ適シナイ。同公式ニテハ鑄鐵ノ新古ニヨリ抵抗ガ 1:2 ノ比デアルガコノ比ハ他ノ諸式ノ如ク d ノ大小ニヨリ變ルベキモノデアル。使用年數ト管内面ノ腐蝕及附着物ノ程度トノ關係ハ管ノ材質及水質ニヨツテ異ナル。

5. 消火用ホース

$$h = \zeta \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

i. Freeman (1890) 63.5 mm (2 1/2 in) 麻ホースニ就テ流水抵抗ヲ測リタル結果ヨリ求メタル ζ ノ値ハ下表ノ如シ。

v m/s	1.07	1.52	2.29	3.05	4.42	5.18	6.10
ζ	0.470	0.466	0.455	0.434	0.415	0.411	0.404

ii. Lang 新公式 (415 頁参照) $\zeta = \alpha + k\sqrt{\frac{\alpha}{vd}}$, $k = 16\sqrt{v}$.
 ホース = 適用スル場合 = ハ係數ハ下表 = シス如シ。

水温 °C	k	α	
		Hütte ヲリ	Freeman 實驗 ヲリ
0	·0213		
10	·0183		
20	·0161		
		ホースノ種類	
		麻ホース	·038~·042 ·035 (内徑 66 mm)
		ゴム引ホース	·015 ·0135 (内徑 62.7 mm)

6. 圓管中ノ流量 $Q = 1000 \pi v d^2 / 4$.
 $Q =$ 流量 l/s, $v =$ 水速 m/s, $d =$ 管内徑 m.

内徑 m	水速 m/s	0.10	0.30	0.50	0.70	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
·025		0.049	0.147	0.245	0.344	0.49	0.74	0.98	1.23	1.47
·050		0.196	0.589	0.982	1.375	1.96	2.95	3.93	4.91	5.89
·075		0.442	1.33	2.21	3.09	4.42	6.63	8.84	11.05	13.25
·100		0.785	2.36	3.93	5.50	7.85	11.8	15.7	19.63	23.56
·150		1.77	5.30	8.84	12.4	17.7	26.5	35.3	44.2	53.0
·200		3.14	9.43	15.7	22.0	31.4	47.1	62.8	78.5	94.2
·300		7.07	21.2	35.3	49.5	70.7	106	141	177	212
·400		12.6	37.7	62.8	88.0	126	188	251	314	377
·500		19.6	58.9	98.2	137	196	295	393	491	589
·700		38.5	115	192	269	385	577	770	962	1155
1.000		78.5	236	393	550	785	1178	1571	1963	2356

7. 新鑄鐵管ノ摩擦水頭 Lang 舊公式 = ヨル 長 100 m 間ノ摩擦水頭 h m.

内徑 m	水速 m/s	0.10	0.30	0.50	0.70	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
·100		·019	·139	·357	·669	1.310	2.827	4.898	7.525	10.693
·150		·012	·087	·226	·426	·838	1.819	3.165	4.877	6.943
·200		·008	·063	·164	·310	·612	1.335	2.329	3.595	5.125
·300		·005	·040	·105	·199	·396	·867	1.517	2.347	3.352
·400		·004	·029	·076	·146	·291	·640	1.122	1.738	2.485
·500		·003	·023	·060	·115	·230	·506	·889	1.378	1.972
·700		·002	·016	·042	·080	·161	·356	·627	0.973	1.393
1.000		·001	·011	·029	·055	·111	·246	·434	0.674	0.966

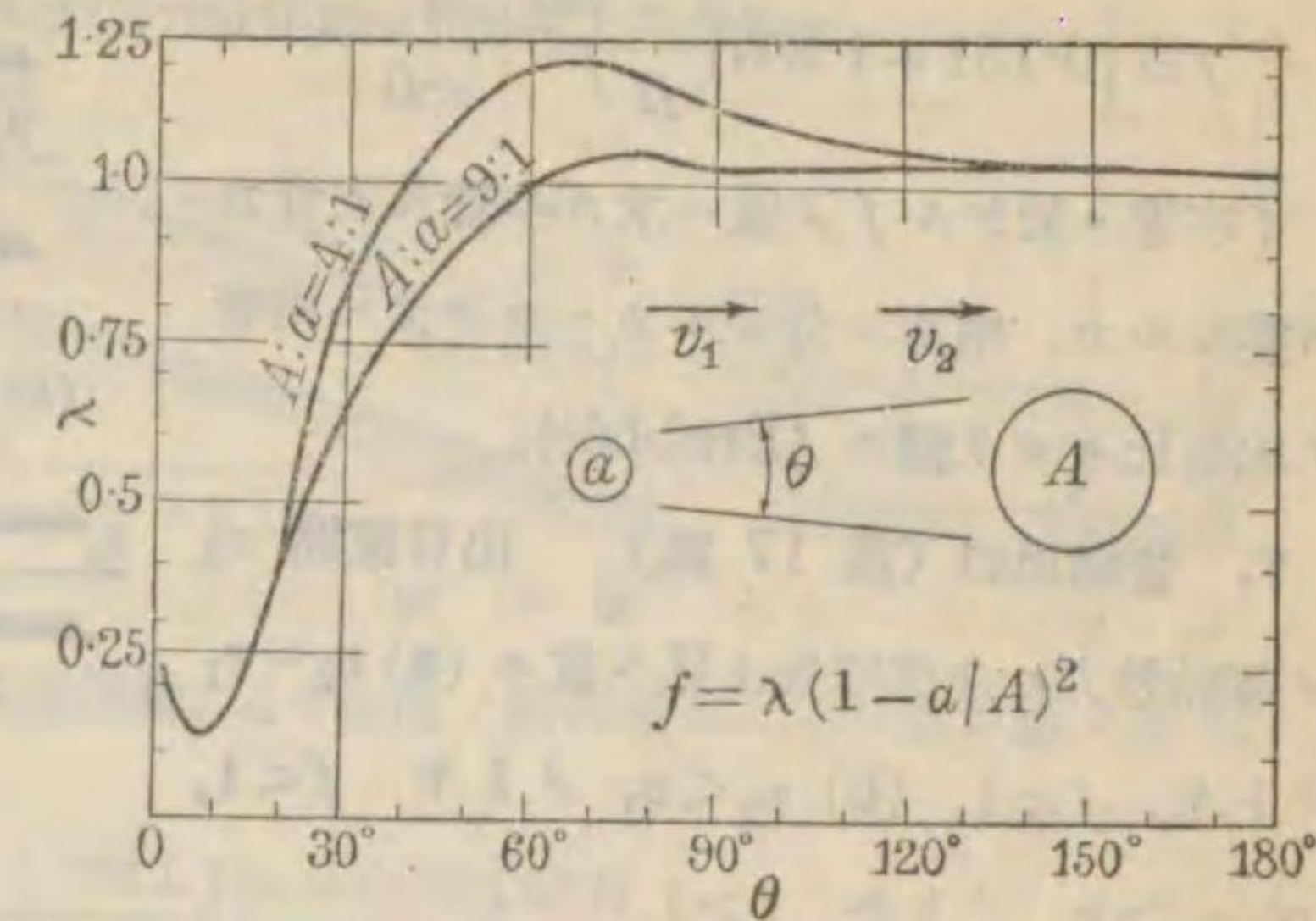
此表ハ概算用 = シテ小直徑低速度, 大直徑高速度 = 於テハ實際ノ結果トハ多少異ナル。

7. 管路内雜種ノ抵抗

v_1 ノ断面小ナル方ノ管路内ニ於ケル流速 m/s, h_l ノ障害物ノ爲ニ起ル餘分ノ損失水頭 m トスレバ

$$h_l = f \frac{v_1^2}{2g}$$

1. 入口ノ損失 廣キ室カラ 管路ニ流入スル場合
 角立チタル入口 $f = 0.5$.
 丸味アル入口 $f = 0.01 \sim 0.06$.



第 15 圖

2. 擴ガル圓錐管* (第 15 圖)

速度ガ緩カ = 遅クナルトキ圓錐ノ頂角 $\theta = 5^\circ 30'$ ノモノ損失最小, 此場合 $\lambda = 0.135$, 即チ $f = 0.135 (1 - a/A)^2$.

3. 急激ナル面積ノ變化 断面 a カラ A = 急ニ擴ガル場合 (第 16 圖 a), A カラ a = 急ニ狹マル場合 (第 16 圖 b) 損失係數 f ハ夫々

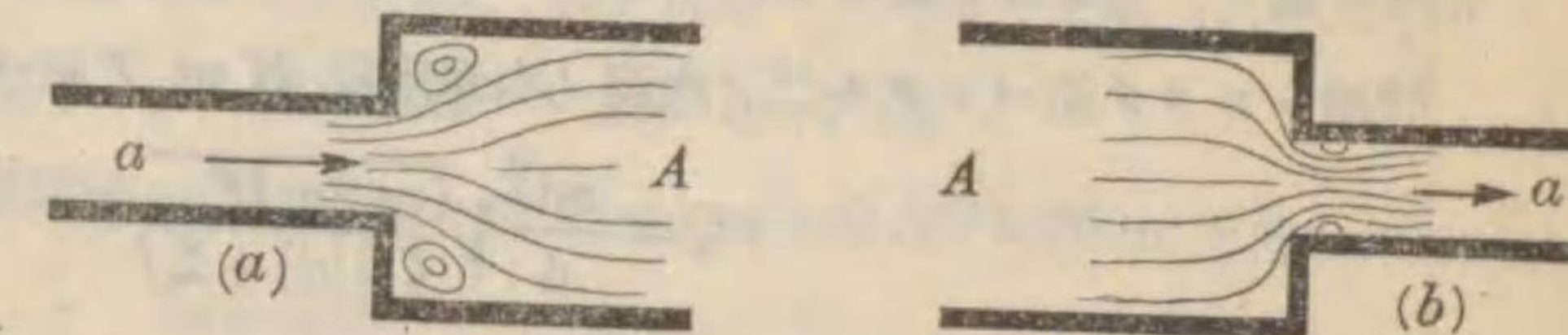
a) $f = (1 - a/A)^2$.

b) $f = (1/c_a - 1)^2$.

$c_a =$ 收縮係數 0.6 ~ 0.7.

大ナル管 = ハ大ナル値ヲ採ル

ベキデアルガ正確デハ無イ。



第 16 圖

4. 管路途中ノ流レ口 第 4 節小サイ流レ口, 第 11 節水量計ヲ見ヨ。

5. 球形弁 (Globe valve)† 具合良キモノニテハ滿開ニテ $f = 5 \sim 9$, 口徑小ナルモノニテハ $f = 15 \sim 30$, 管ノ曲リ角 = アル弁ニテハ $f = 2 \sim 5$. 仕切弁 (sluice valve) ハ滿開ニテハ $f = 0.25$ (管徑 50 mm) ~ 0.05 (管徑 300 mm).

6. 管路ノ方向變化 急激 = 屈曲セルモノ即チ肘付接手 = テ角ノ變化 θ ナレバ

$$f = \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

* 生源寺順 九州帝國大學工學部紀要 Vol. IV. No. 2.

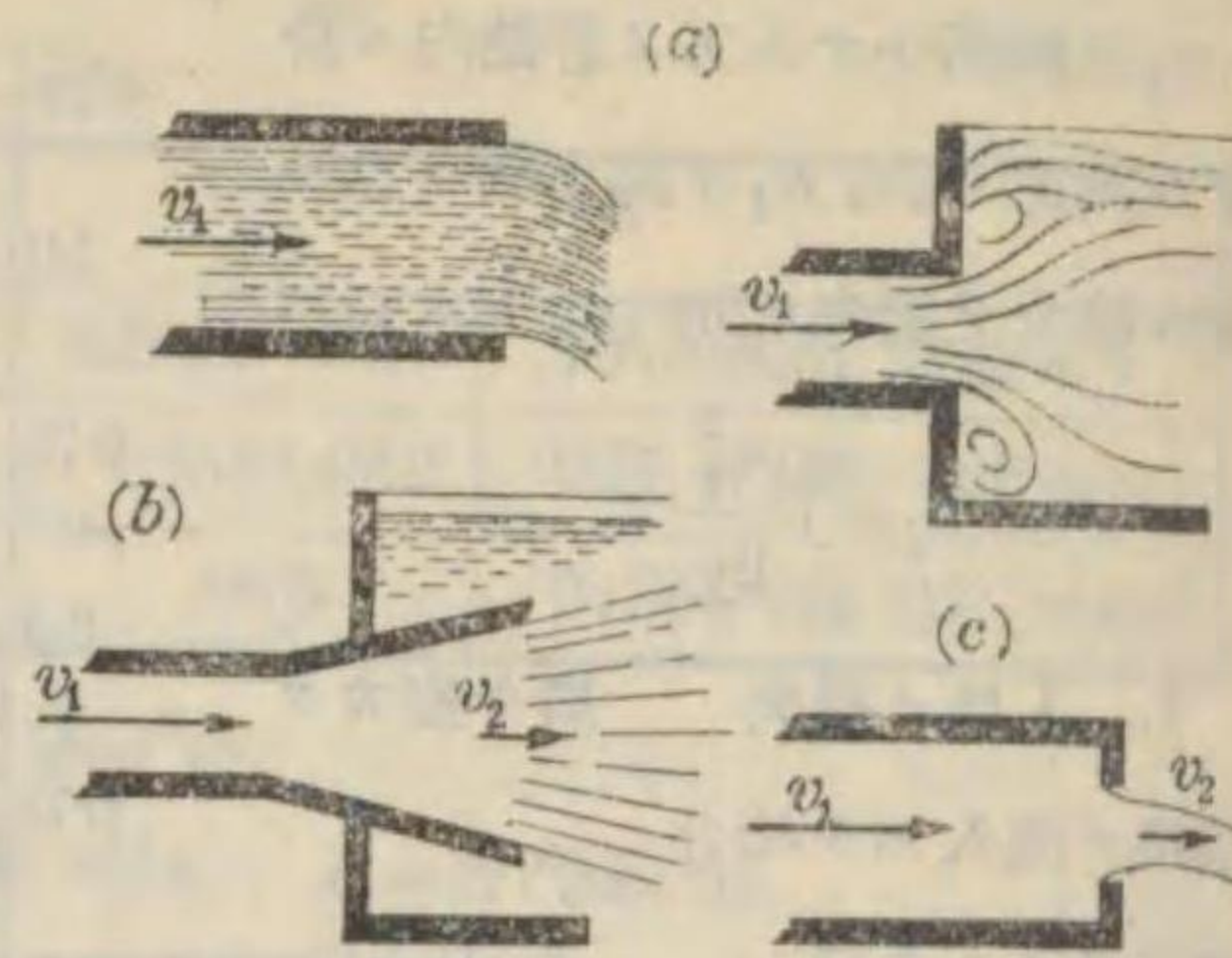
† 朝倉希一 煖房冷藏協會誌第 30 號

緩カニ彎曲セルモノ即チベンドニテ内徑 $2r$, 管中心線ノ曲率半徑 R , 方向變化 θ° ノ時

$$f = \left\{ 0.131 + 1.847 \left(\frac{r}{R} \right)^{3.5} \right\} \frac{\theta}{180}$$

丁字管ニ於ケル f ノ値ハ水ガ本管及支管カ
ヲ集マルカ, 兩管ニ分レルカニヨリ又ハ兩管
ノ水量比ニヨリ變ル (Brabbée)。

7. 管路出口 (第 17 圖) 出口流速 v_2
ノ運動勢力ハ全部損失ト見ル故ニ (a) $v_2 = v_1$
ノトキ $f = 1$, (b) $v_2 < v_1$ ノトキ $f < 1$,
(c) $v_2 > v_1$ ノトキ $f > 1$ 。



第 17 圖

8. 管路總損失ト流量計算式

一ノ管路ノ總損失ヲ H_l m, 流速ヲ v m/s, 管ノ直徑ヲ d m トスレバ

$$H_l = \left(\zeta \frac{l}{d} + f_1 + f_2 + \dots \right) \frac{v^2}{2g} = \left(\zeta \frac{l}{d} + \Sigma f \right) \frac{v^2}{2g}$$

ζ ハ第 6 節第 4 項ノ摩擦係數, $f_1 + f_2 + \dots$ ハ夫々第 7 節ノ諸損失係數ヲ表ワス。又
管路ガ種々ナル直徑ノ管ヨリナル時 v ハ其内ノ一ノ管ノ流速ニ換算セル値ヲ用ウ。

管路ニヨリテ結バレル二ノ水溜ノ水面落差 H m ナレバ $H = H_v$, 流量 Q m³/s ハ

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{\zeta(l/d) + \Sigma f}}$$

長距離管路ニ於テ特別ノ大ナル抵抗例エバ半開弁ノ如キモノ無キトキハ摩擦抵抗ノミヲ
取リテ流量ヲ算出シテ差支ナシ。

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2gHd}{\zeta l}} = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2g}{\zeta}} \sqrt{\frac{Hd^5}{l}} = k \sqrt{\frac{Hd^5}{l}}$$

ζ ヲ不變ト考ウレバ k ハ定數トナル。

9. 管路流速ノ範圍

上水道鐵管ニテハ極ク長距離ナレバ $v = 0.6 \sim 0.7$ m/s, 中距離ナレバ $v = 1$ m/s 内外。
工場内給水用鐵管ニテハ内徑 3 cm 位ノモノ $v = 1$ m/s 位ニシテ管徑増シテ 10 cm 以上
ニモナレバ $v = 2$ m/s 内外ヲ用ウ。水力原動所ノ壓力水管ニテハ $v = 3 \sim 4$ m/s, 消火用
ホースニテハ $v = 10$ m/s ニ達スル。

10. 溝渠

1. 水底ト水面トハ平行ニシテ断面及流速ガ或距離ノ間ニ一様ナル場合

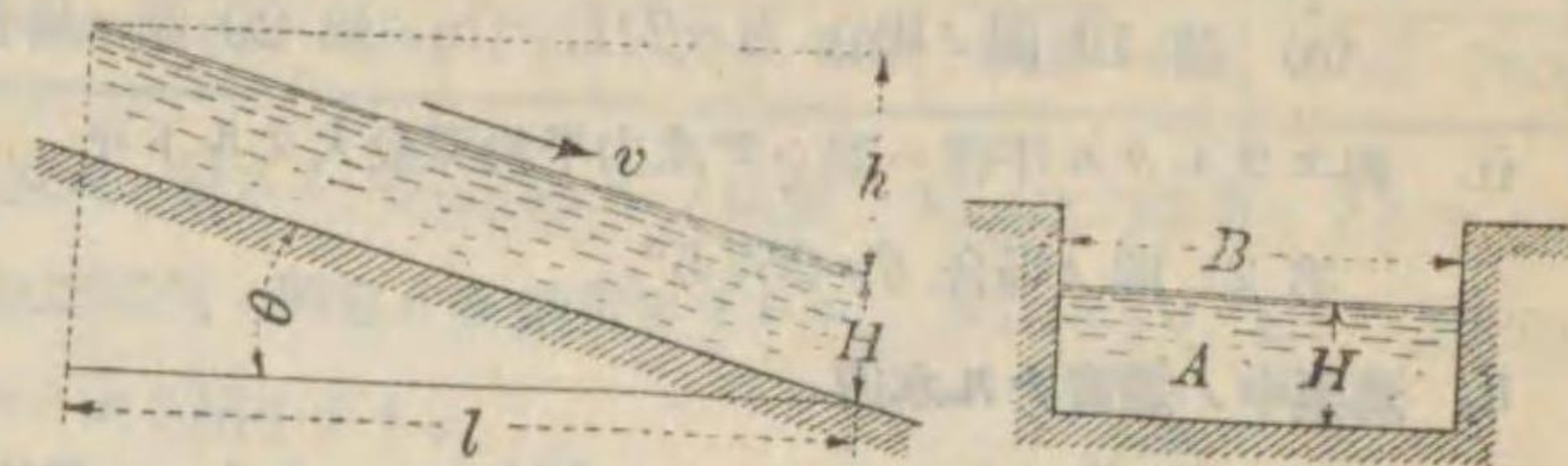
平均流速 v m/s ハ Chézy

ニヨレバ

$$v = c_v \sqrt{mi}$$

$$m = A/S,$$

$$i = \tan \theta = h/l.$$



第 18 圖

m = 水力平均深 m , i = 水面勾配, c_v = 流速係數, A = 水流ノ斷面積 m², S = 濡レ縁ノ長 m ,
 θ = 水面ノ勾配角。

i. Kutter 及 Ganguillet $c_v = \frac{23 + 1/n + 0.00155/i}{1 + n(23 + 0.00155/i)/\sqrt{m}}$

n ハ係數ニシテ, (a) 滑カナルセメント塗, 削リタル木板 $n = 0.01$, (b) 削ラザル木板
 $n = 0.012$, (c) 切石積, 煉瓦積 $n = 0.013$, (d) 野面石積 $n = 0.017$, (e) 良好ナル状態ノ
土床 $n = 0.025$, (f) 小石草類アル粗キ川床 $n = 0.03$ 。

ii. Bazin (1897) $c_v = \frac{87}{1 + \kappa/\sqrt{m}}$

κ ハ係數ニシテ, (a) 滑カナルセメント塗, 削リタル木板 $\kappa = 0.06$, (b) 削ラザル木板,
切石積, 煉瓦積 $\kappa = 0.16$, (c) 野面石積 $\kappa = 0.46$, (d) 良好ナル状態ノ土床 $\kappa = 0.85$,
(e) 尋常ナル状態ノ土床 $\kappa = 1.30$, (f) 極不規則ナル土床 $\kappa = 1.75$ 。

2. 水力平均深 A = 水流斷面積 m², S = 濡レ縁長 m , m = 水力平均深 m トスレバ

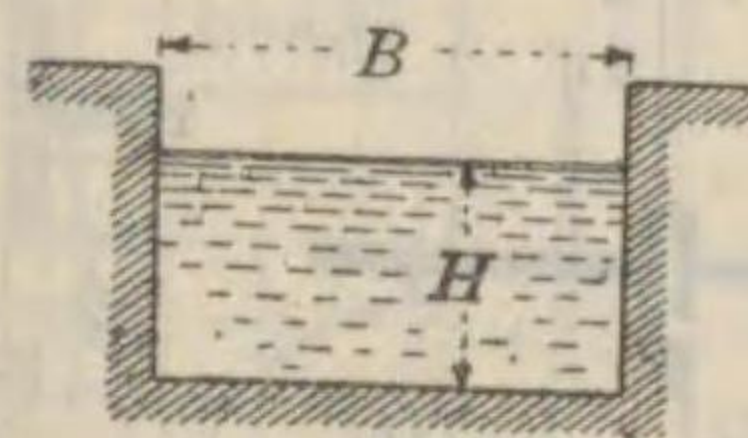
$$m = A/S.$$

i. 矩形溝 (第 19 圖)

$$A = BH,$$

$$S = B + 2H,$$

$$m = \frac{BH}{B + 2H}$$



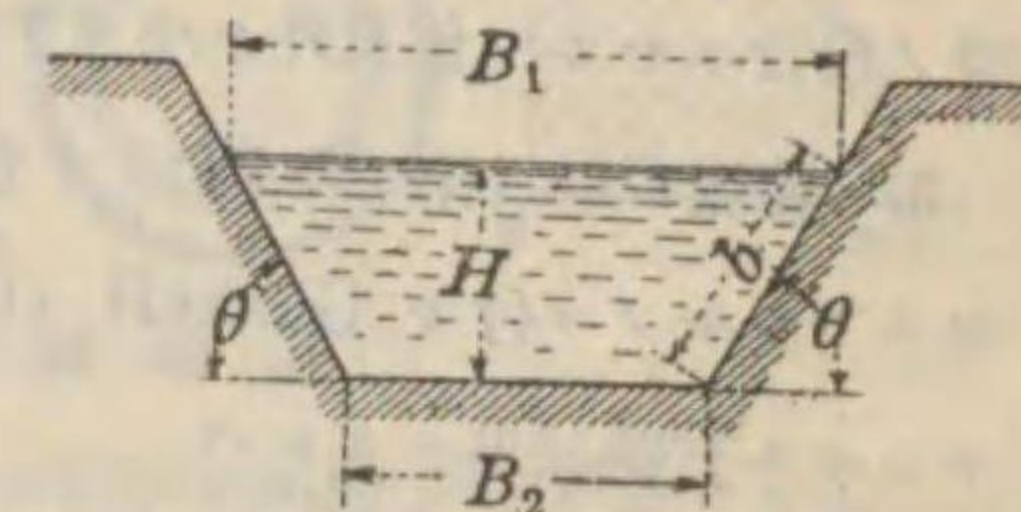
第 19 圖

ii. 梯形溝 (第 20 圖)

$$A = \frac{1}{2} H(B_1 + B_2),$$

$$S = B_2 + 2b,$$

$$m = \frac{H(B_1 + B_2)}{2(B_2 + 2b)}$$



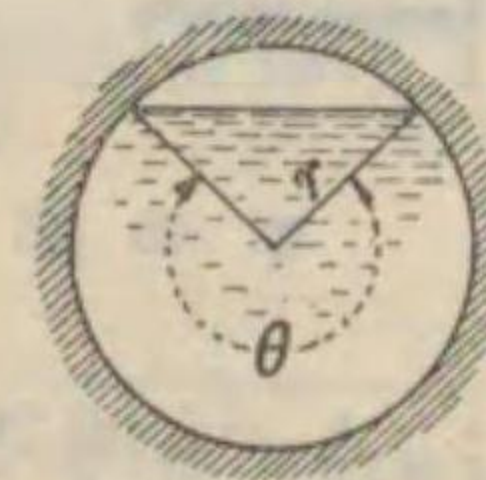
第 20 圖

iii. 缺圓形 (第 21 圖)

$$A = \frac{r^2}{2} (\theta - \sin \theta),$$

$$S = r\theta,$$

$$m = \frac{r}{2} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right)$$



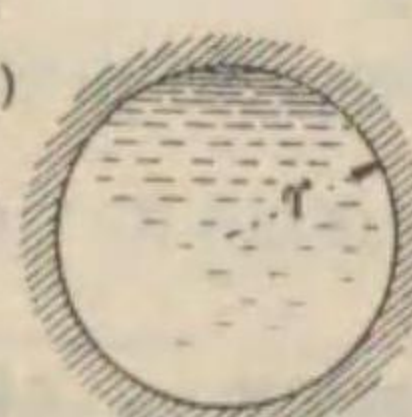
第 21 圖

iv. 圓形 (第 22 圖)

$$A = \pi r^2,$$

$$S = 2\pi r,$$

$$m = \frac{r}{2}$$



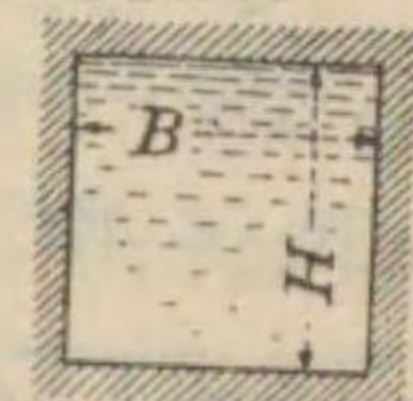
第 22 圖

v. 矩形 (第 23 圖)

$$A = BH,$$

$$S = 2(B + H),$$

$$m = \frac{BH}{2(B + H)}$$



第 23 圖

3. 最良断面ノ形

i. 與エラレタル断面積=對シ濡レ縁長最小ナルトキ

(a) 第 19 圖ノ場合 $B=2H$. (b) 第 20 圖ノ場合 $B=2b(1-\cos\theta)$.

ii. 與エラレタル半径=對シテ水力平均深最大ナルトキ

第 21 圖ノ場合 $\theta=257.5^\circ$.

4. 溝渠中ノ適當ナル流速

i. 溝渠ノ横及底ノ面ガ流水=ヨリ磨蝕サレヌタメ=ハ平均流速 v m/s ハ次ノ如クスルヲ要スル。

(a) 泥土 $v < 0.12$, (b) 川砂 $v < 0.5$, (c) 砂利 $v < 1.0$, (d) セメント塗 $v < 2.7$.

ii. 浮遊物ガ沈澱セヌタメ=ハ平均流速 v m/s ハ次ノ如クスルヲ要スル。

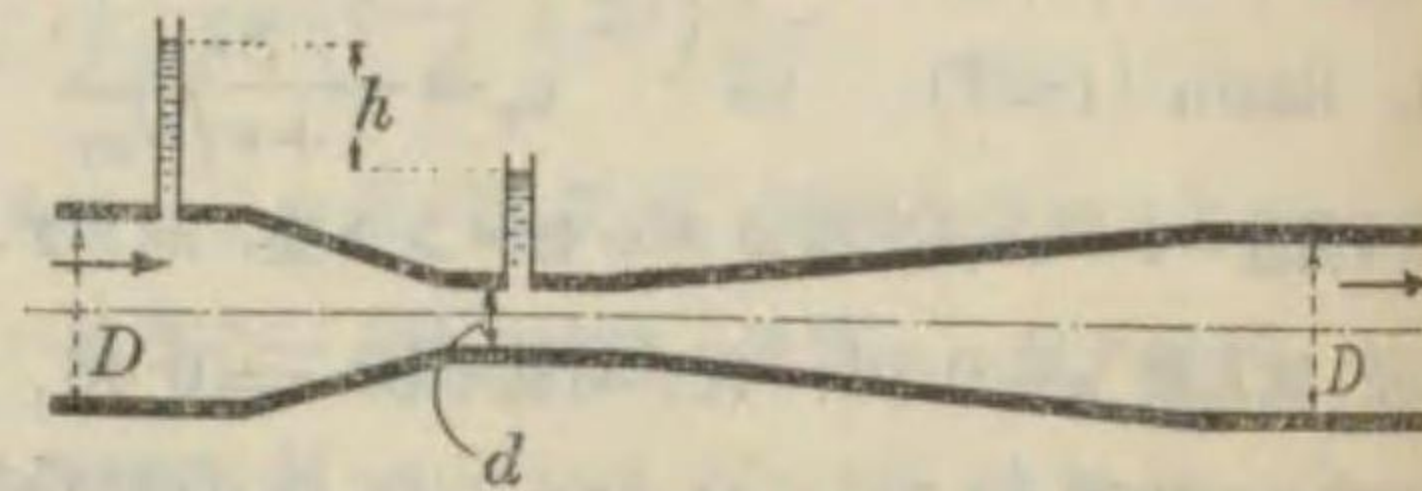
(a) 輕キ泥ノアル水 $v > 0.25$, (b) 砂ノアル水 $v > 0.5$, (c) 下水 $v > 0.7$.

11. 流速及水量ノ測定及計器

1. Venturi メーター (第 24 圖)

$$Q = c \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{m^2 - 1}}$$

$$m = \left(\frac{D}{d}\right)^2$$



第 24 圖

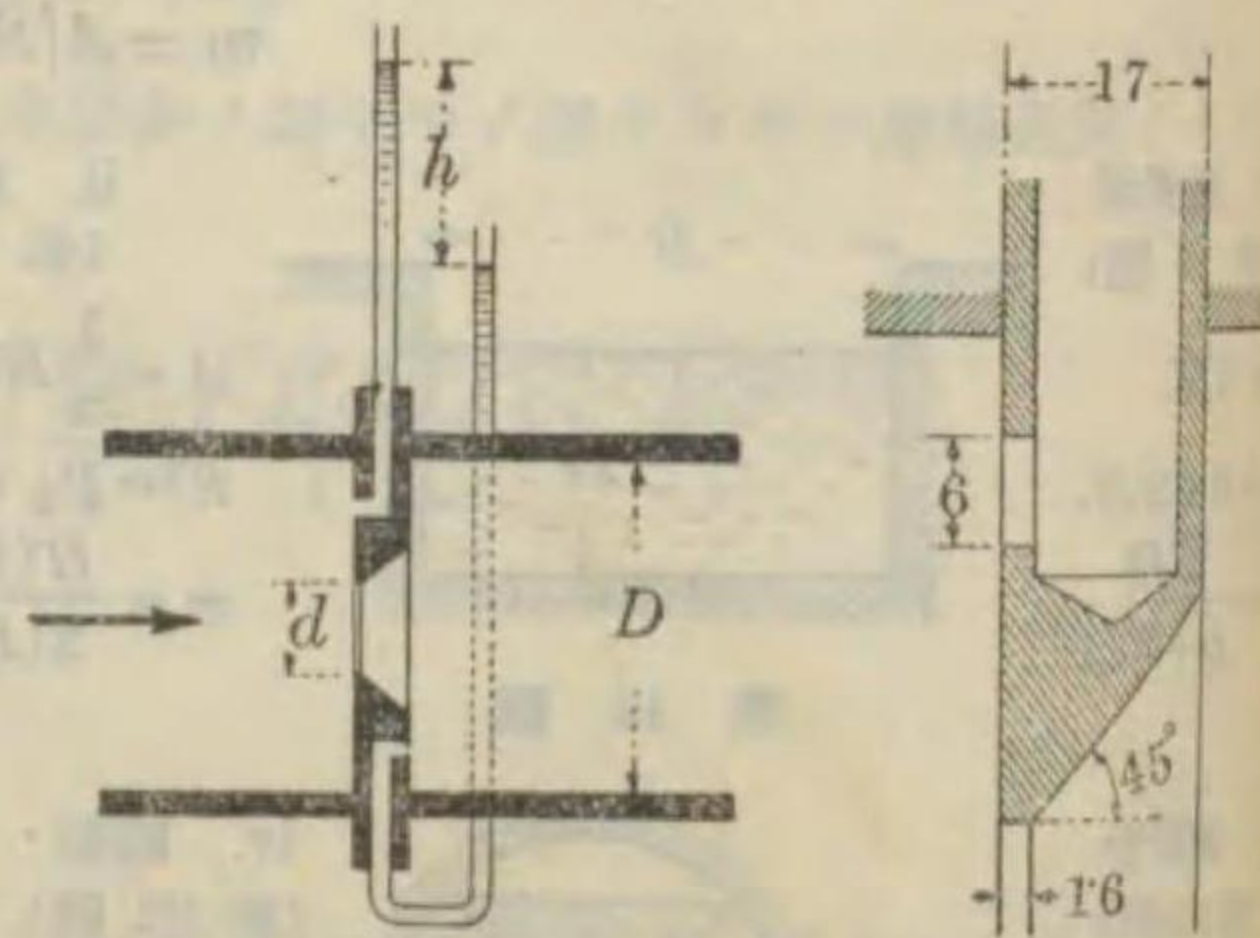
Q = 流水量 m^3/s , D, d = 断面ノ直径 m , h = 指示水頭差 m , 流量係数 $c = 0.97 \sim 0.99$

流速極メテ小ナレバ之ヨリ異ナル。又小型ノ場合=ハ c ノ値意外=小デアル。

2. 管流レ口 (第 25 圖) 管路ノ途中=アルモノ=付キ Gaskell (1914) ガナシタル實驗結果=ヨレバ

$$Q = c_v c_a \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{1 - c_a^2 m^2}}$$

$$m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$$



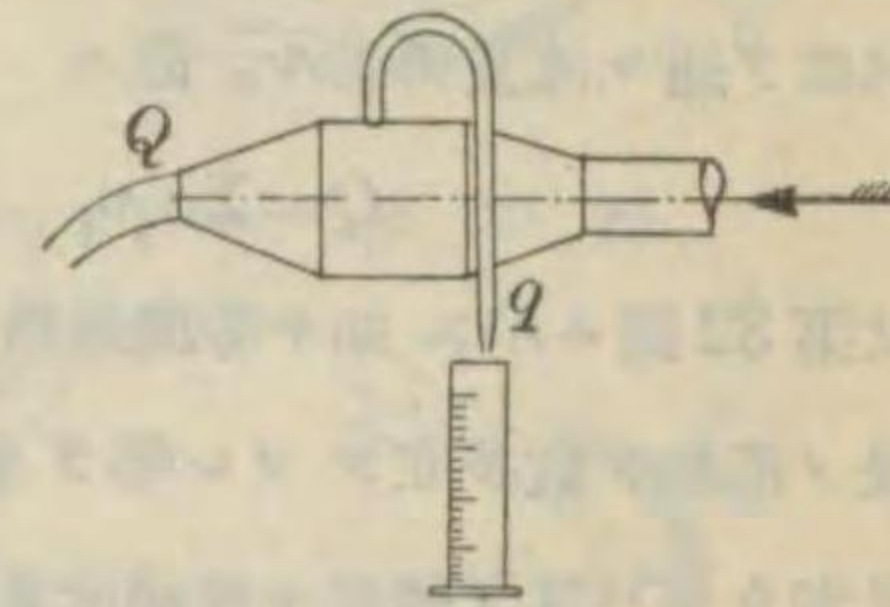
第 25 圖

速度係数 $c_v = 0.97$ トスレバ收縮係数 c_a ノ値ハ次ノ如シ。A ハ直径 203 mm 管, B ハ直径 152 mm 管=於ケルモノデアル。

	A								B						
m	0.677	1.115	1.176	1.250	1.340	1.436	1.549	1.675	1.116	1.198	1.303	1.428	1.583	1.748	
c_a	0.622	0.623	0.627	0.637	0.646	0.657	0.686	0.725	0.624	0.637	0.648	0.665	0.706	0.785	

此 c_a ノ値ハ管流レ口ノ水頭損失=對スル Weisbach ノ係数(一般ノ水力学書=アルモノ)ト殆ド一致シテ居ル。之ハ低壓空気ノ測定=モ適用セラレル。Witte (V. D. I. 1930) ガ與エタ係数ハ前表=示スモノヨリ稍小サイ。

3. 森式量水計 (第 26 圖) 管路末端ヲ擴大シター種ノ管流レ口=シテ此擴大部=細管ヲ裝置シテ管路流量 Q ノ數千分ノ一ノ小水量 q ヲ取りテ之ヲ測ル。 Q/q ノ比 k ハ殆ド Q = 無關係デアラカラ豫メ檢定シテ置ケバ $Q = kq$ ガ求メラレル。

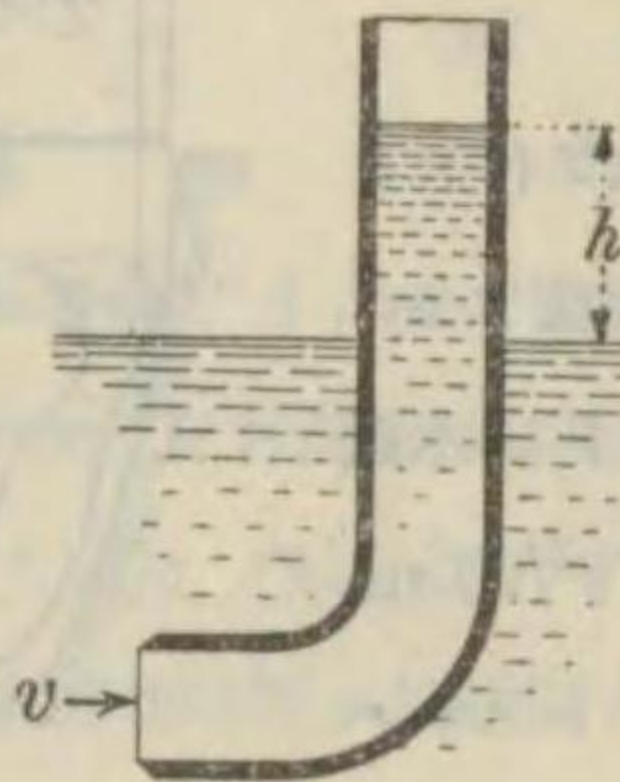


第 26 圖

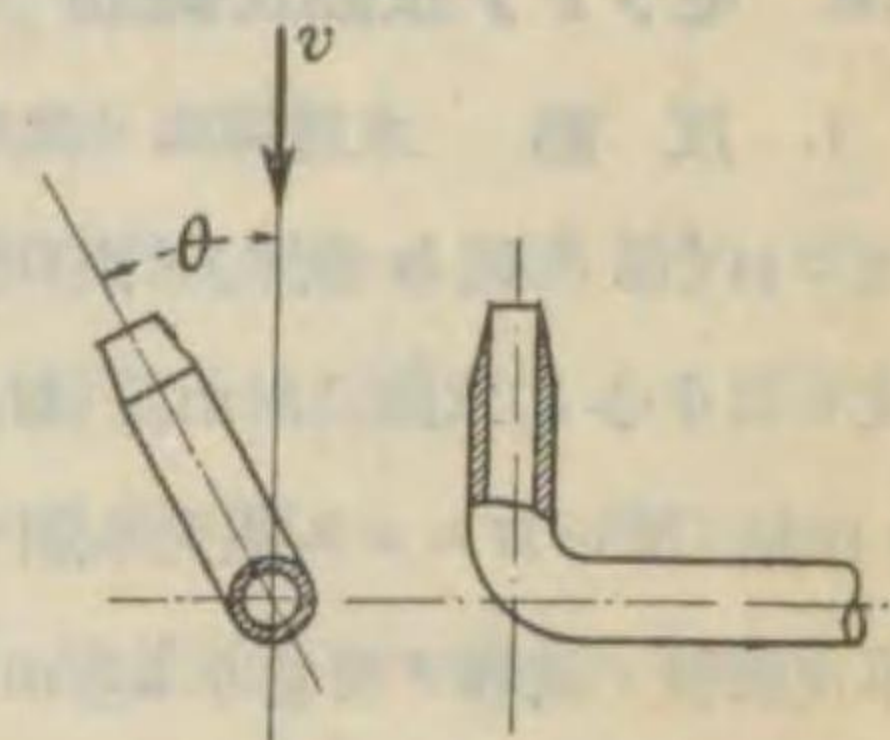
4. Pitot 管 (第 27 圖) 水流中一點=於ケル流レノ速サト方向トヲ測ル=用イル。正シク作ラレタル Pitot 管ヲ流レ=向ケテ置ケバ

$$v = \sqrt{2gh}$$

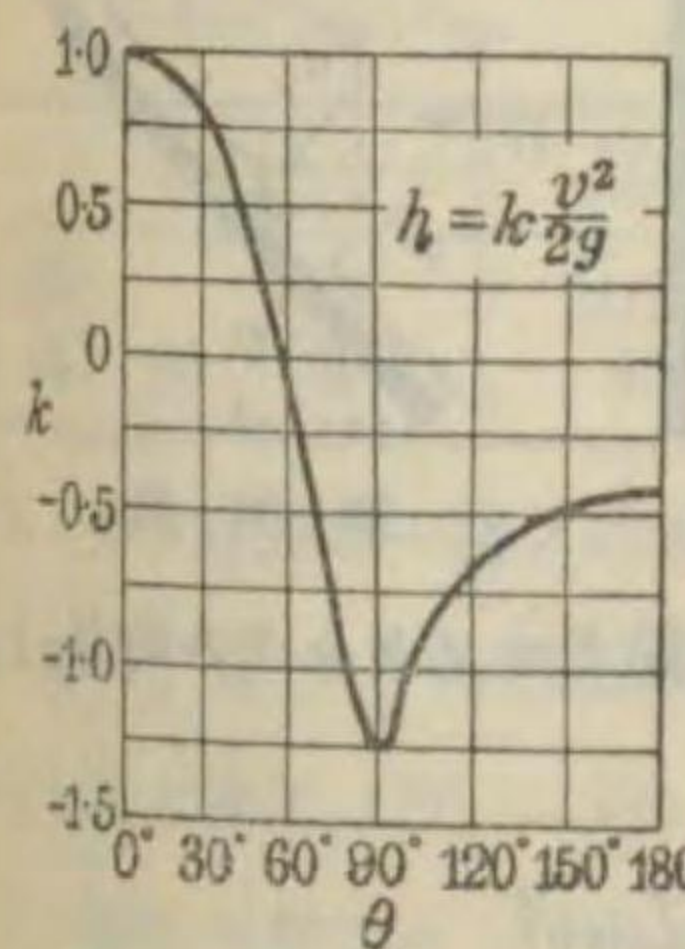
v = 流速 m/s , h = 指示水頭 m .



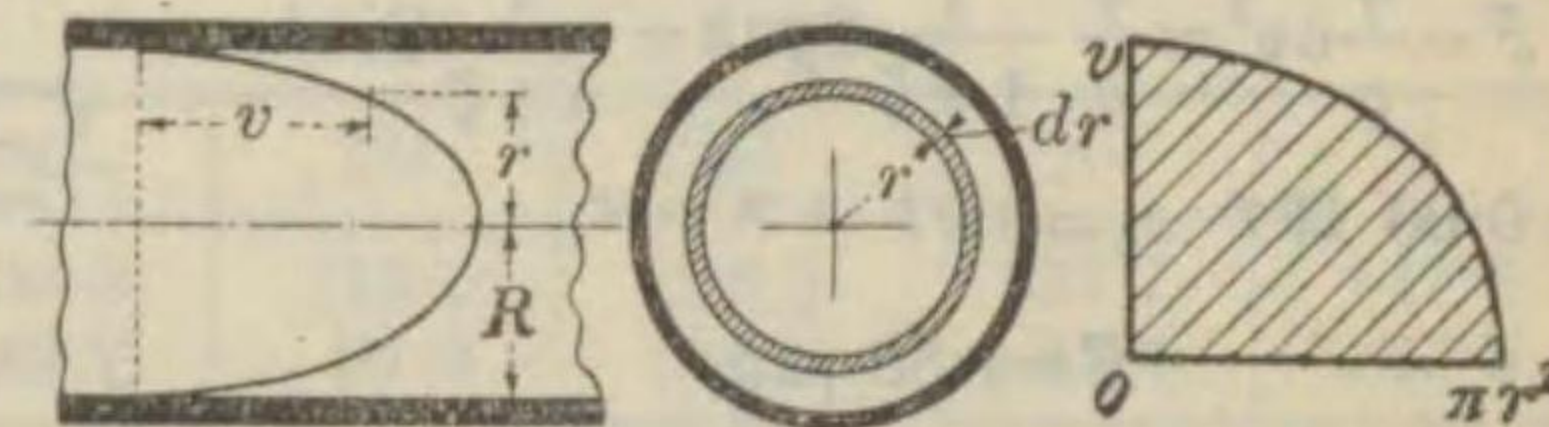
第 27 圖



第 28 圖



第 29 圖



第 30 圖

第 28 圖ノ如ク流レ=對シテ角度 θ ガケ傾カシムレバ指示水頭ハ第 29 圖ノ曲線ノ如ク變ル。*

Pitot 管ヲ用イテ圓管内ノ速度分布ヲ知レバ圓管ノ流量 Q m^3/s ハ次ノ面積分=テ求メラレル (第 30 圖)。

* 兼重寛九郎「Pitot 管ノ特性曲線=就テ」機械學會誌第 30 卷第 127 號

沼知福三郎「水流ノ速サ方向及静壓ヲ測リ得ル圓筒型ピト管」機械學會誌第 34 卷第 171 號

$$Q = 2\pi \int_0^R v r dr = \int_0^{\pi R^2} v d(\pi r^2)$$

5. 流速計 溝渠河川ノ流速流量測定ニ用イル。逆プロペラー型ト風見車型トアルガ何レモ其同轉速度ト流速トハ略正比例スル。之ヲ用イテ川ノ流量ヲ求ムル一方法ヲ示セバ第31圖ノ如ク川ノ一横断面ヲ數個ノ區劃ニ分割シ其各ノ面積 a_i ト其中央ニ於ケル垂直線 MN 上ノ平均流速 v_i トヲ乗ジタルモノガソノ分割面ヲ通ル流量デアル。故ニ

$$Q = \sum a_i v_i$$

又第32圖ニ示ス如キ等流速線上ニ速度ニ等シキ長ノ直線ヲ數多立テソレ等ヲ包ム立方體ヲ考ウレバ其ノ體積モ亦總流量ヲ示ス。

12. ゼットノ反動及衝動

1. 反動 水槽側面ノ丸味ヲ付ケタ流レ口(第8圖b参照)ノ出口面積 $a \text{ m}^2$, 流レ口中心ノ水頭 $h \text{ m}$, ゼットノ水速 $v \text{ m/s}$, 流レ口ニヨル損失水頭 $\zeta v^2/2g \text{ m}$, 單位體積ノ流體ノ重量 $\gamma \text{ kg/m}^3$ トスレバゼットノ反動ノ力 $F \text{ kg}$ ハ

$$F = \frac{\gamma}{g} a v^2 = \frac{\gamma}{g} \frac{1}{1+\zeta} 2gah = \frac{1}{1+\zeta} 2\gamma ah.$$

$\zeta = 0.06$ 即チ $c_v = 0.97$ トスレバ

$$F = 1.88 \gamma ah.$$

2. 衝動 前同様ゼットノ斷面積 $a \text{ m}^2$, 其速度 $v \text{ m/s}$ トシテ板ハ静止又ハゼットノ方向ニ速度 $u \text{ m/s}$ ニテ動くモノトシタル時ゼットノ方向ノ衝動ノ力 $F \text{ kg}$ ハ次ノ如シ。

i. ゼットニ垂直ナル静止平面板(第33圖)

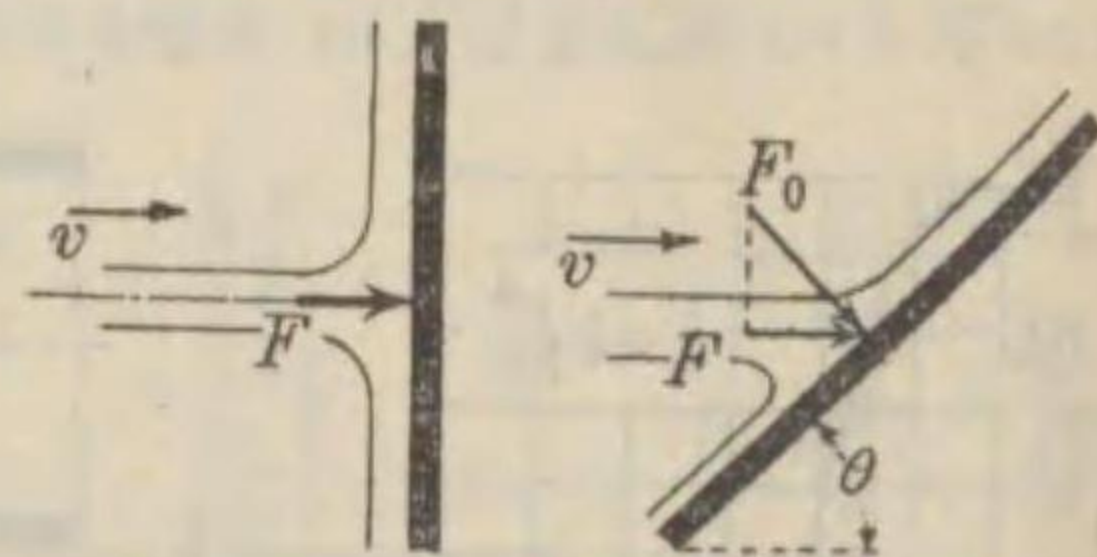
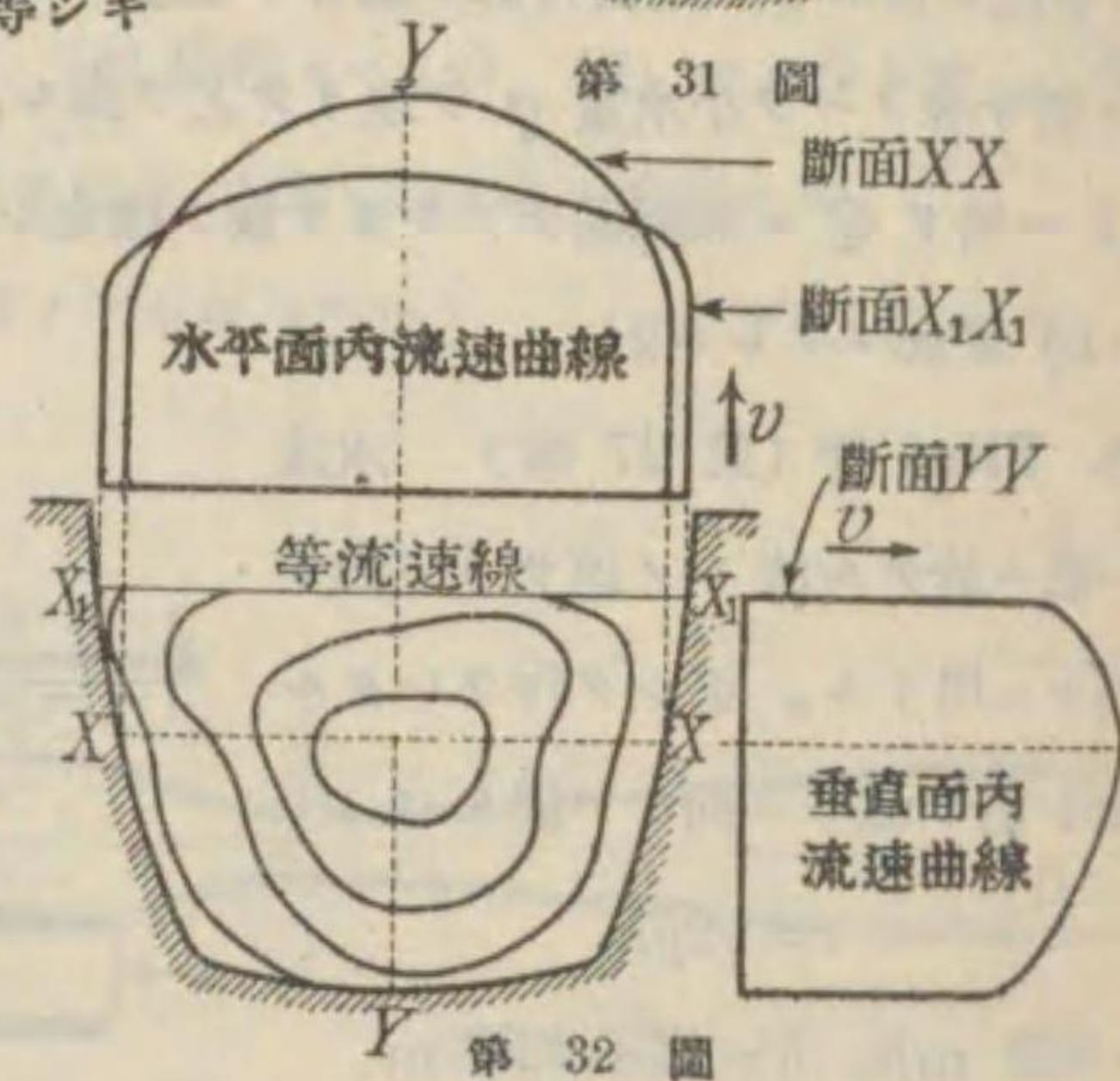
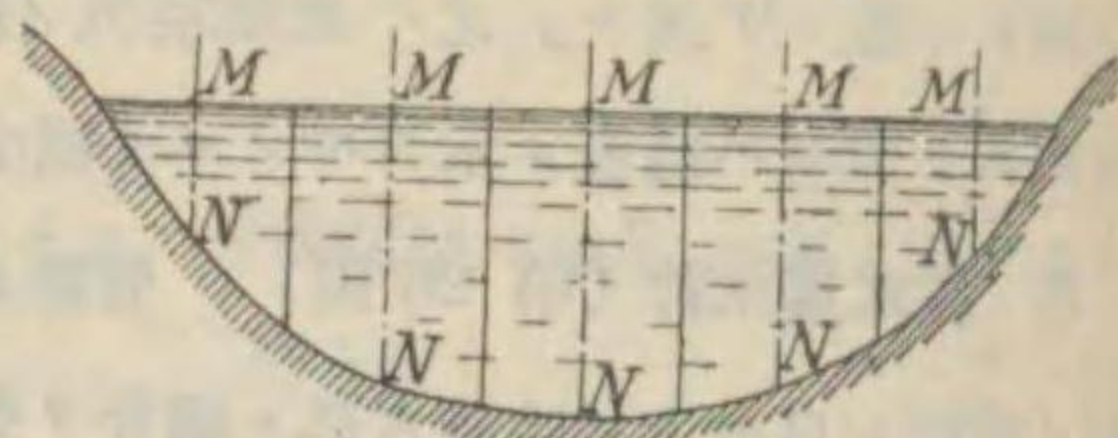
$$F = \frac{\gamma}{g} a v^2$$

ii. 速度 u ニテ動く垂直ナル平面板

$$F = \frac{\gamma}{g} a (v-u)^2$$

iii. ゼットニ傾斜セル静止平面板(第34圖)

$$F = \frac{\gamma}{g} a v^2 \sin^2 \theta$$



第33圖

第34圖

vi. 静止セル曲面板(第35圖)

$$F = \frac{\gamma}{g} a v^2 (1 - \cos \theta).$$

v. 速度 u ニテ動く曲面板

$$F = \frac{\gamma}{g} a (v-u)^2 (1 - \cos \theta).$$

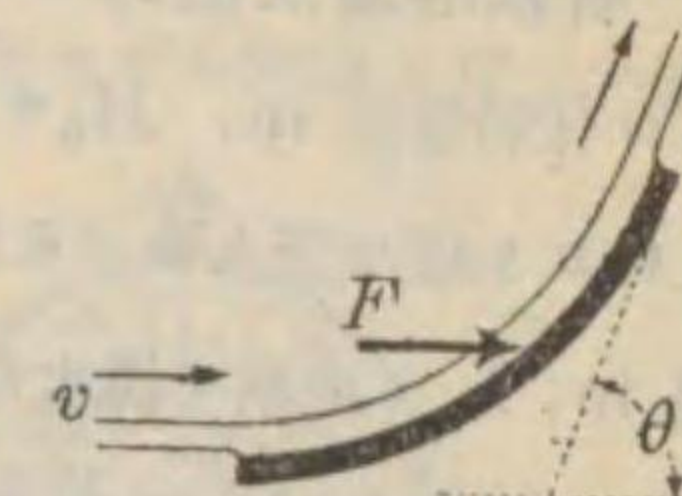
板ガゼットノ方向ニ動く場合無數ノ板ガ連続シテゼットノ前ニ現出シ來ル時ハ水ヲ全部有效ニ用ウルコトニナル。故ニ

a) 平面板 $F = \gamma a v (v-u) / g.$

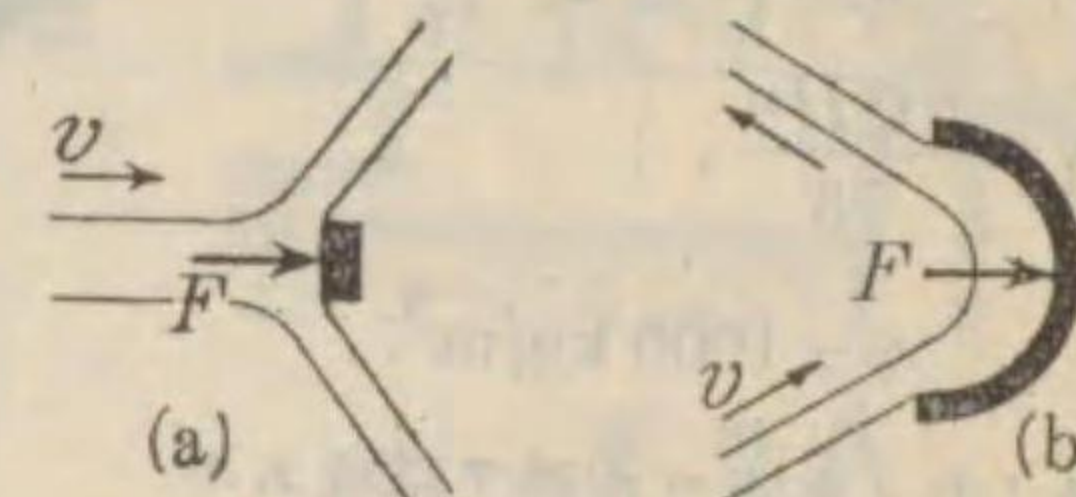
b) 曲面板 $F = \gamma a v (v-u) (1 - \cos \theta) / g.$

以上ハゼットノ大イサニ比シテ板ノ面積充分大ナル場合ニ限ル。

若静止板ニシテ第36圖aノ如クゼットト板トノ面積等シケレバ F 前記ノ約半分ニナル。又第36圖bハ $\theta = 180^\circ$ ナル曲面板ニ太キゼットノ働ク場合*ノ状態ヲ示ス。



第35圖



第36圖

13. 管路中ノ水槌ニヨル壓力上昇

1. 急激ニ弁ヲ締切リテ流水ヲ止メル場合 l ヲ弁ノ上流側管路ノ長 m , T ヲ弁ノ締切メヨリ締切リ迄ノ時間 s , c ヲ管内ノ水柱ノ音波傳播速度(管壁ノ材質及直径 d ト壁厚 t トノ比ニ關係ス) m/s トスレバ $T < 2l/c$ ノ時ハ總テコノ場合ニ屬ス。コノ場合水槌ニヨル上昇壓力水頭 $H \text{ m}$ ハ管路ノ長及締切時間ニ無關係ニシテ流速ヲ $v \text{ m/s}$ トスレバ

$$H = kv, \quad k = c/g.$$

k ノ値ヲ下表ニ示ス。

d/t	100	80	60	40	20	9
鋼管	102.5	108.3	115.0	123.4	133.7	147.5
鑄鐵管	83.3	89.7	97.6	108.3	124.4	147.5

2. 弁ヲ緩カニ一様ノ速サニテ T 秒間ニ締切リ又ハ開放場合 $T > 2l/c$ ノ時ハ此場合ニ屬ス。 H ヲ平時靜壓水頭 m , H_m ヲ生ズル最高(又ハ最低)水頭 m トスレバ水槌ニヨル最大變化 $(H_m - H)$ ハ管路ノ長, 流速, 靜壓水頭, 締切又ハ開放時間ニ關係スル。コノ場合ニ對スル Allievi ノ略式ハ次ニ示ス如シ(+ハ閉ジル場合, -ハ開放場合)。

$$\frac{H_m}{H} = 1 + \frac{n}{2} (n \pm \sqrt{n^2 + 4}), \quad n = \frac{lv}{gHT}$$

* 松本容吉「壁ニ沿ウテ曲ル噴流ニ就テ」機械學會誌第30卷第122號

第2章 水車

14. 有効落差及出力

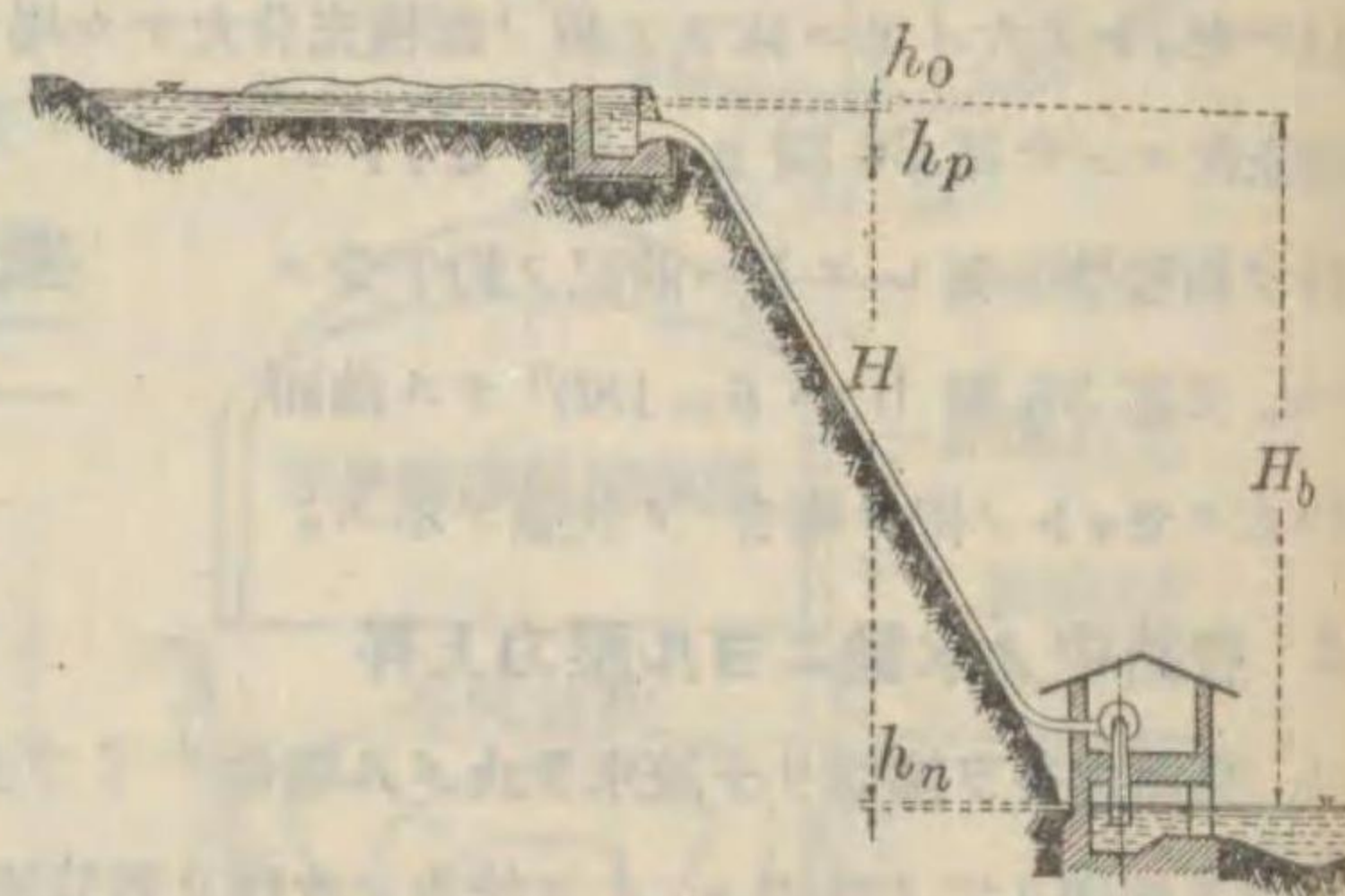
H = 有効落差 m, H_b = 取入口ト放水路トノ間ノ水面ノ高サノ差即チ全落差 m, h_o = 取入口ヨリ導水管入口ノ水槽マデノ間ノ水路ニ於ケル損失水頭 m, h_p = 導水管中ノ損失水頭 m, h_n = 水車ノ排水口ヨリ放水路マデノ間ノ損失水頭 m, Q = 水量 m^3/s , γ = 単位體積ノ水ノ重量 kg/m^3 , η = 水車ノ効率, N = 水車ノ有効馬力トスレバ

$$H = H_b - (h_o + h_p + h_n)$$

$$N = \frac{\gamma Q H \eta}{75}$$

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

水路ノ中ノ水速ハ水路ヲ構成スル材料ニヨリ制限セラレ、普通 0.3~2 m/s, 又普通導水管中ノ水速ハ其太サ及長サニヨリ異ナリ 2~4 m/s.



第 37 圖

15. 特性回轉數

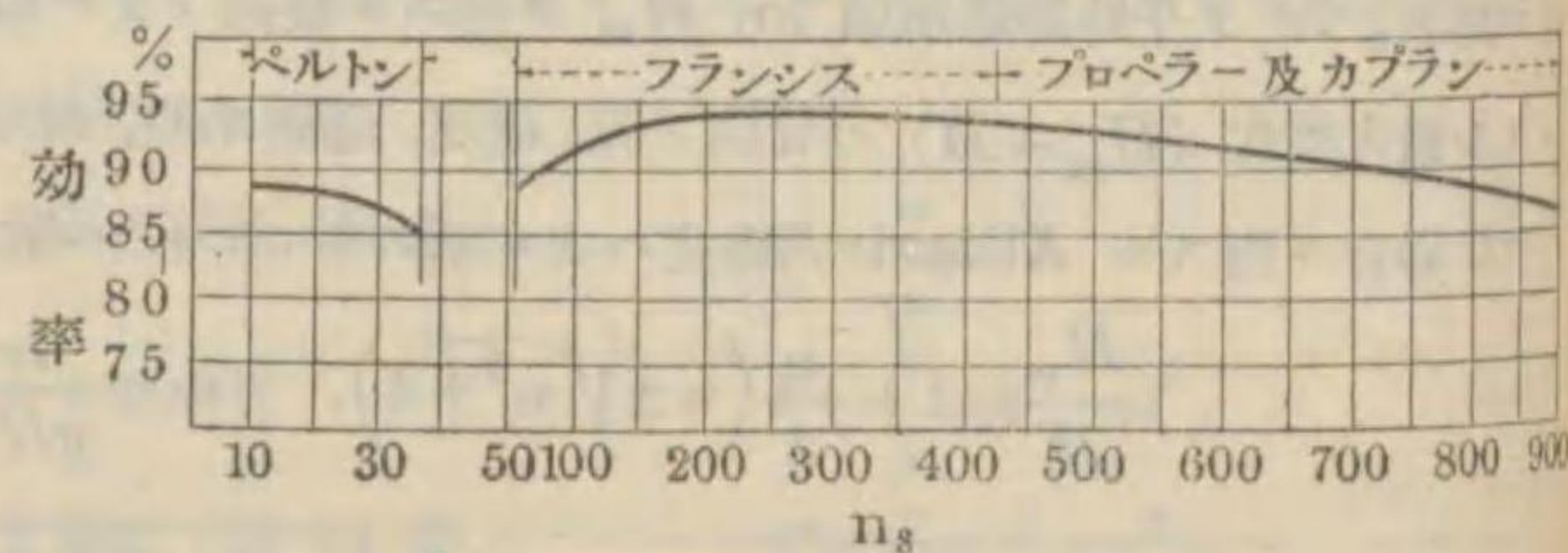
水車ヲ相似形ニ保ツテ大サヲ變更シ 1m ノ落差ノ時 = 1馬力ヲ出ス如クナセル時ノ毎分回轉數ヲ水車ノ特性回轉數ト云ウ。
 n = 毎分回轉數, n_s = 特性回轉數トスレバ

$$n_s = \frac{n\sqrt{N}}{H^{5/4}}$$

大體ノ値ヲ右表ニ示ス。

各種水車ニ於ケル最高効率ト n_s トノ關係ハ大凡第 38 圖ノ如シ。

水車ノ種類		n_s
ベルトン水車	ノズル 1 個	15 ~ 25
	ノズル 2 個	20 ~ 35
フランシス・タービン	低速	50 ~ 135
	中速	135 ~ 200
	高速	200 ~ 450
プロペラー・タービン		500 ~ 900
カブラン・タービン		500 ~ 1200



第 38 圖

16. ベルトン水車

衝動タービンニシテ特性回轉數ノ最モ小ナル級ニ屬スル水車デアル。高落差ノ場合又ハ發電所内ノ補機用等ニ適シ負荷ノ變化ニ對シテ効率ガ餘リ變化セザル特徴ヲ有シテ居ル。第 39 圖ハベルトン水車ノ断面ヲ示ス。

1. 水ノ作用 H = ノズル入口ニ於ケル有効水頭 m, P = ノズル入口ニ於ケル壓力 kg/m^2 , v_2 = ノズルノ出口ニ於ケル水ノ平均速度 m/s, c_1 = ノズルヨリ噴出スル水ノ速度 m/s, γ = 単位體積ノ水ノ重量 kg/m^3 トスレバ

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}, \quad c_1 = \phi\sqrt{2gH}$$

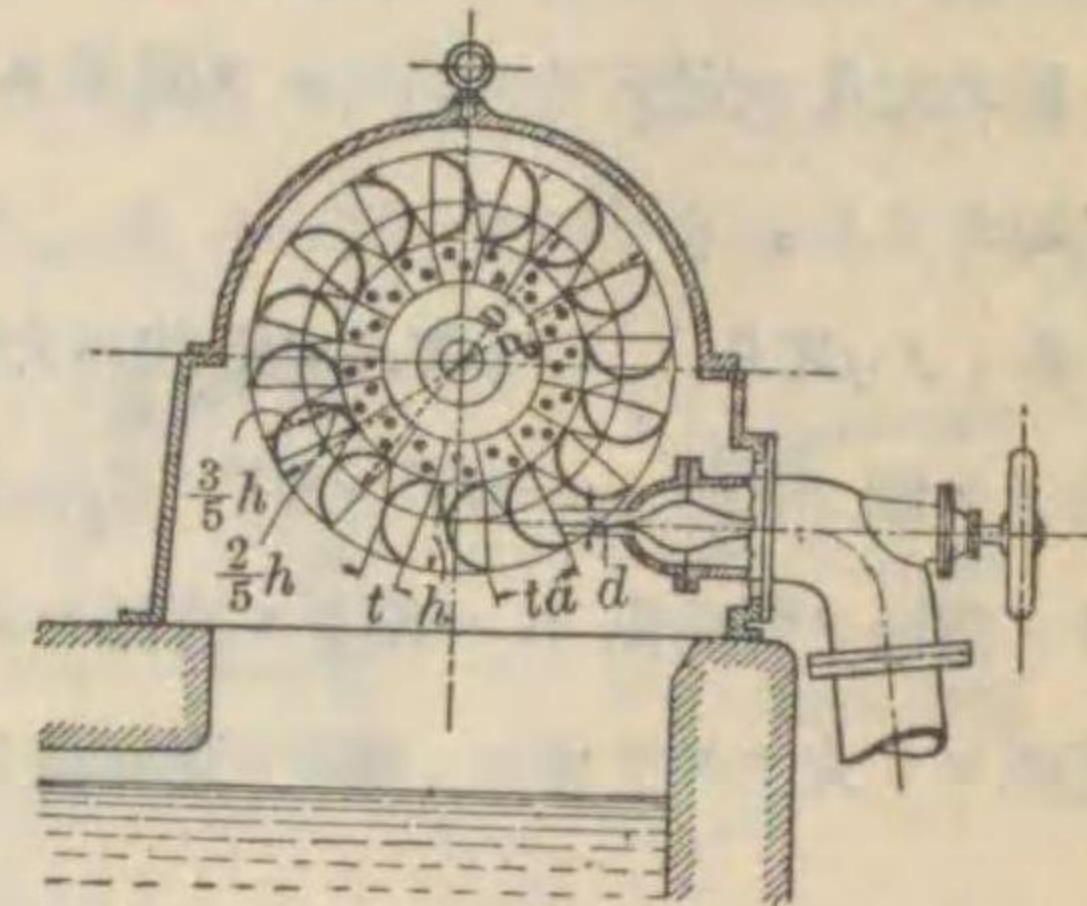
ϕ ハ係數ニシテ普通 0.96~0.98.

F = バケツトニ働ク力 kg, L = 單位時間ニ水ノナス仕事 $kg\cdot m/s$, W = 單位時間ニバケツトニ働ク水ノ重量 kg/s , u_1 = バケツトノ圓周速度 m/s, w = バケツトヨリ出ル水トバケツトトノ關係速度 m/s, β_2 = w ト u_1 トノ間ノ角度トスレバ (第 40 圖)

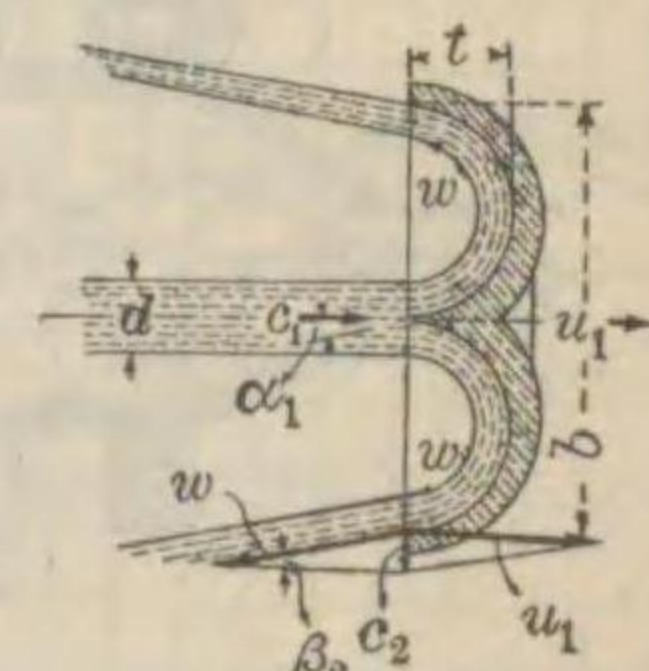
$$F = \frac{W}{g}(c_1 - u_1)(1 + \cos \beta_2), \quad L = \frac{W}{g}u_1(c_1 - u_1)(1 + \cos \beta_2)$$

$u_1 = c_1/2$ ノトキ L ノ値最大デアル。實際ニハバケツト面ノ摩擦等ヲ考慮シテ $u_1 = 0.45\sqrt{2gH}$ 位トスル。排出サレル水ノ絶對速度 c_2 m/s = 相當スル水頭 $c_2^2/2g$ ハ損失トナル故ニ水ガバケツトヨリ出ルニ差支ナキ程度ニ β_2 ヲ小サクスル。

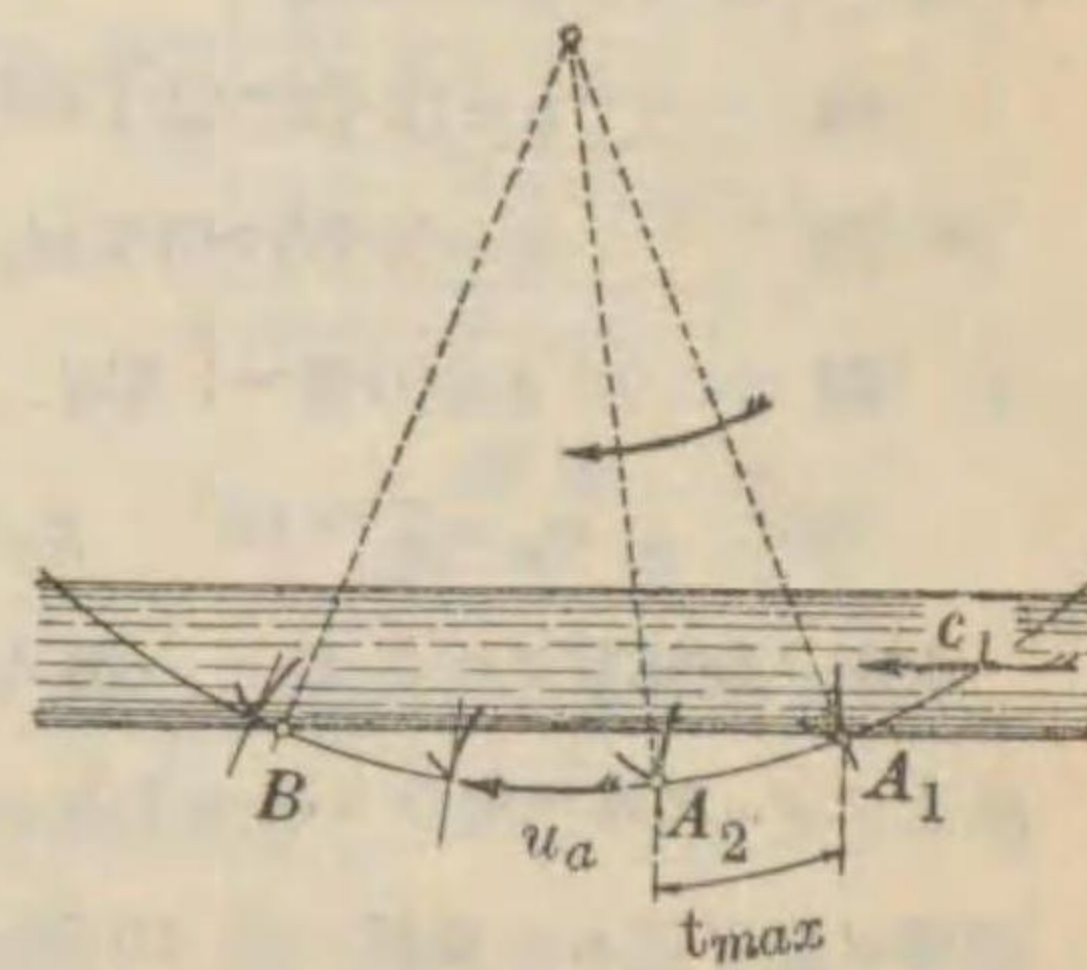
2. ビッチ 第 41 圖ニ於テバケツト A_1 ノ先端ニヨツテ切ラレタルゼツトノ最後ノ水滴ガバケツト A_2 ト同時ニ B ニ達スルニハ $\widehat{A_1B} : \widehat{A_2B} = c_1 : u_a$, u_a ハバケツト先端ノ圓周速度 m/s デアル。故ニ



第 39 圖



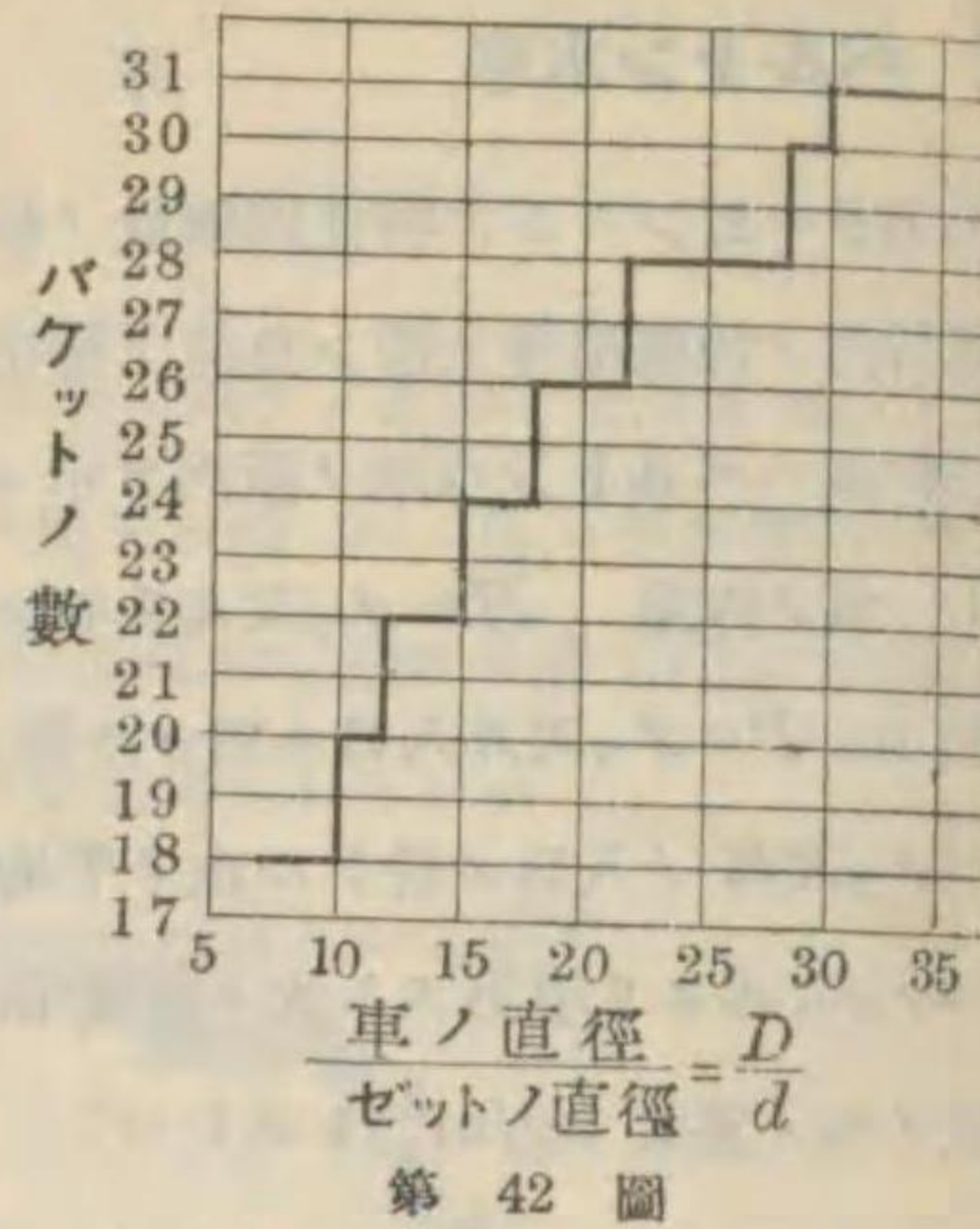
第 40 圖



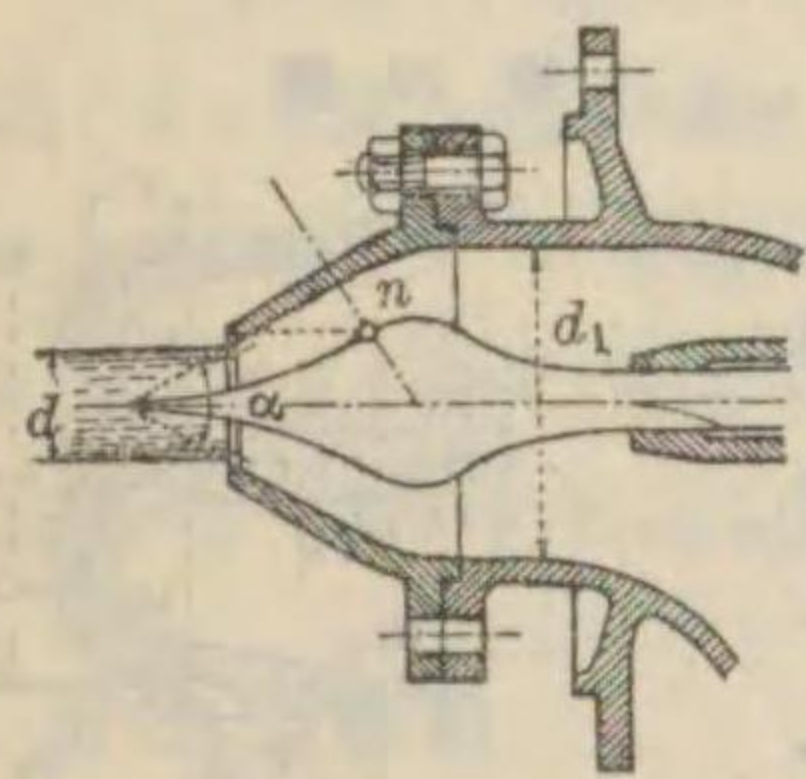
第 41 圖

$\widehat{A_1 A_2}$ ハピッチノ最大限 t_{max} ニシテ實際ノピッチ t_a ハコレヨリ小サクスル。即チピッチハゼットノ直徑 d ト回轉車ノ直徑 D トノ比ニヨツテ大體定マルモノデアカラ此比トバケツトノ數トノ關係ハ實例ニ於テ大凡一定デアル。コレヲ圖示スレバ第 42 圖ノ如クナル。

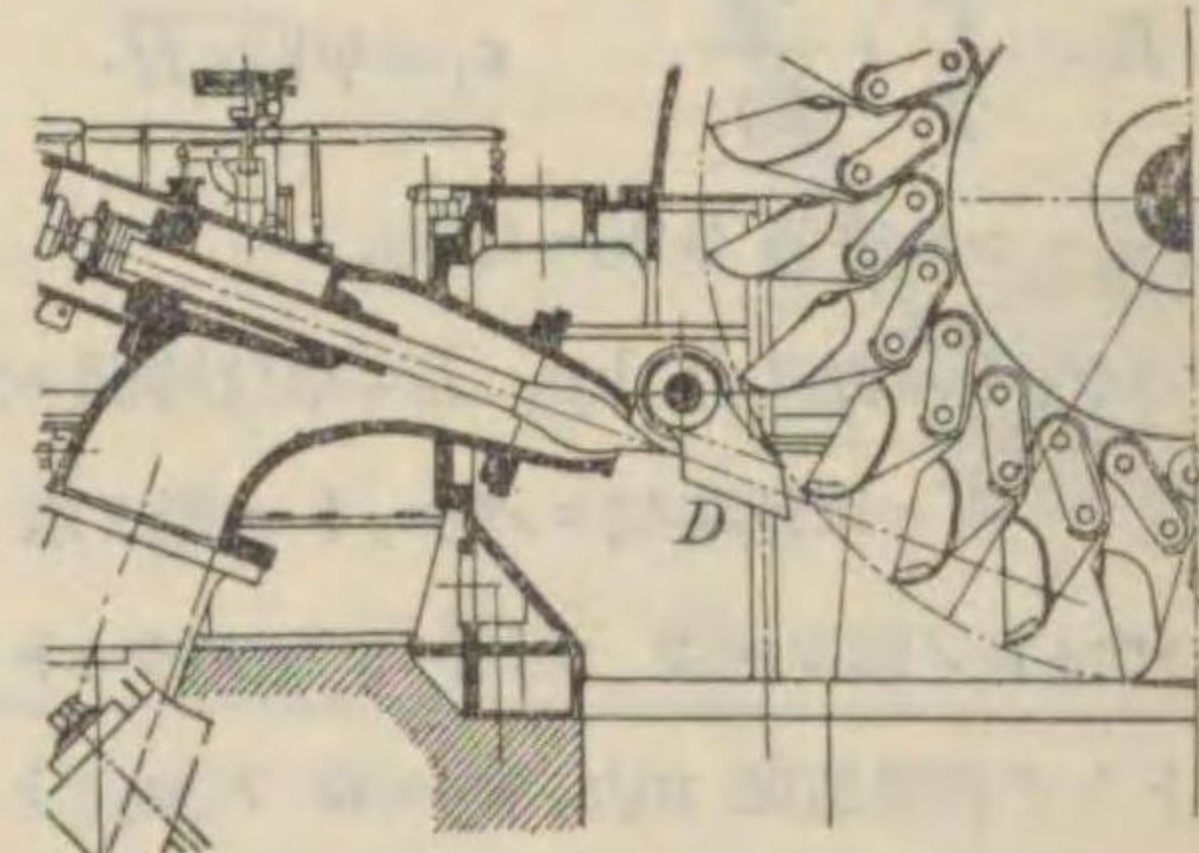
3. ノズル ノズルノ形狀ハ大體第 43 圖及第 44 圖ノ如ク $\alpha = 60^\circ \sim 80^\circ$, $d_1 = (2.5 \sim 3.0)d$, 針ノ曲線ノ彎曲點 n = 於ケル直徑ハノズル出口ノ直徑ヨリ大ナルヲ要ス。ゼット斷面積トノズル出口



第 42 圖



第 43 圖



第 44 圖

ノ面積トノ比ハ 0.85 内外デアル。バケツトノ大サトゼットノ直徑 d トノ關係ハ大體次ノ如シ(第 40 圖参照)。

幅 $b = (2.75 \sim 3.75)d$,

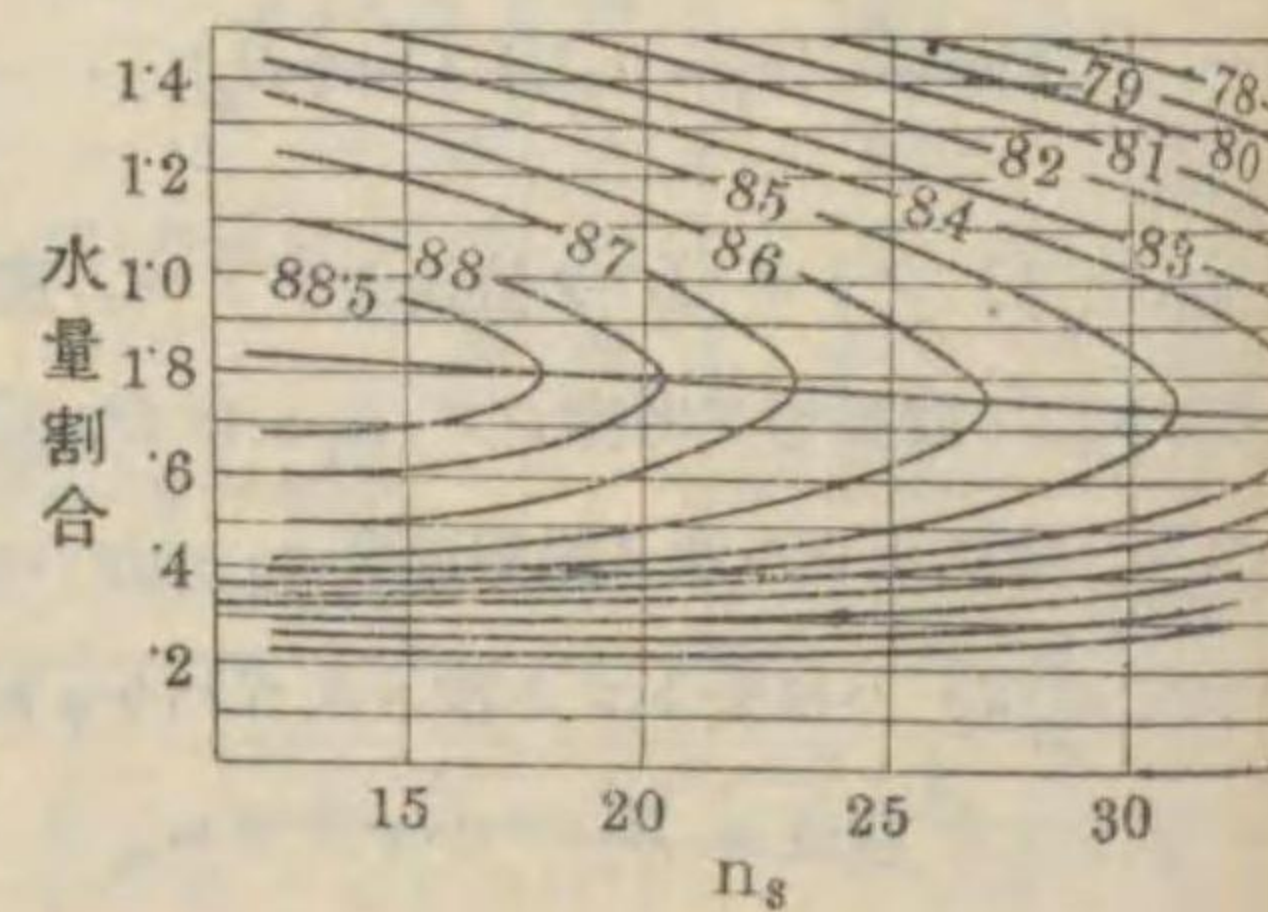
高 $h = (2.35 \sim 3.5)d$,

深 $t = (0.9 \sim 1.5)d$.

角度 $\alpha_1 = 7^\circ \sim 15^\circ$, $\beta_2 = 4^\circ \sim 8^\circ$.

水車ノ回轉數ヲ増ス爲ニ一個ノ車ニ二個

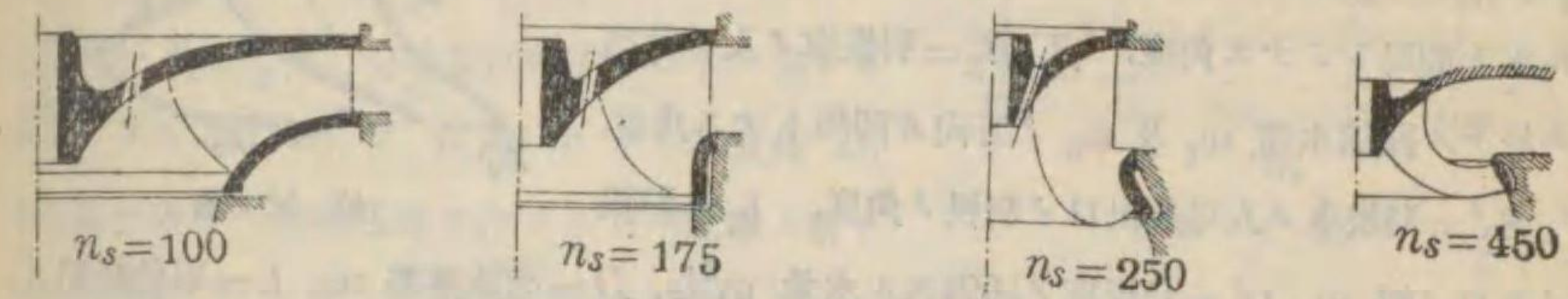
以上ノノズルヲ用ウル事ガアル。 n_s ノ異ナルベルトン水車ニテ種々ノ水量ニ於ケル最高効率ノ點ヲ連ヌル曲線ハ第 45 圖ノ如クナリ此種ノ水車ノ特性ヲ示ス。圖中曲線上ノ數字ハ百分率ニテ表ワシタル効率デアル。



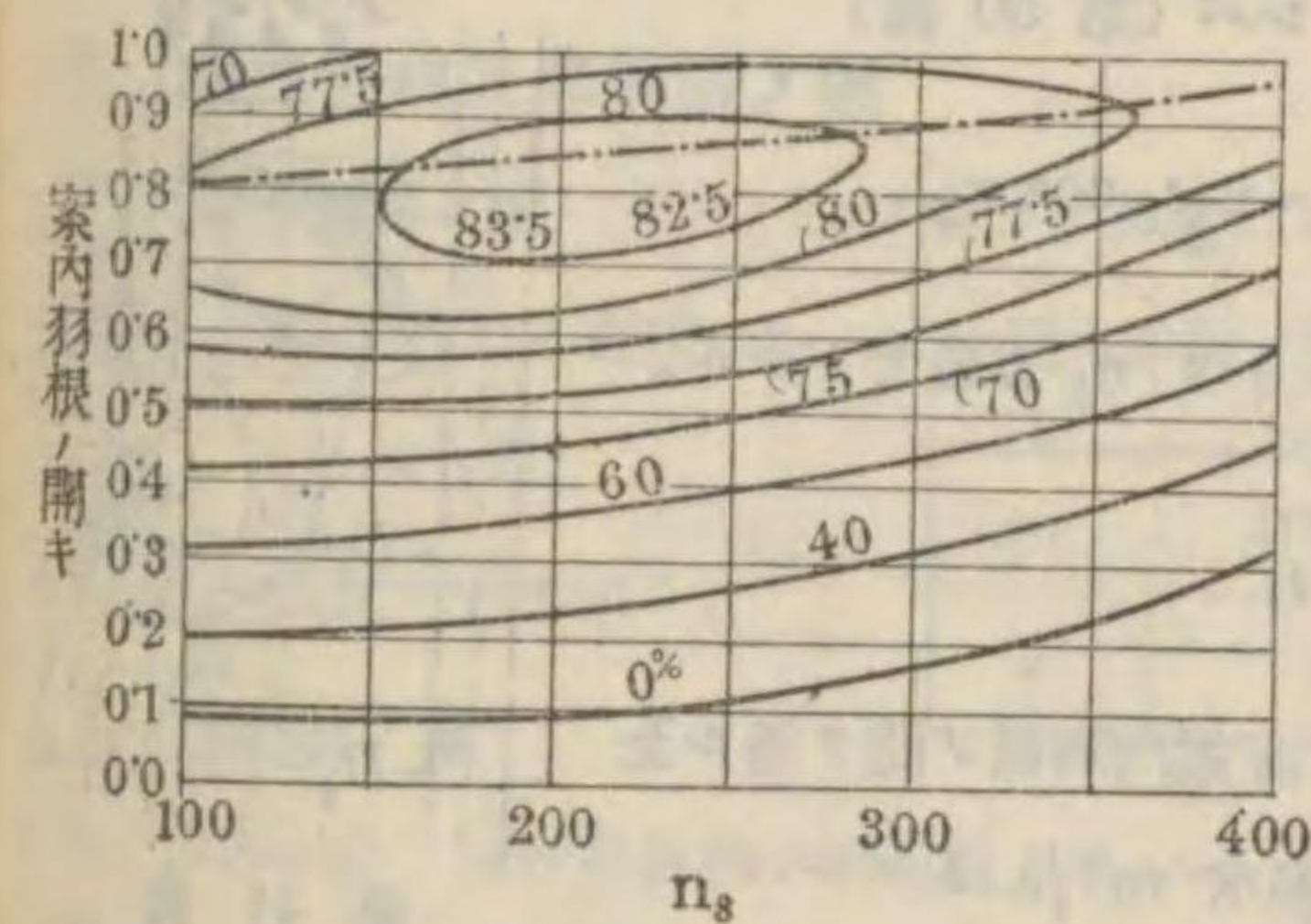
第 45 圖

17. フランシス・タービン

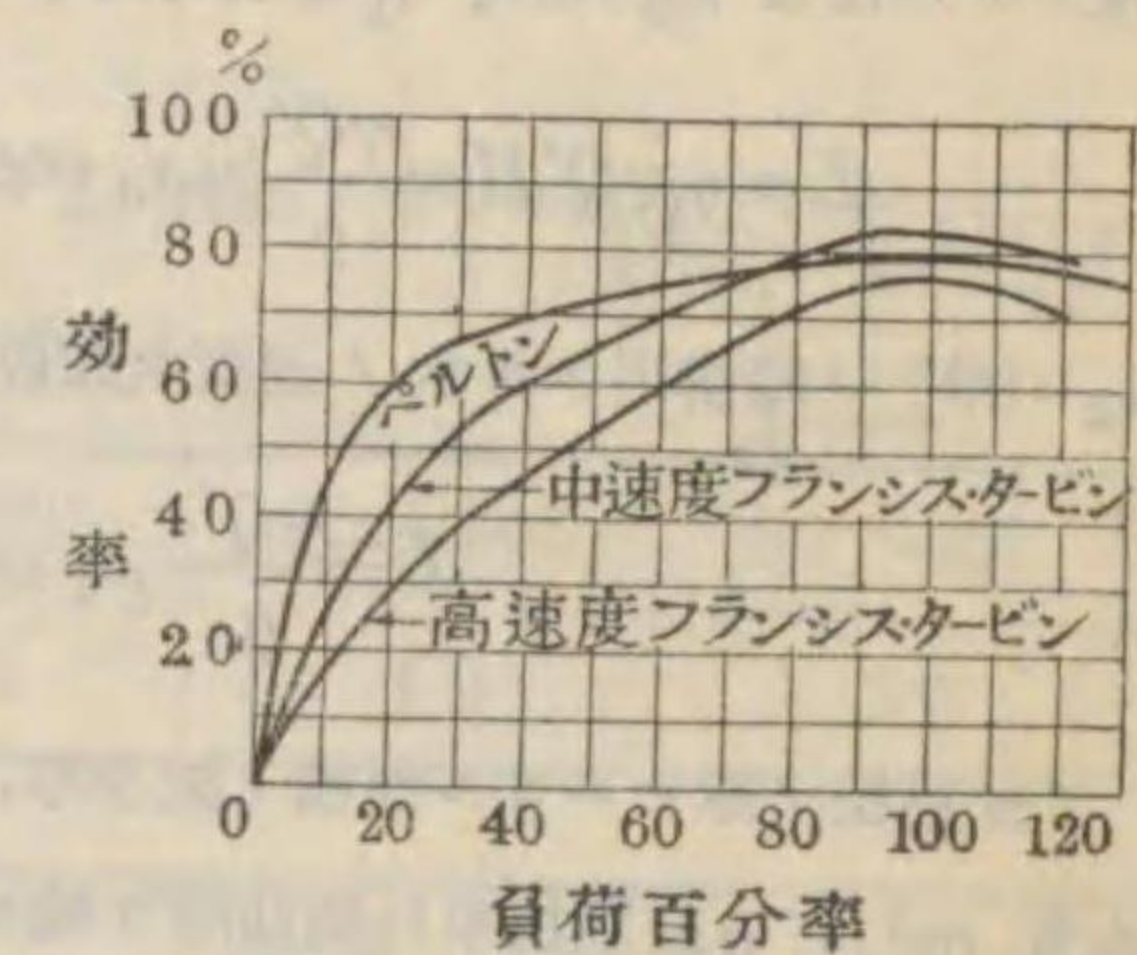
現今最モ多く使用セラレル効率ノ高イ反動水車デアル。豎軸型横軸型共ニ使用セラレルガ大容量ノモノニハ豎軸型ガ多イ。羽根車ノ形ニ依ツテ特性回轉數ノ値ハ非常ニ異ナル。第 46 圖ハ n_s ノ異ナル羽根車ノ斷面ヲ示ス。外周ヨリ之ニ流入スル水量ハピンヲ軸トシテ回轉スル案内羽根(第 50 圖)ニ依ツテ加減セラレル。第 47 圖ハ第 45 圖ト同種類ノ曲線ヲ示シフランシス・タービンニ對スルモノデアル。第 48 圖ハ負荷ノ多少ニヨリテ効



第 46 圖



第 47 圖



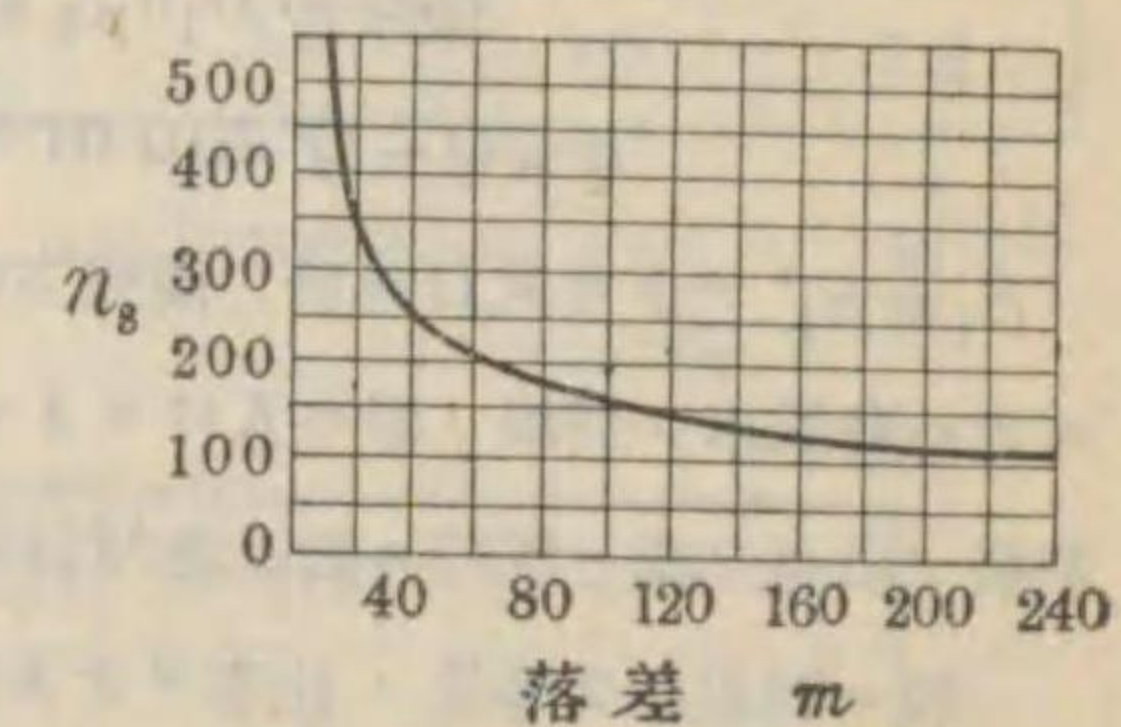
第 48 圖

率ノ變化スル状態ヲ各種ノ水車ニ就テ示セルモノデアル。圖ニヨリ知ラル、如クフランシス・タービンハ正負荷ノ場合以外ハ効率ガ相當低下シ、 n_s ノ値ノ大ナル程其傾向ガ著シイ。

水車ノ回轉速度ヲ一定ニ保ツ場合ニ落差ノ變動ガ生ズレバ出力、効率共ニ影響ヲ受ケルガフランシス・

タービンハ他ノ水車ニ比シテ其影響ガ著シク落差ガ小サクナレバ効率ハ非常ニ低下スル。

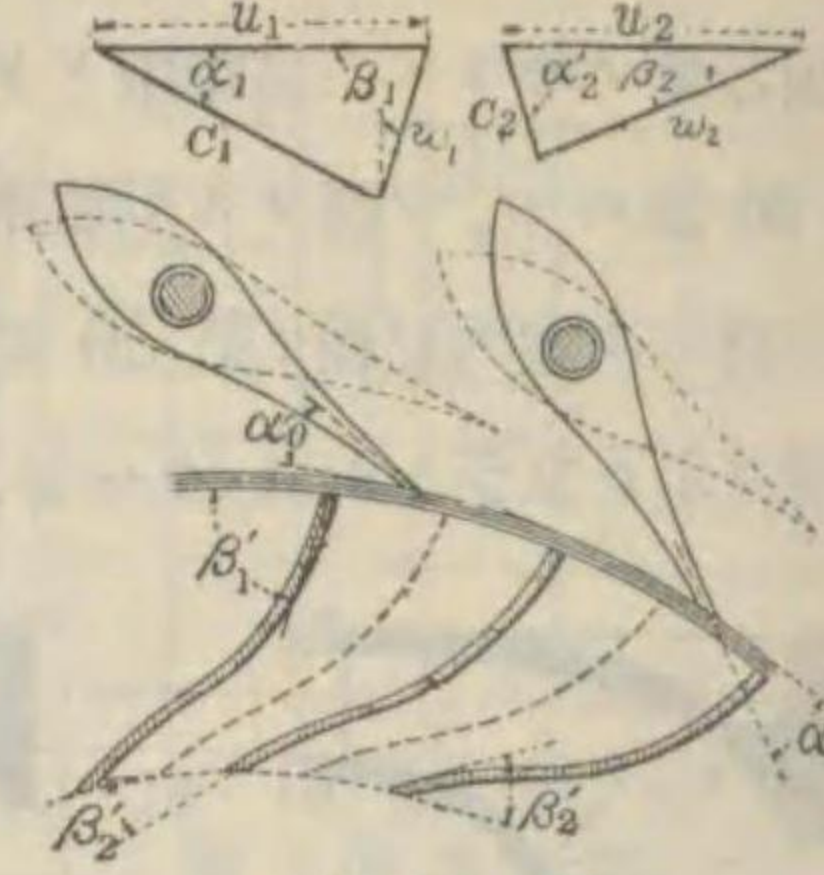
第 49 圖ハ各落差ニ對シテ使用スルニ適當ナル水車ノ特性回轉數 n_s ヲ示ス。之以上ニ大ナル n_s ヲ持ツ水車ヲ使用スルコトハ羽根車ノ腐蝕及運轉ノ安定ノ爲ニ望マシク無イノデアルガ設計ト材料トノ進歩ニヨツテ此特性回轉數ハ漸次増大サレル傾向ニアル。



第 49 圖

18. 正状態ノ場合ノ水ノ働キ

c_1 = 案内羽根ヲ出ル時ノ水速 m/s, α'_0 = 案内羽根ト
 圆周トノナス角度, u_1, u_2 = 羽根車ノ入口及出口ノ圆周
 速度 m/s, w_1, w_2 = 入口及出口ニ於ケル水ノ羽根ニ對
 スル關係速度 m/s, α_1 = 流入スル水ト圆周トノナス角度
 ($\alpha_1 \doteq \alpha'_0$), c_2 = 出口ニ於ケル絶對水速 m/s, α_2 = 流出
 スル水ト圆周トノナス角度, β_1, β_2 = 羽根車ノ入口及出
 口ニ於ケル關係水速 w_1 及 w_2 ノ方向ガ圆周トナス角度,
 β'_1, β'_2 = 羽根車ノ入口及出口ノ羽根ノ角度, b_1 = 羽根
 車ノ入口ノ幅 m, Q' = 羽根車ヲ通過スル水量 m^3/s , H = 有効落差 m, L = 單位時間ニ
 水ノナス仕事 kg-m/s, η_1 = 水力効率トスレバ (第 50 圖)



第 50 圖

$$L = \eta_1 \gamma Q' H = \frac{\gamma Q'}{g} (u_1 c_1 \cos \alpha_1 - u_2 c_2 \cos \alpha_2).$$

$\alpha_2 = 90^\circ$ ノ時排出スル水ノ速度水頭最小トナリ η_1 ガ最大トナル。

$$L = \frac{\gamma Q'}{g} u_1 c_1 \cos \alpha_1.$$

f = 羽根ノ厚サニヨル面積ノ減少率, Q = 案内羽根ノ間ヲ通ル全
 水量 m^3/s , q = 羽根車外側間隙ヲ流ル、漏水 m^3/s トスレバ

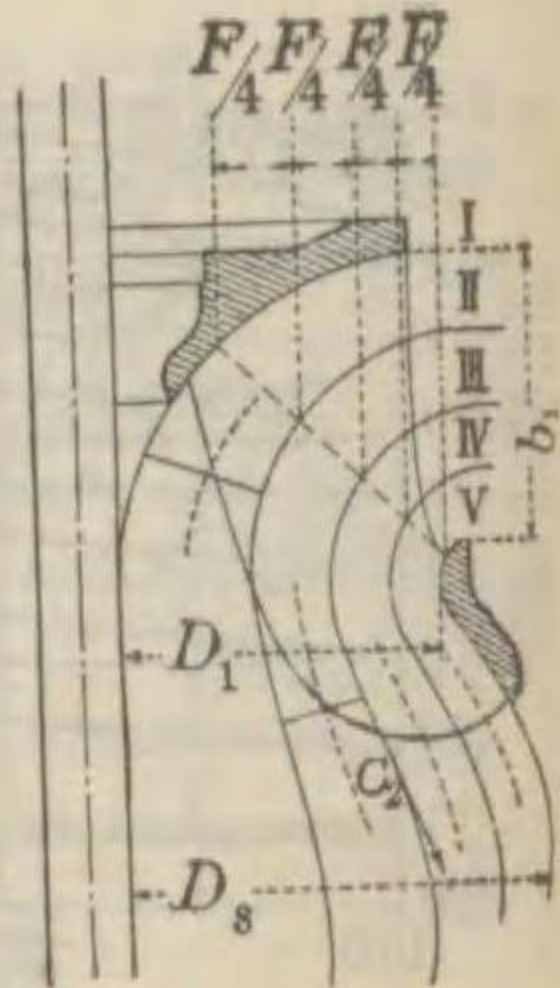
$$Q \doteq \pi f D_1 b_1 c_1 \sin \alpha_1, \quad f \doteq .85 \sim .95,$$

$$q = Q - Q' = (0.01 \sim 0.02) Q, \quad Q' \doteq (0.98 \sim 0.99) Q.$$

$\beta_1 = \beta'_1$ ノトキ入口ニ於テ衝突方向變換ニヨル損失最モ少シ。又フランシス・タービン
 ニテハ羽根車ノ羽根ノ形ハ入口ヨリモ出口ノ方ガ重要ナル。特性回轉數ノ大ナル場合ニ
 羽根ノ出口ノ縁ハ流線ニ對シ急傾斜ヲナスモノモアル (第 51 圖)。

一般ニ羽根車ヲ等量ノ仕事ヲナス數個ノ部分タービン (第 51 圖ノ I—II, II—III,
 III—IV, IV—V ノ如キ) = 分割シ各出口ノ平均位置ニ於テ流線ニ直角ナル斷面積ヲ假定
 シ之ニ對シテ前記ノ計算ヲ行ウ。

Q_1 = 落差 1m ノ時ノ流量 m^3/s , Q = 水車ノ水量 m^3/s , H = 有効落差 m トスレバ
 $Q_1 = Q / \sqrt{H}.$



第 51 圖

出力ノ大小ニヨリ Q_1 ノ値異ナル。 Q_1 ガ同一ノ値ヲ有スル水車ニテモ特性回轉數異ナ
 レバ羽根車ノ形異ナル。

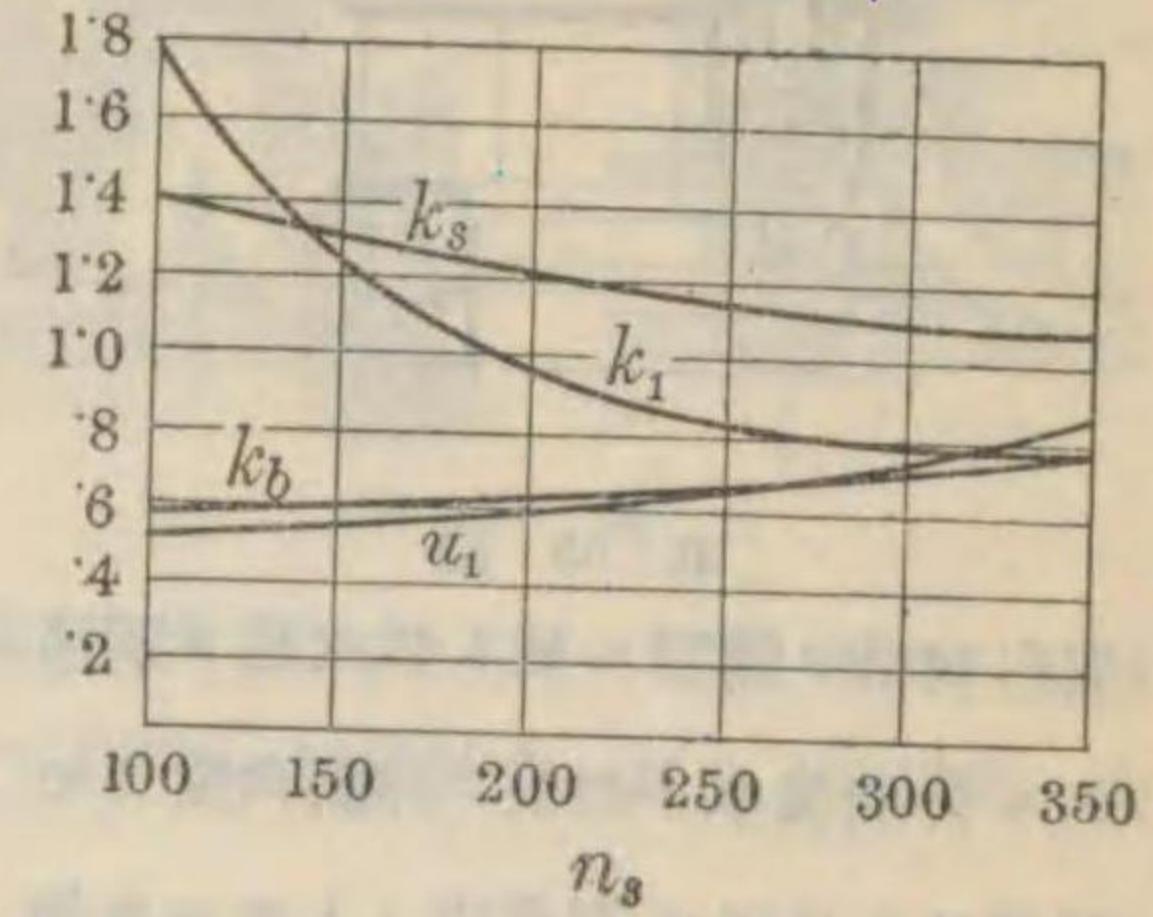
D_1 = 羽根車入口ノ直径 m, D_2 = 吸出シ管入
 口ノ直径 m, b_0 = 案内羽根ノ幅 m トシ

$$D_1 = k_1 \sqrt{Q_1}, \quad D_2 = k_2 \sqrt{Q_1},$$

$$b_0 = Q_1 / k_b D_1,$$

ト置ケバ k_1, k_2, k_b ハ特性回轉數ニヨツテ異ナル
 係數ナル。又 u_1 ヲ $H=1m$ ナル時直径 D_1
 ナル圓ニ於ケル圆周速度 m/s トスレバ此等ノ値ト

特性回轉數 n_s ノ値トノ關係ハ第 52 圖ニ示サレタ如クナル。



第 52 圖

19. 案内羽根及車羽根ノ數

1. 案内羽根ノ數 Gelpke ノ與エタル數ニヨツテ Zowski ノ作ツタ關係式ハ次ノ如シ。

D_1 = 羽根車入口ノ直径 cm, n' = 案内羽根ノ數トスレバ

$$n' = k' \sqrt{D_1}$$

k' ノ値ハ右表ニ示ス如シ。

α_1	10°~20°	20°~30°	30°~40°
k'	1.6	1.9	2.2

2. 車羽根ノ數

i. Zowski n = 羽根車ノ羽根數トスレバ

$$n = k \sqrt{D_1}$$

k ノ値ハ右表ニ示ス如シ。

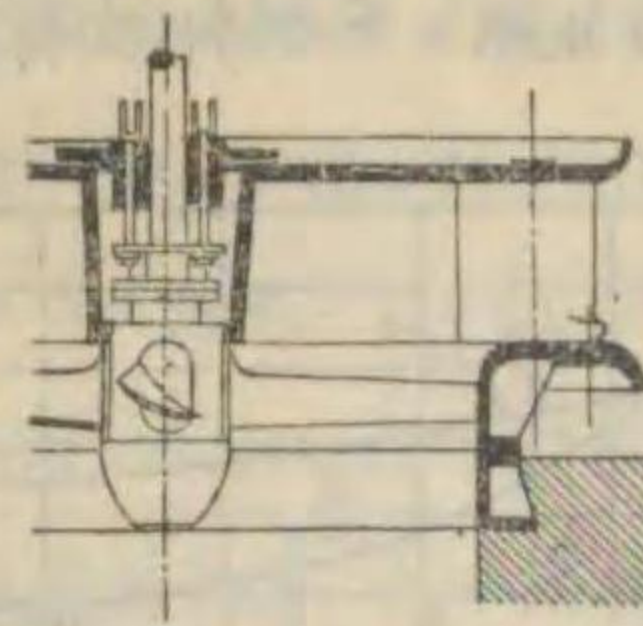
羽根車 型式	低速	中速	高速
k	2.3	1.9	1.4

ii. Kent 羽根車ノ羽根數 n ヲ特性回轉數 n_s = 對シテ適當ニ定メタ。ソノ値ハ下
 表ニ示ス如シ。

n_s	50~80	80~130	130~200	200~300	300~450
n	24	20	18	16	14

20. プロペラー・タービン

プロペラー・タービン (第 53 圖) ハ水車中特性回轉數 n_s ノ値最大ナルモノニ屬シ
 2~15m 位ノ低落差ニテ大水量ノ場合ニ使用ス。カプラン式ニテハ負荷ノ變化ニ對シテ

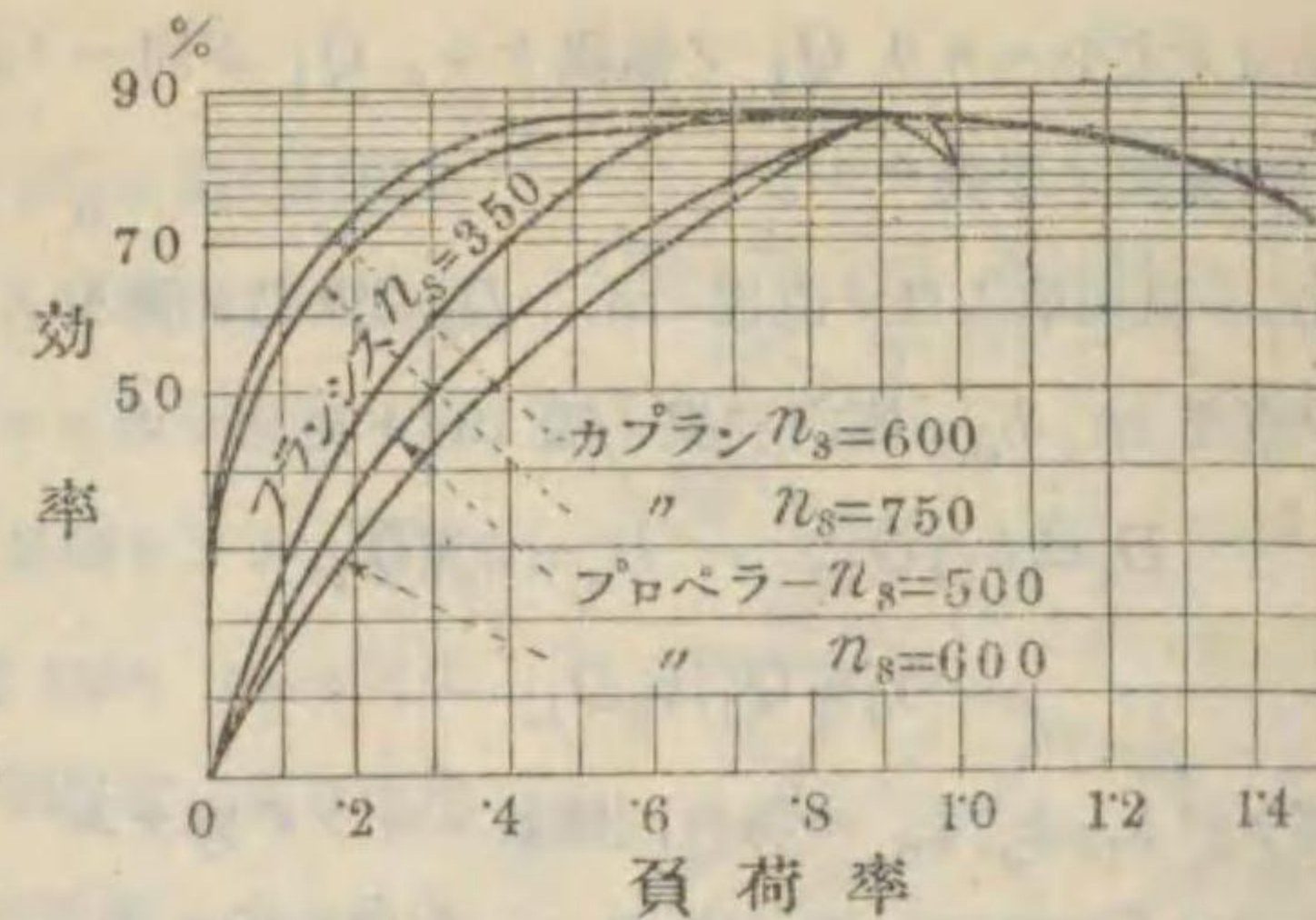


第 53 圖

案内羽根ノ開閉ニヨリテ水量ヲ調節スル外羽根車ノ羽根ノ傾斜角度ヲモ調節スルヲ以テ輕負荷ノトキニモ効

率が高い。單ニプロペラー・タービント云ウノハ羽根ガ車幅ニ固定セラレタモノデアル。

第 54 圖ハカプラン及プロペラー・タービントフランシス・タービントノ効率ガ負荷率ニヨリテ變化スル様様ヲ示シタルモノデアル。

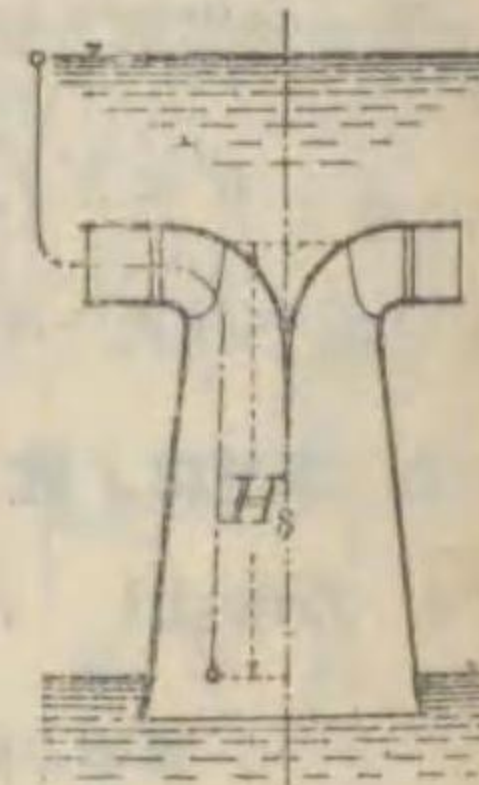


第 54 圖

21. 吸出シ管

大気壓ニ相當スル水頭ヲ H_a m, 吸出シ管入口ノ流速ヲ c_3 m/s トスレバ理論上許シ得ル吸出シ管ノ高 H_s m (第 55 圖) ノ最高値バ

$$H_s = H_a - \frac{c_3^2}{2g}$$

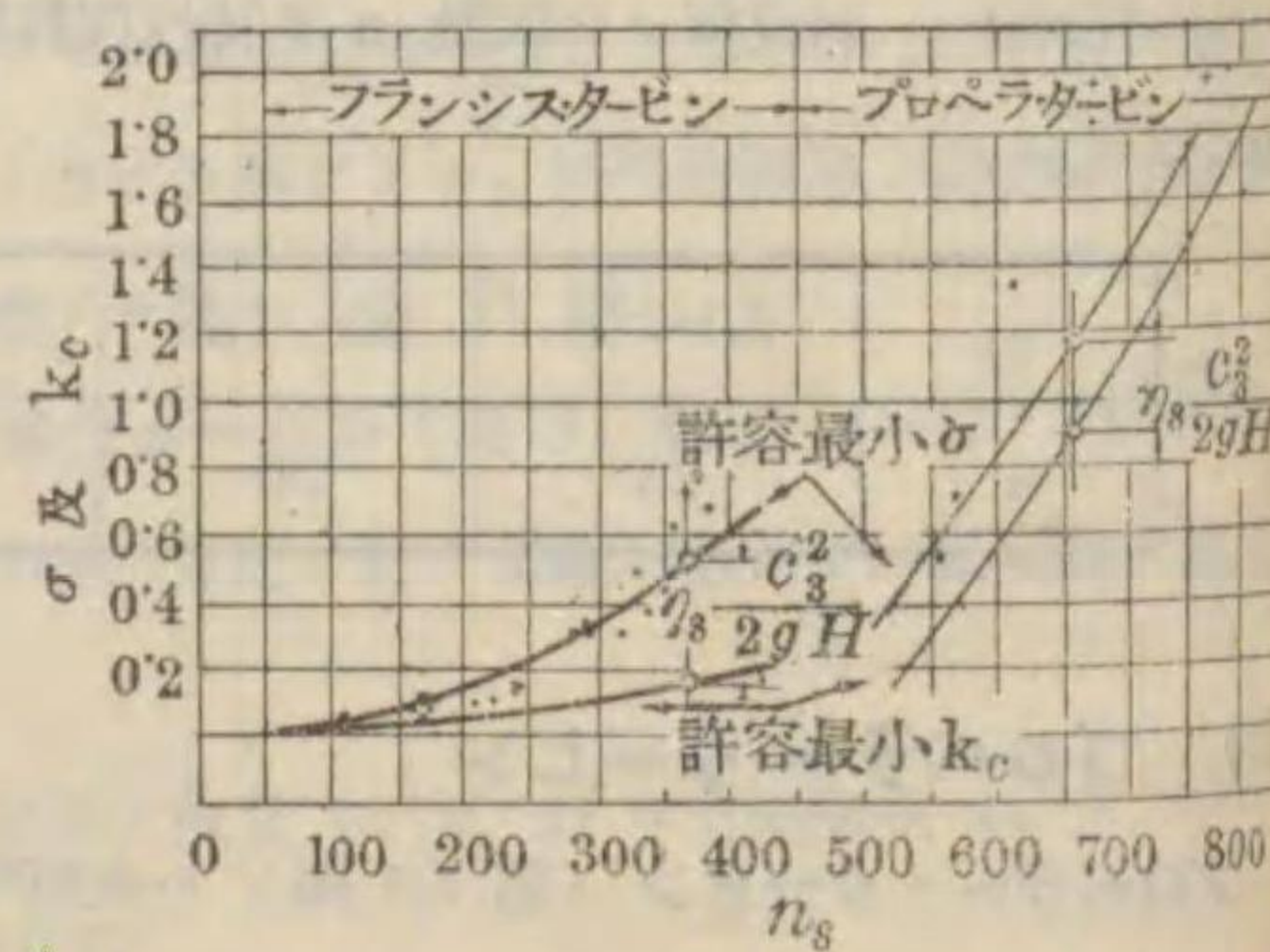


第 55 圖

然シ實際ニ於テハ吸出シ管内ノ水ノ速度ノ不同ニ起因スル渦流, 水中ニ含マル、空氣ノ分離及之ニ原因スル羽根ノ腐蝕等ノ爲以上ノ値ヨリ小ニスルコトヲ要スル。

今管ノ出口ノ速度ヲ c_4 m/s トスレバ $(c_3^2 - c_4^2)/2g$ ハ吸出シ管ヲ圓錐形トナシタル爲ニ利益スル水頭デアルガ摩擦其他ニ因ル損失ガアル。結局 $\eta_s c_3^2/2g$ ガ有効ニ恢復セラル、モノトスル。今

$$\sigma = \frac{H_a - H_s}{H}$$



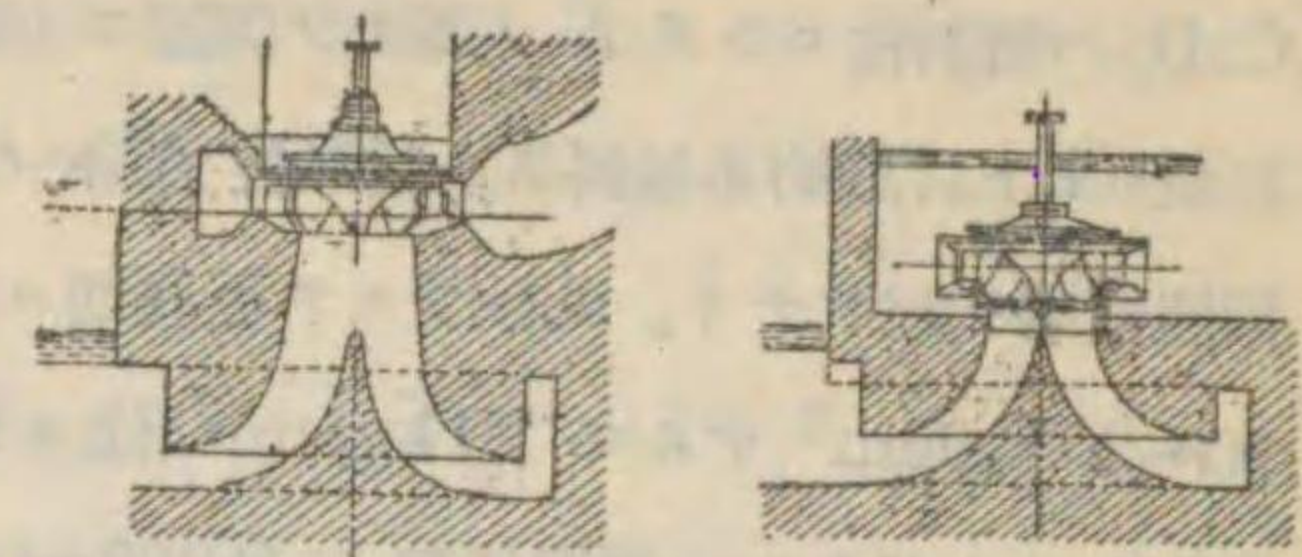
第 56 圖

$$k_c = \frac{H_a - H_s - \eta_s c_3^2/2g}{H}$$

トスレバ空氣ノ分離ヲ防グ爲ニハ σ 及 k_c ガ或極限ヨリ大デナケレバナラス。Rogers 及 Moody ノ與エク σ 及 k_c ノ最小値ハ第 56 圖ニ示ス如シ。但シ η_s ノ値ハ大體次

ノ如キモノト考エテアル。横軸タービンノ 90° 曲レル吸出シ管ニ對シテハ 40%, 豎軸タービンノ下端ヲ 90° 曲ゲタル吸出シ管ニ對シテハ 60%, 又豎軸タービンノ圓錐形ニ廣ガレル垂直ナル吸出シ管ニ對シテハ 80%。

吸出シ管ノ出口ニ於ケル水速 c_4 ハ大體 1~2 m/s. 圓錐形吸出シ管ニ於ケル圓錐頂角ハ 6°~10°. 第 57 圖ハハイドロ・コーンヲ備エタル吸出シ管ヲ示ス。



第 57 圖

22. 渦卷室

落差 15 m 位迄ノ低壓水車ハコンクリートノ水槽中ニ, 又落差 50 m 位迄ノ水車ハ鋼板製圓筒中ニ收メラル、事ガ多イガ, 其以上ノ落差ノ場合ハ案内羽根ノ周圍ニ渦卷室ヲ備ウル事ガ多イ。其入口ノ水速ヲ c_e m/s トシ $c_e = k_e \sqrt{2gH}$ ナル關係ニテ表ワシタ場合 k_e ノ値 Pfarr ハ 17~27, Thomann ハ 24~30 トシ猶 $c_e < 5 \sim 6$ m/s ト制限シタ。

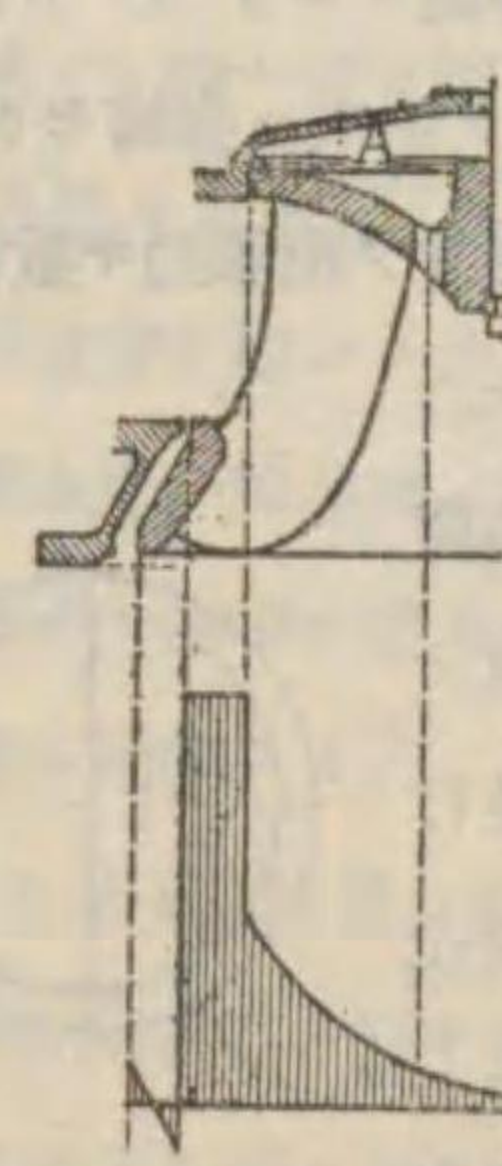
23. 軸推力

羽根車ノ肩板 A ニ働ク軸方向ノ壓力ハ車ノ回轉數, 間隙ノ大小及其形等ニヨリ異ナリ甚ダ計算シ難ク, 大體第 58 圖ノ如キ分布トナル。

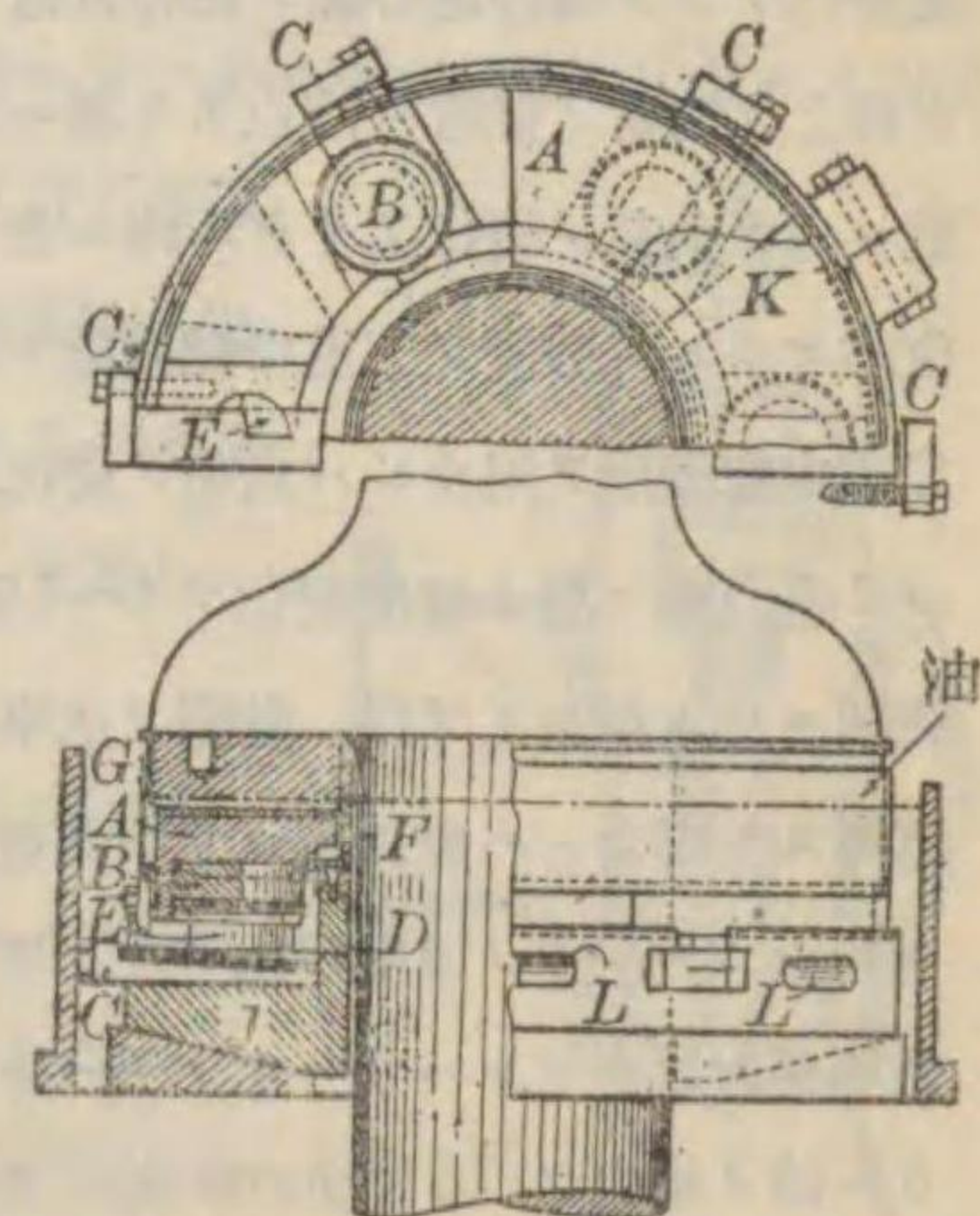
此壓力ニ對スル推力軸受トシテハ次ノ如キモノガアル。

1. Kingsbury 軸受

第 59 圖ノ A ハ扇形板ニシテソノ重心ヲ外レタル適當ナル點ニ於テ B ト C トノ間ノ球面ニテ支エラレル。



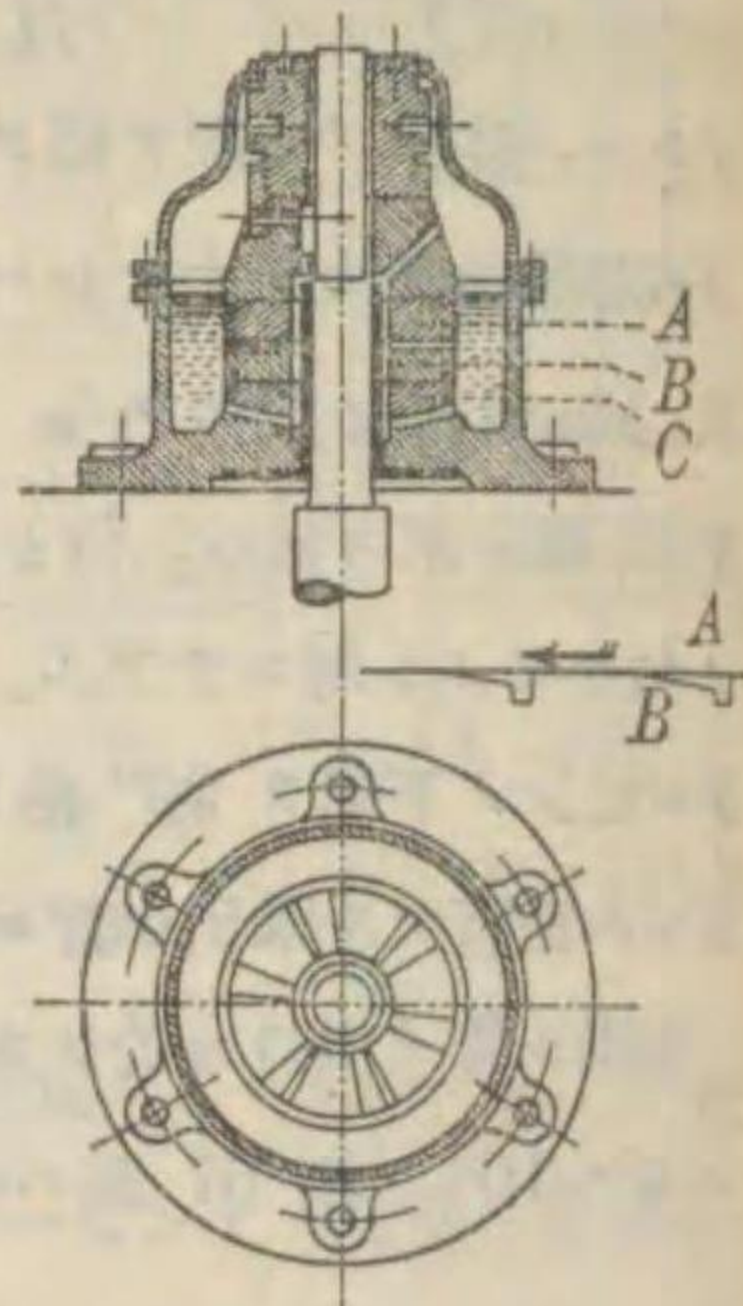
第 58 圖



第 59 圖

C, D ハ傾斜栓ニシテ A ノ高サヲ調節スル爲ニ使用セラレル。運轉中ハ軸ト共ニ回轉スル圓板 G ト自動的ニ傾斜スル扇形板 A トノ間ニ油膜ヲ生ジ固體接觸ヲ起サナイ。此軸受ニテ受壓面ニ許シ得ル壓力ハ 10~20 kg/cm² ナルモ 70 kg/cm² 位ニテモ差支ナク運轉スルモノガアル。摩擦係數ハ 0.002~0.006, 時トシテ 0.001 以下ナルコトモアル。

2. 環狀軸受 第 60 圖ノ A ハ圓板(材料鑄鐵)ノ摺動面ニシテ軸ト共ニ回轉スル。B ハ靜止セル受壓面(材料硬キ鑄鐵)ニシテ回轉ノ方向ニヨリ異ナル傾キヲナス放射線狀ノ油道ニヨリ區分セラレ、各扇形面ノ油ヲ吸込ム方ノ半分ヲ極メテ緩ナル傾斜面トナス。C ハ球面ニテ座ニ乘リ B ヲ支エ A ト B トノ接觸ヲヨクスル。

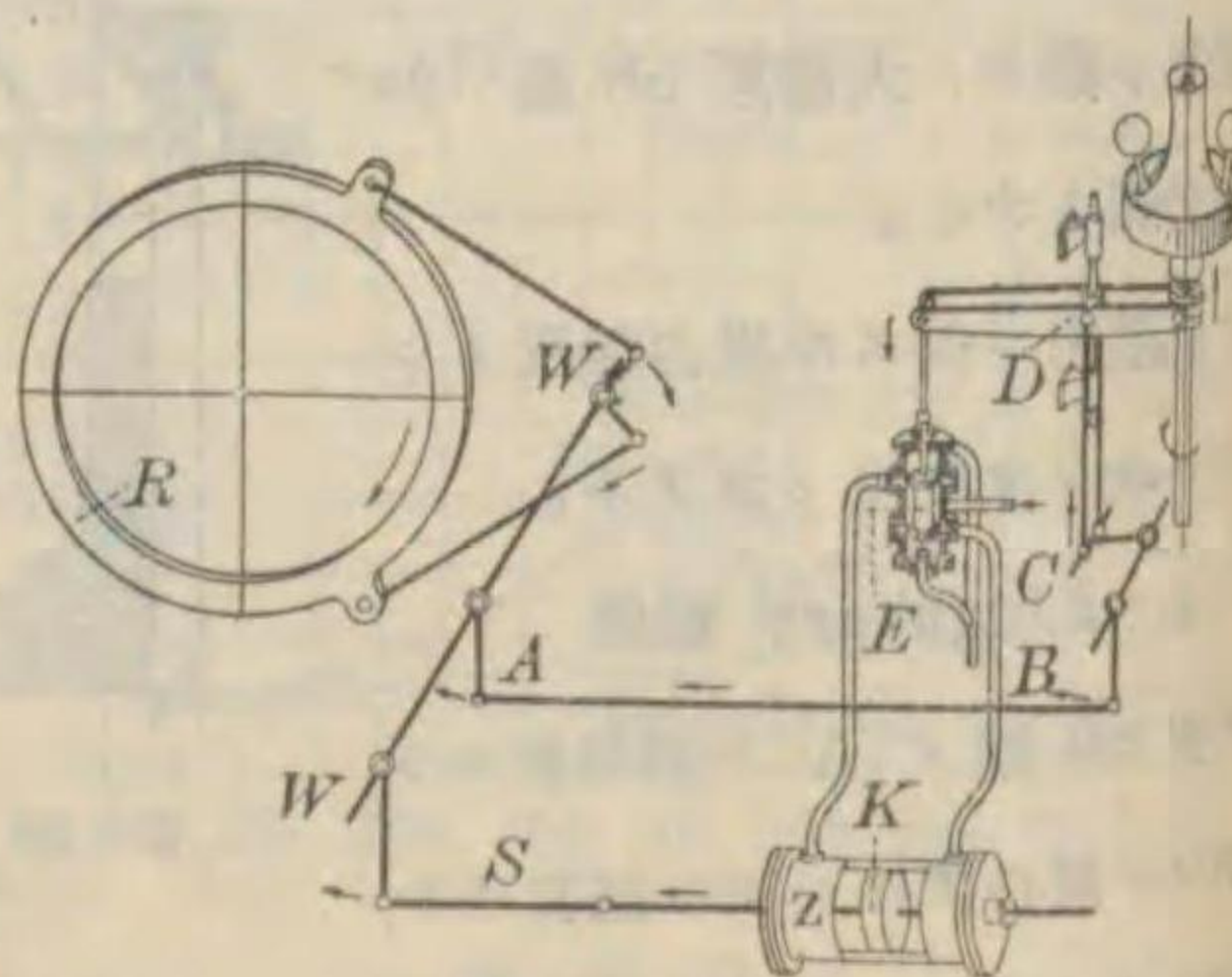


第 60 圖

24. 速度ノ調整

水車ノ回轉速度ヲ一定ニ保ツ爲ニハ負荷ノ變化ニ應ジテペルトン水車ノノズルノ針又ハフランシス・タービンノ案内羽根ヲ動かス。第 61 圖ハフランシス・タービンノ調速裝置ヲ示ス。圖中 R ハ案内羽根ニ連結セラレタル輪、Z ハサーボ・モートル、K ハ Z 内ニアルピストンニシテ油壓ニヨリ働ク。E ハ Z ニ對スル分配弁、ABCD ハ中繼機構、即チ速度變化アツク場合速心錘ノ釣合位置ノ移動ニヨリ E ガ動キ高壓油ヲ送ル爲 K ガ動キタル時之ヲ適當ノ位置ニ停止スル様ニ E ヲ中央ニ復歸セシムル裝置デアル。D ノ運動ヲ二重ニシテ負荷ノ變化アリタル時ニ急ニ相當ノ距離動キ數秒ノ後ニ舊位置又ハ之ニ近キ所ニ復歸セシムル裝置ヲ二重中繼機構ト云ウ。

二重中繼機構ヲ用ウレバ負荷ノ變化無負荷ヨリ全負荷ニ對シ速度變化ヲ 0~1% 位ノ範圍ニ止ムルコトヲ得。數臺ノ水車ヲ並行運轉スル場合ニハ無負荷ヨリ全負荷ノ變化ニ對シ 2~5% ノ速度變化アルヲ要スル。齒車ポンプニヨレバサーボ・モートルニ用ウル油ノ壓力ヲ 15 kg/cm² 位トナスコトガ出來ル。



第 61 圖

調速機サーボ・モートルノ容量ヲ P kg-m, ピストンノ行程ヲ L m, ソノ面積ヲ A cm², 油壓ヲ p kg/cm², 案内羽根又ハノズルノ針ニ働ク不平衡水壓ニ打勝ツ爲ニピストンガ必要トスル最大力ヲ F kg トスレバ

$$P = (2 \sim 3) FL = pAL.$$

又水車ノ定格馬力ヲ N, 有効落差ヲ H m, 水車ノ種類ニヨル係數ヲ K トスレバ容量 P ハ次ノ實驗式ノ如キ關係ヲ有スル。

$$P = KN/\sqrt{H}$$

K ノ値ハフランシス・タービンニ對シテハ 280~300, ペルトン水車ニ對シテハ 200~230.

25. ハズミ車ノ大サ

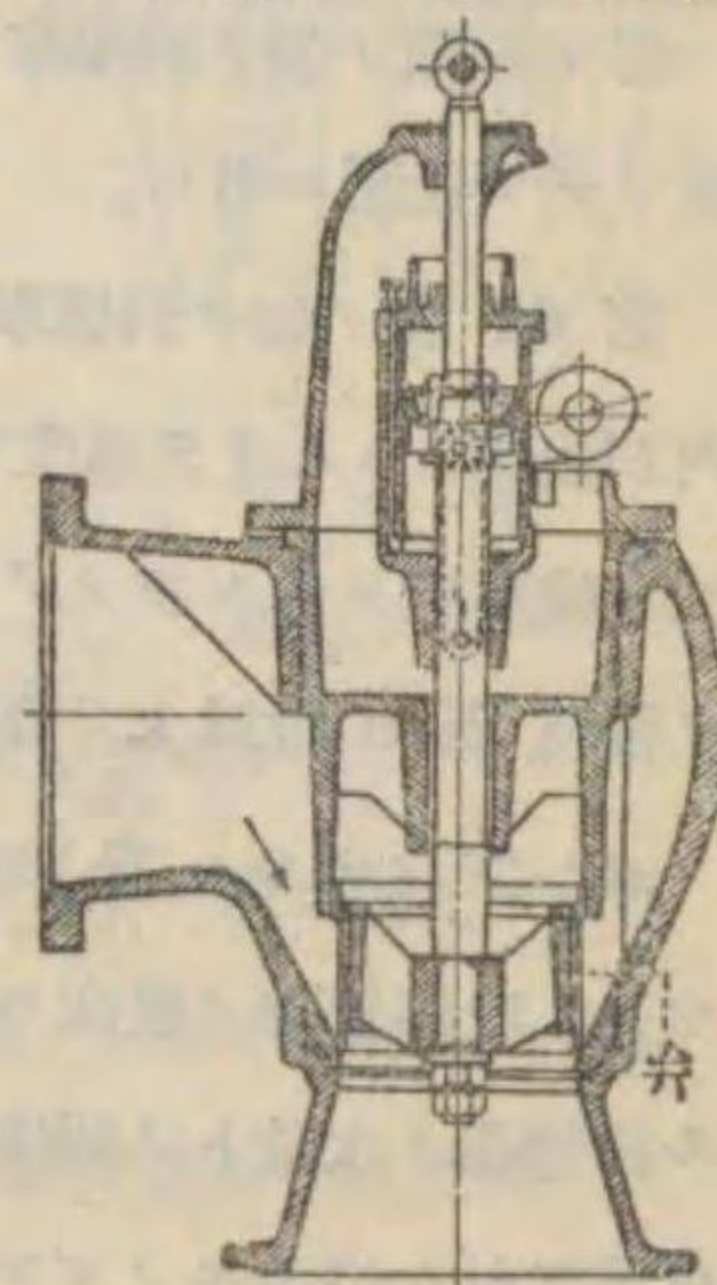
t_d = 調速機ノ死時間 s, t_c = 或負荷 N₁ 馬力ヨリ他ノ負荷 N₂ 馬力ニ移ル場合ニ調速機ガ働ク時間 s, W = ハズミ車ノ重量 kg, R = ハズミ車ノ回轉半徑 m, n = 毎分回轉數, δ = 回轉數ノ瞬間變化率 % トスレバ

$$WR^2 = 10^5 \times 67(N_1 - N_2) \frac{2t_d + t_c}{2n^2\delta}$$

死時間 t_d ハ精巧ナル調速機ニテハ 1/10~1/5 s, 普通ノ調速機ニテハ 1/2 s 程度, 作働時間 t_c ハ無負荷ヨリ全負荷マデノ變化ニ對シ導水管ノ長及水速ニヨリ 2~5 s ノ間ヲ適當ニ定メル。變化率 δ ハ全負荷ヨリ急ニ無負荷トスル時ニ 15% 以下。

負荷ノ急減ニ對シ急ニ水量ヲ減ズル時ハ長キ導水管ニテハ大ナル水槌作用ヲ起ス(水槌作用ニ就テハ第 7 篇第 1 章第 13 節ヲ見ヨ)。コレヲ防グ爲導水管ガ水車ニ接続セラル、所ニ分岐管ヲ設ケテ之ニ調速機ヲ備エル。第 62 圖ハ其一例ニシテ排水弁ハ調速機ノ働キガ或限度ヲ超エテ急ナル時ハ調速機ガ働クト同時ニ開カル、モ其上ニアル油ノハジキ壺ノ働キニヨリ靜ニ閉塞スル。

ペルトン水車ニ於テハノズルノ先ニ噴射反シ板(第 44 圖 D)ヲ備エ、負荷ノ減ジタル後數秒間調速機ノ働キニヨリコレヲ作用セシメ、水流ヲバケットニ當テザル様ニスルコトガアル、其間ニ針ハ徐々ニノズルノ開キヲ減ジ導水管中ノ壓力上昇ヲ緩和スル。



第 62 圖

第3章 渦巻ポンプ

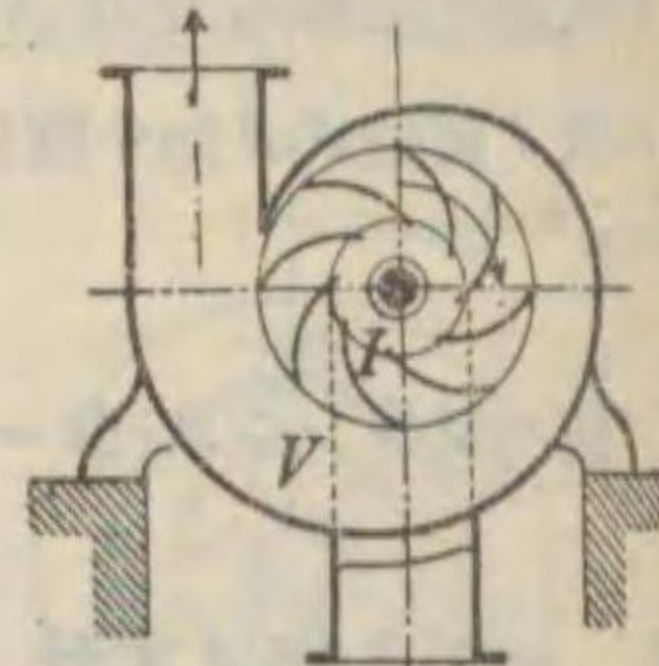
26 水頭及馬力

1. 水頭 吸水面ヨリ揚水面マデノ垂直距離ハ揚水作用ノ實揚程デアルガ、ポンプハ此水頭ノ外吸込ミ管及吐出管内ノ摩擦抵抗ニ打勝チテ送水スルヲ要スル。ポンプノ吸込ミ口及吐出口ニ取付ケタル壓力計ニヨリテ夫々壓力ヲ測リ、吸込ミ口ニ於ケル壓力水頭ヲ大気壓以下 h_s m、吐出口ニ於ケル壓力水頭ヲ大気壓以上 h_d m、兩口ノ壓力計ヲ取付ケタル場所ノ垂直距離ヲ z m、又兩口ニ於ケル水ノ速度水頭ヲ夫々 $v_s^2/2g$ 、 $v_d^2/2g$ トスレバポンプノ壓力計水頭 H m ハ

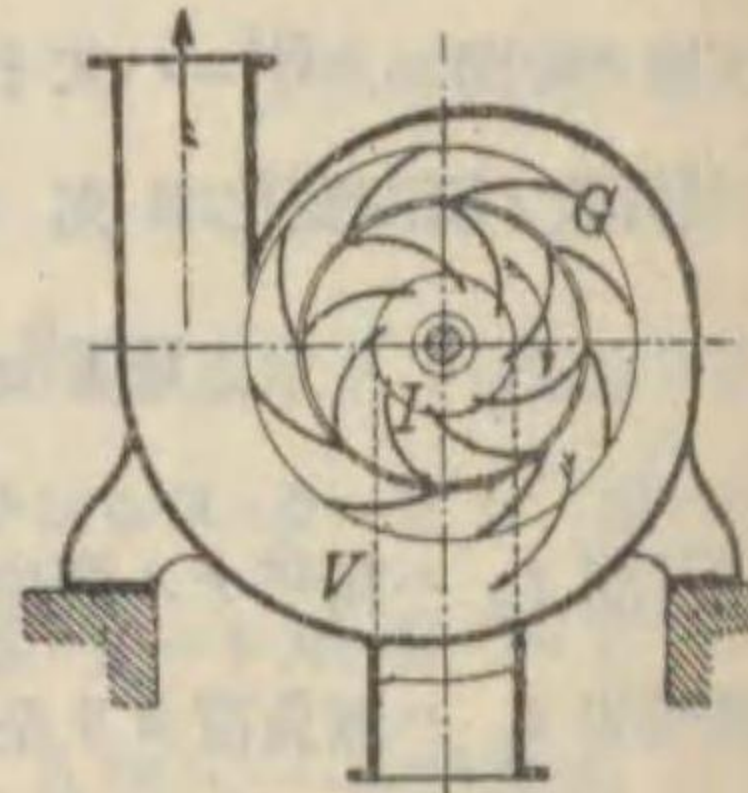
$$H = h_d + h_s + z + \frac{v_d^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g}$$

2. 馬力 H = 壓力計水頭 m、 Q = 吐水量 m^3/s 、 N_w = 水馬力、 N = 軸馬力、 η = ポンプ効率トスレバ

$$N_w = \frac{\gamma QH}{75} \quad N = \frac{1}{\eta} N_w$$



第 63 圖



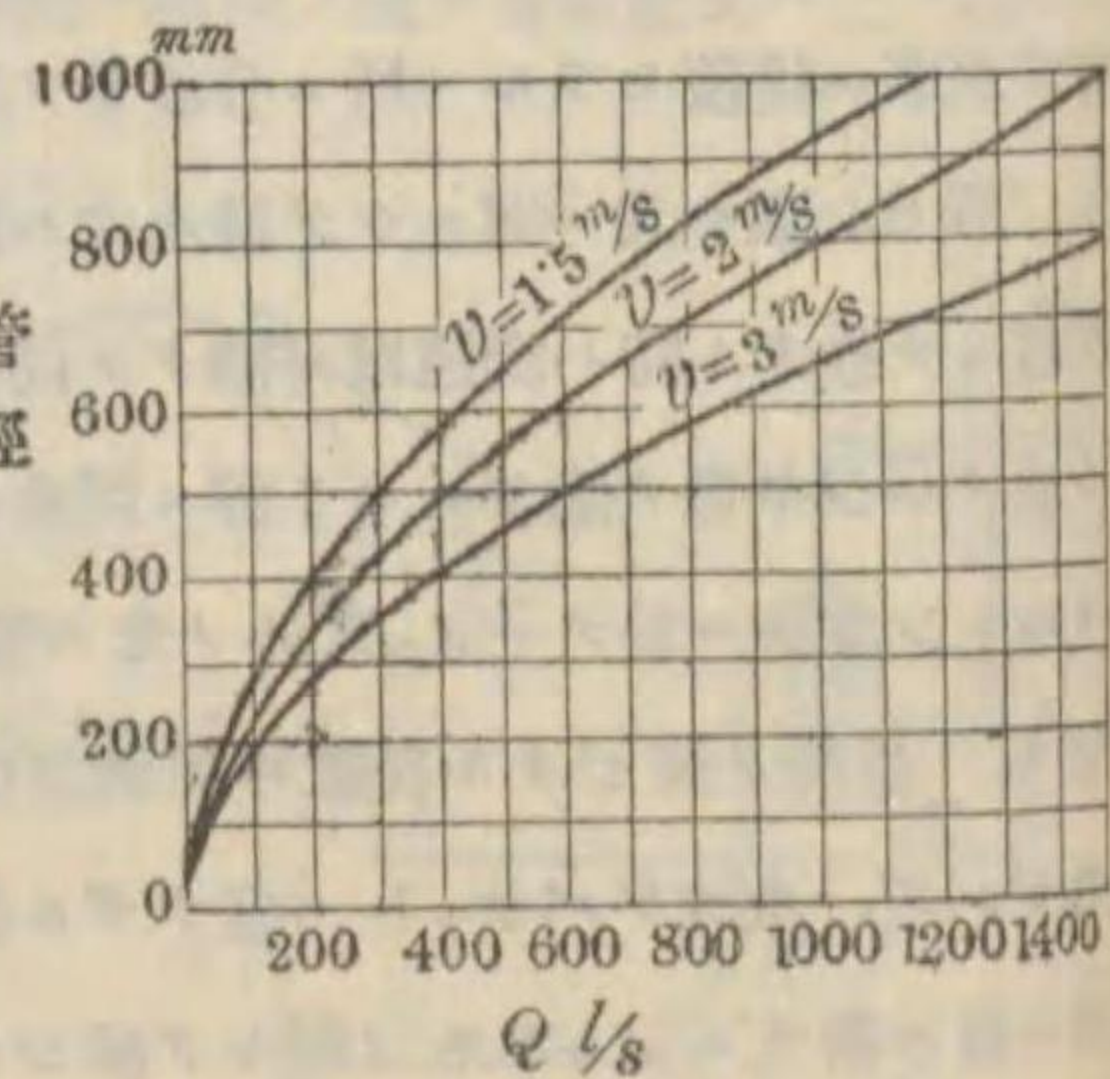
第 64 圖

27 渦巻ポンプノ種類及大サ

第 63 圖ノ如ク羽根車 I ノ外ニ直ニ渦形室 V アルモノヲ渦巻ポンプト云イ揚程 30m 位マデノ低壓ニ用ウ。

第 64 圖ノ如ク羽根車 I ヨリ出タル水ガ案内羽根 G 入リテ速度ヲ緩メテヨリ渦形室 V 又ハ輪形室ニ入ルモノヲタービン・ポンプト云イ揚程 20m 位以上ノ高壓ニ用ウ。

ポンプノ大サハ屢々吐出管ノ直徑ヲ以テ表ワス。吐出管内ノ速度ハ普通 1.5~3.0m/s ナル故管徑ト水量トノ關係ハ第 65 圖ニヨリ大凡見當ヲ付ケ得ルモノデアル。



第 65 圖

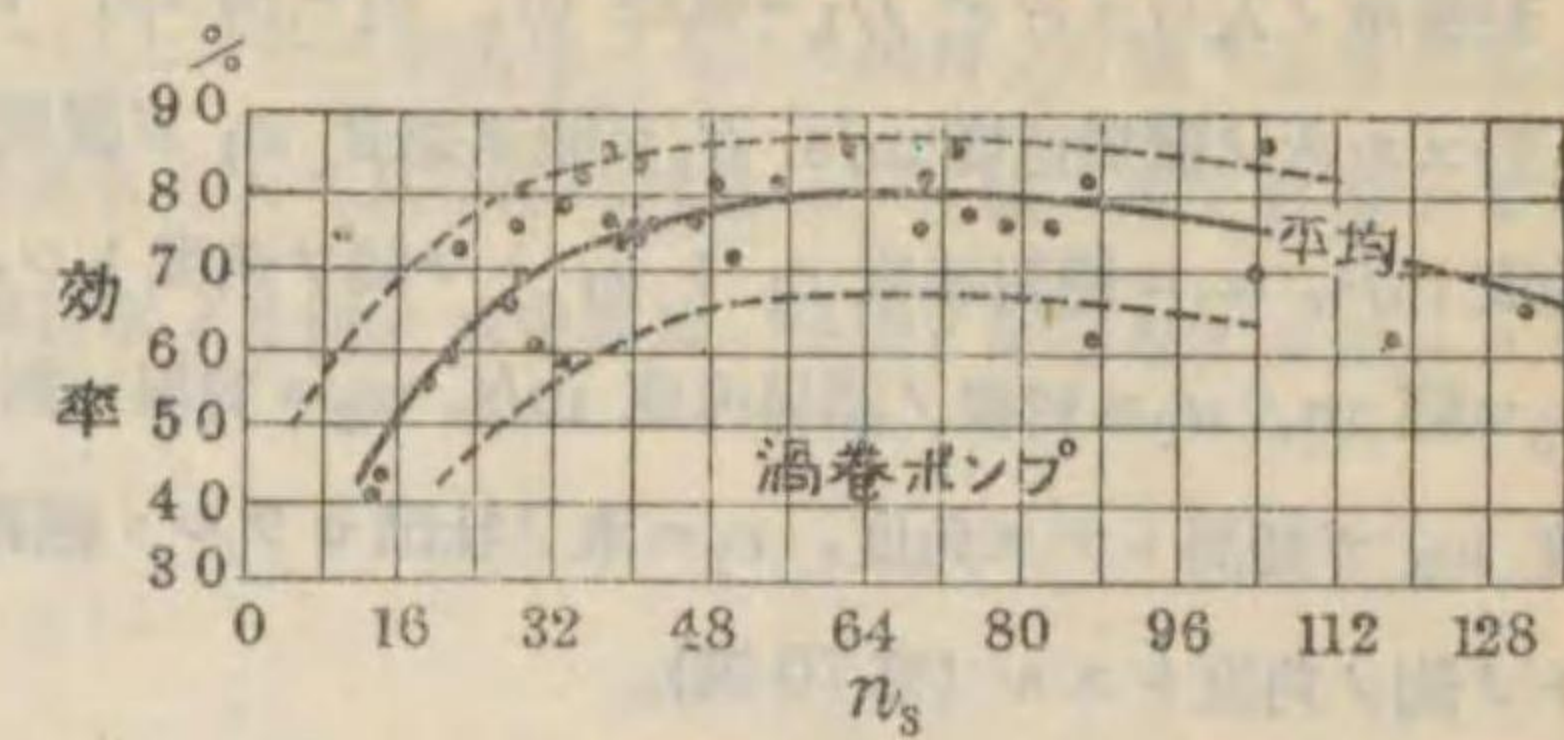
28. 特性回轉數

渦巻ポンプノ特性回轉數トハ普通一ツノポンプヲ相似形ニ大サヲ變更シテ 1m ノ水頭ニ對シテ 1 m^3/s ヲ揚水スル様ニナシタル時ノ一分間ノ回轉數ヲ云ウ。ポンプノ吐水量 (數個ノ羽根車アル時ハ一個ニ對スルモノ、兩口吸込ミノモノナル時ハ片口ニ對スルモノ) ヲ Q m^3/s 、壓力計水頭 (數段ノ羽根車アル時ハ一個ニ對スルモノ) ヲ H m、毎分回轉數ヲ n 、特性回轉數ヲ n_s トスレバ

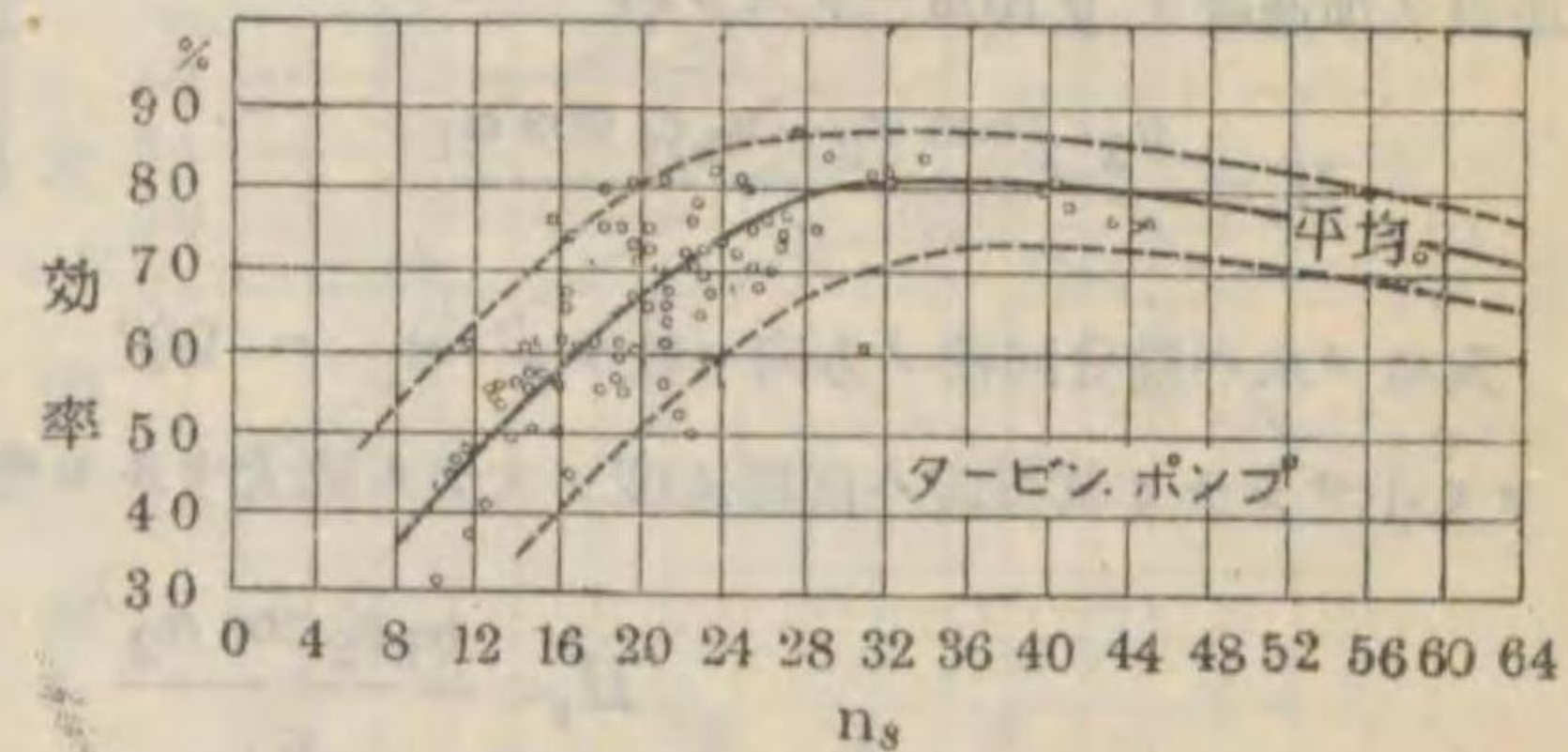
$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

特性回轉數ハポンプノ特性ヲ表ワス重要ナル値デアル。ポンプノ大サ、設計ノ巧拙、製作ノ精粗等ニヨツテ効率ニ良否ハアルガ n_s ノ値ニヨツテ大體最高効率ガ定マルモノデアル。第 66 圖及第 67 圖ハ

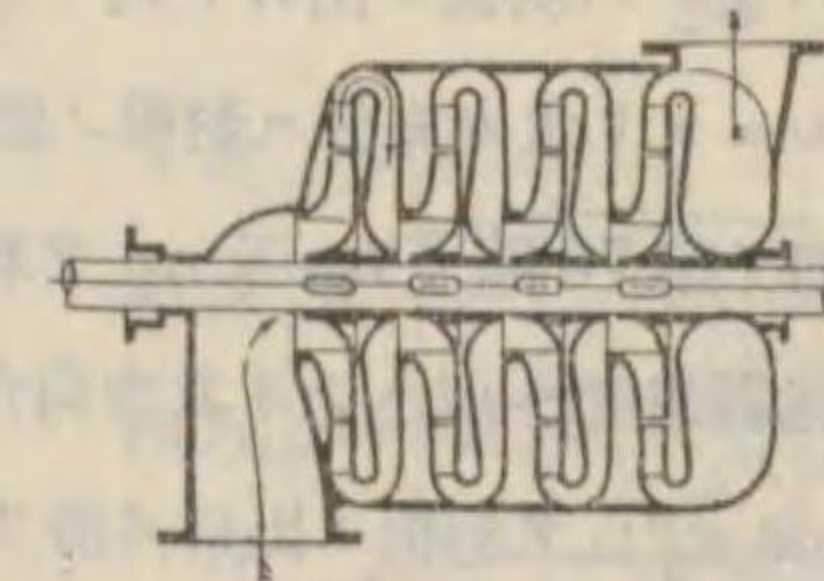
渦巻ポンプトタービンポンプトニ於ケル特性回轉數 n_s ト効率ノ關係ヲ示ス。圖ニヨリテ知ラル、如ク高効率ヲ得ル爲ニハ n_s ノ適當ナル値ニシナケレバナラヌカラコノ見地ヨリ羽根車ノ形及數ヲ撰定スル。高壓ポンプニアリテハ n_s ノ値小ニ失セザル様ニ段數ヲ増シテ第 68 圖ノ如キ配列トナシ各段ノ n_s ノ値ヲ適當ニシテ η ノ値ヲ高クスル。低壓ポンプニアリテハ n_s ノ値大ニ過ギザル様ニ羽根車ヲ兩口トシ或ハ斯ナシタルモノヲ數個並列ニ置ク事ガアル (第 69 圖)。羽根車ノ圓周速度ハ砲金製ノモノニテハ 40 m/s 位ヲ限度トスル。



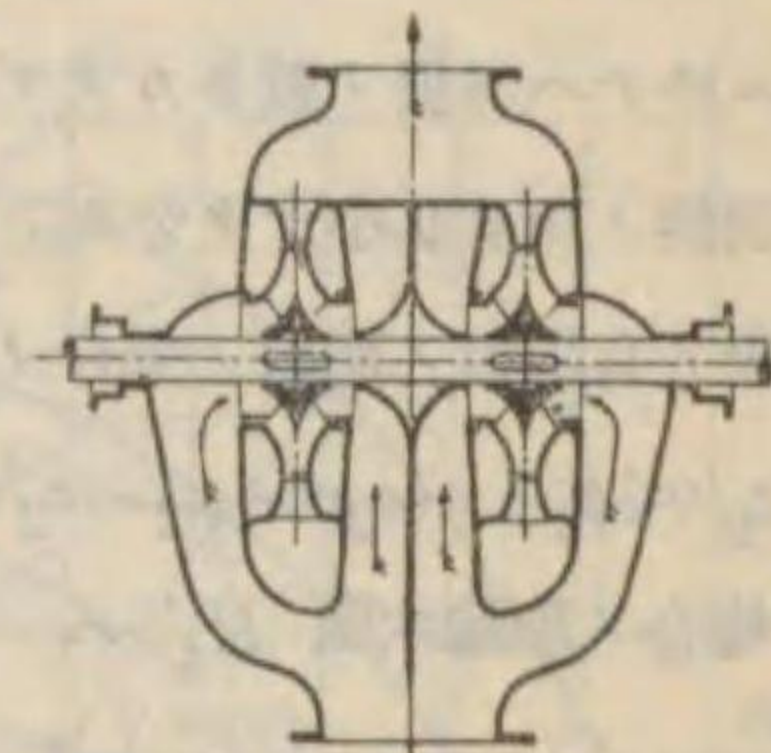
第 66 圖



第 67 圖



第 68 圖



第 69 圖

29. 渦巻ポンプノ理論

羽根車ノ入口ニ於テ D_1 = 直径 m, b_1 = 幅 m, u_1 = 羽根ノ圆周速度 m/s, w_1 = 羽根ニ對スル水ノ關係速度 m/s, β_1 = 關係速度 w_1 ガ圆周トナス角度, c_1 = 水ノ流入スル絶對速度 m/s, α_1 = 絶對速度 c_1 ト u_1 トノ間ノ角度トシ, 羽根車ノ出口ニ於テ D_2 = 直径 m, b_2 = 幅 m, u_2 = 羽根ノ圆周速度 m/s, w_2 = 羽根ニ對スル水ノ關係速度 m/s, β_2 = 關係速度 w_2 ガ圆周トナス角度, c_2 = 水ノ吐出セラル、絶對速度 m/s, α_2 = 絶對速度 c_2 ト u_2 トノ間ノ角度トスル (第70圖)。

羽根車ノ回轉ニヨリ理論上出シ得ル水頭ヲ H_t m,

重力ノ加速度ヲ g m/s² トスレバ

$$H_t = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1}{g}$$

入口ノ水ハ幾分回轉ノ方向ニ捻ラレ $\alpha_1 \approx 90^\circ$

ヨリ小サクナリ其程度ハ回轉速度ノ大ナル程大ナルモ普通 $\alpha_1 = 90^\circ$ ト考ウ。從ツテ

$$H_t = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g}$$

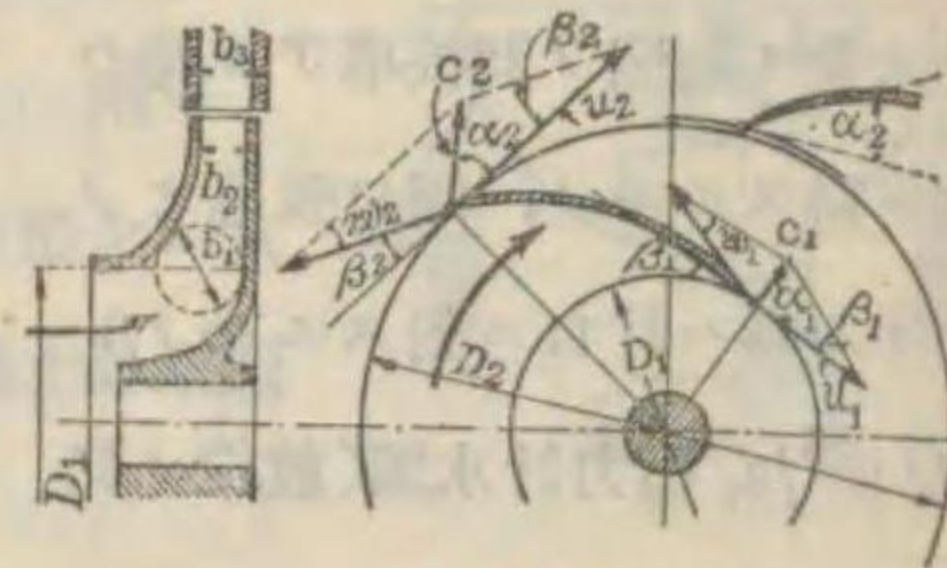
羽根ノ數無限ニ多キ場合ハ β_2 ハ羽根ノ出口ノ角ニ等シクナレドモ實際ニハ羽根ノ出口ニ於テハ羽根ノ數多カラザルニヨリ水ガ充分ニ羽根ノ働キヲ受ケ得ズシテ排出セラレ β_2 ハ羽根ノ角ヨリ小サクナル。即チ第70圖ノ c_2 及 α_2 ヲ羽根ノ數無限ナル時ノ値トスレバ實際ノ有限數ノ羽根ノ場合ノ絶對速度ハ c_2' トナリ其方向角度ハ α_2' トナル。而シテ $\alpha_2' > \alpha_2$, $c_2' < c_2$. ($c_2 \cos \alpha_2 - c_2' \cos \alpha_2'$) ヲ羽根ノ出口ノ滑リ速度ト云ウ。 $\alpha_1 = 90^\circ$ トスレバ此場合ノ理論水頭 H_t' ハ

$$H_t' = \frac{u_2 c_2' \cos \alpha_2'}{g}$$

Pfleiderer = ヨレバ羽根ノ中心線ガ車軸ニ對スル垂直面上ニアル場合ハ

$$\frac{H_t}{H_t'} = 1 + \frac{2k \sin \beta_2}{z} \cdot \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}$$

β_2 ハ羽根ノ出口角度, r_1, r_2 ハ羽根車入口及出口ノ半径, z ハ羽根ノ數, k ハ係數ニシテ其値ハ 2~3.



第70圖

又羽根ノ入口ニ於ケル衝撃, 羽根ノ間ヲ通ル時ノ摩擦, 出口ニ於ケル損失, 案内羽根, 渦形室ニ入りテ後ノ衝撃及摩擦ニヨリテモ餘程水頭ヲ損失スル。 H/H_t ヲ壓力計効率又ハ水力効率ト云ウ。渦巻ポンプニ於テハ以上ノ外ニ羽根車ノ入口及出口ノ間隙ヲ通シテ水ガ洩ルタメノ損失ガアル。ソノ量ハ羽根車ノ大サ及特性回轉數 n_s ノ値ニヨリテ異ナルモ定格吐水量ノ 1~5% デアル。又羽根車ノ外側ノ水中摩擦, 軸受ノ摩擦等ノ多少ニヨリポンプ効率 η ノ値ガ變化スル。

30. 性能

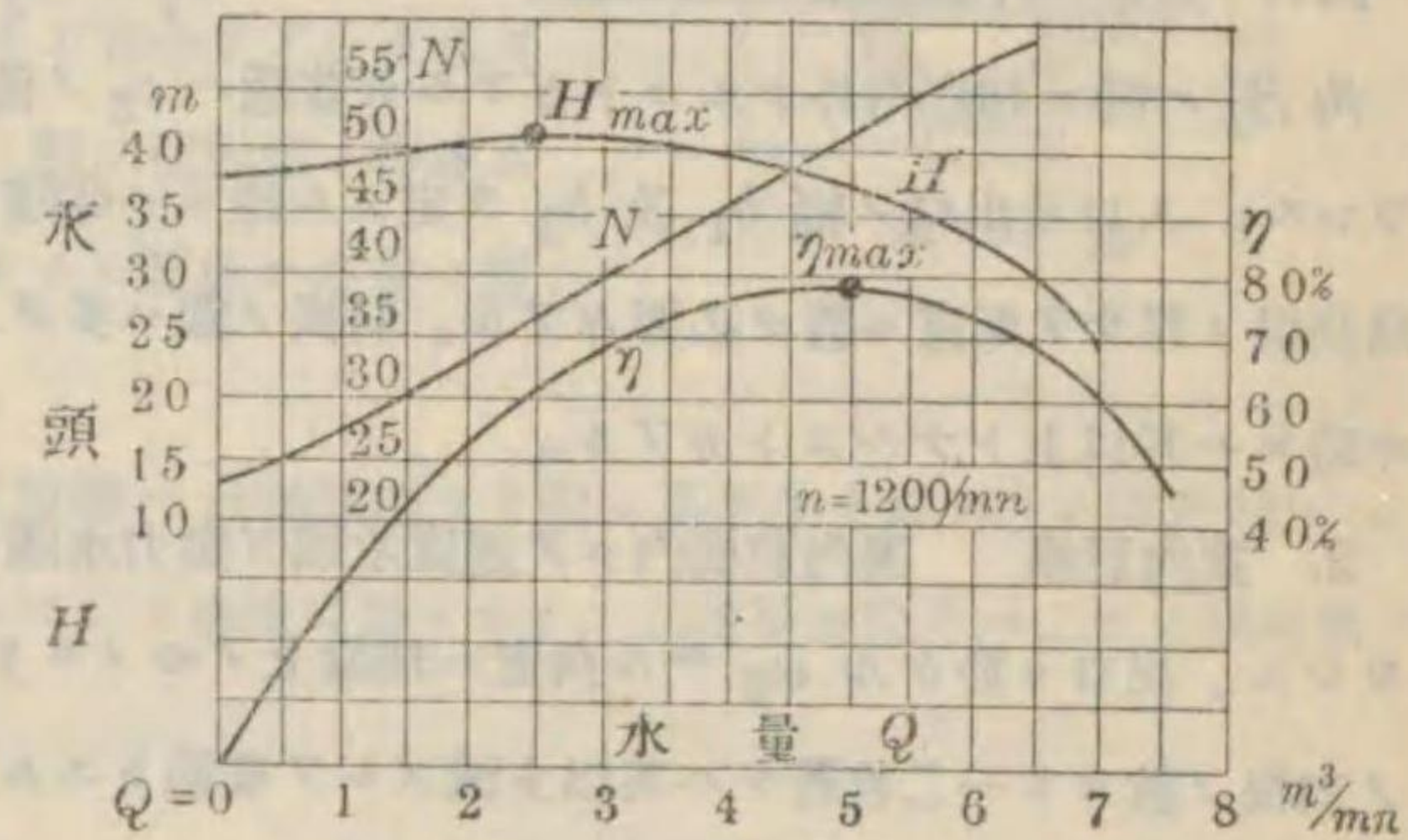
一ツノ渦巻ポンプヲ一定ノ回轉數 n ニテ運轉シ種々ナル水量ニ對シテ壓力計水頭 H , 軸馬力 N 及 効率 η ヲ測定シ之ヲ曲線ニテ表ワセバ第71圖ノ如キモノトナル。之ヲ此ポンプノ性能曲線圖ト云ウ。設計方適當デアレバ所要ノ H 及 Q ノ時 η ガ最高ニナルベキデアル。之ヲ他ノ回轉數 n_1 ニテ運轉スレバ此等ノ値ノ變化ハ大凡次ノ關係ニテ表ワサレル。

$$H_1 = H \cdot (n_1/n)^2$$

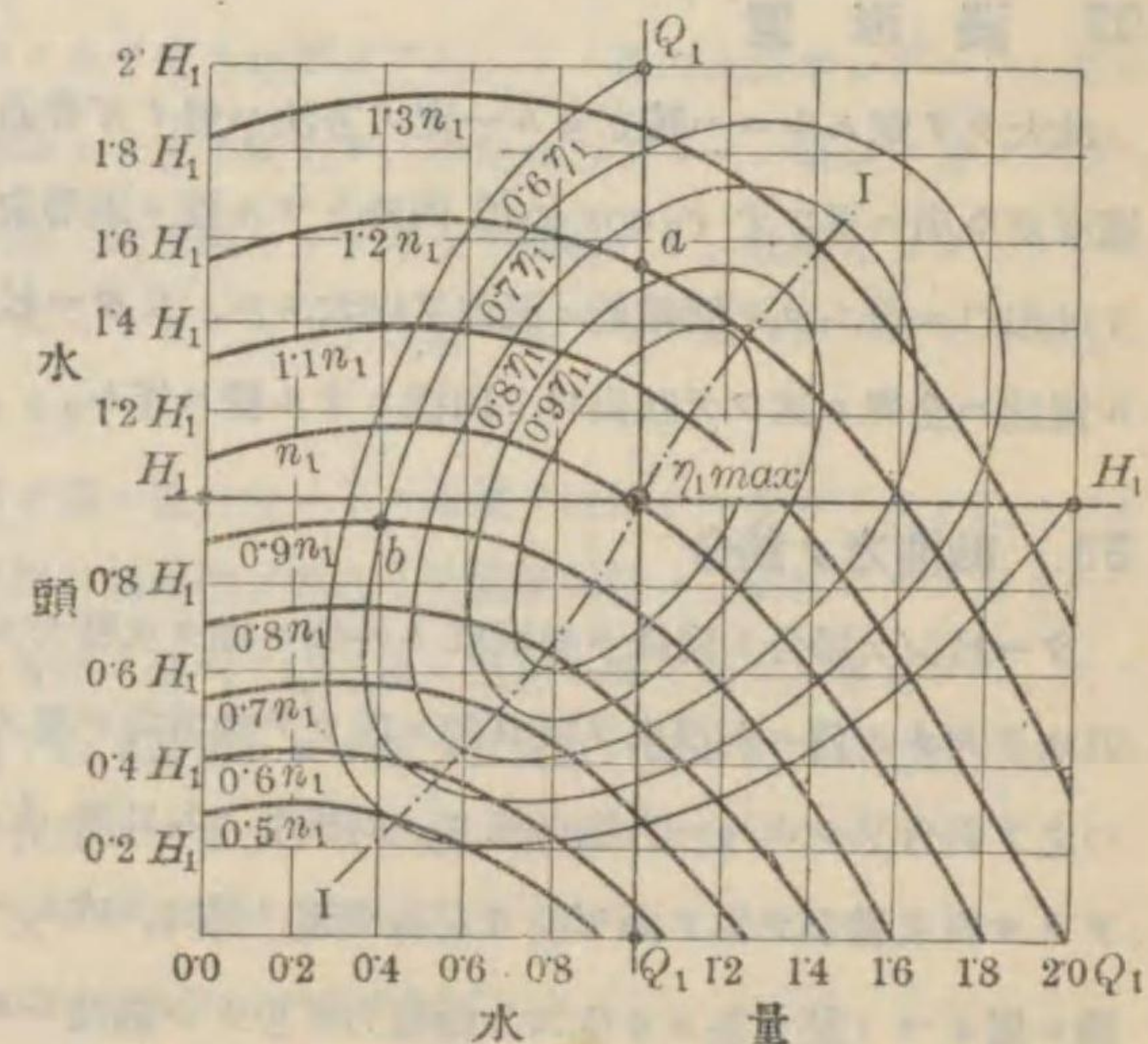
$$Q_1 = Q \cdot (n_1/n)$$

$$N_1 = N \cdot (\eta/\eta_1) \cdot (n_1/n)^3$$

第72圖ハ n_1, H_1, Q_1 ノ時ニ最高效率 η_1 ヲ與ウルポンプヲ之ト異ナル回轉數ニテ試験シタル時ノ關係ヲ示ス。



第71圖



第72圖

實際=ポンプノ大サヲ定ムル計算ニハ $H = k u_2^2 / 2g$ トシ、 k ノ値ニハ其ポンプノ形式ニ對シ實驗上ヨリ得ラレタル適當ナル數ヲ撰ブ。普通 0.85 ヨリ 1.20 ノ間ニアルモ型ニヨリテハ 0.6 位マデ下ル。吐出弁ヲ全ク閉ジテ運轉スル時ノ水頭ハ $(0.9 \sim 1.1) u_2^2 / 2g$ 位トナル。 u_2 ハ羽根車出口ノ圓周速度デアル。

31. 羽根車及案内羽根

1. 羽根車 ポンプノ壓力計水頭ヲ H_m トスレバ

羽根車へ水ノ流入スル絶對速度 $c_1 = (0.1 \sim 0.3) \sqrt{2gH}$ m/s.

出口ニ於ケル半徑線上ノ吐出速度 $c_2 \sin \alpha_2 = (0.05 \sim 0.20) \sqrt{2gH}$ m/s.

角 β_2 ハ稀ニ 90° 内外ナルコトガアルガ普通ハ c_2 ノ値ヲ小ニスル爲ニ $20^\circ \sim 30^\circ$ 位ニセラル。入口及出口ノ幅 b_1 及 b_2 ヲ定ムル時ニハ間隙ヲ通ル戻水ヲ加エタル水量ヲ用イ猶羽根ノ厚サヲ考慮ニ置ク必要ガアル。羽根ノ數ハ多クノ場合 6~8 枚ナルモ n_g ノ値高キ時ニハ其以上トナルコトガアル。

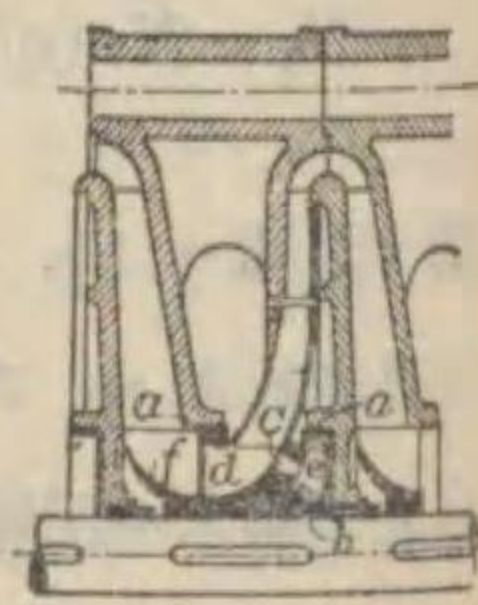
2. 案内羽根 案内羽根内ニテ速度水頭ガ壓力水頭ニ變化スル効率ハ最高 75% ト云ワレル。出口ニ於ケル α_2 ナル角度ハ理論上ノモノヨリ數度大キクシ、羽根ノ數ハ羽根車ノ羽根ノ數ヨリ一二枚若クハ其以上減ズルヲ普通トスル。

32. 渦形室

此大サヲ定ムルニハ確立セル一定ノ方法ハ無イガ普通渦卷ポンプニテハ渦形室内ノ水ノ速度ガ全周ニ亙ツテ $c_2 \cos \alpha_2 / 2$ 内外トナル様ニ渦形室ノ斷面積ヲ増加シテ終ノ斷面ヨリ吐出口ニ至ルマデ圓錐形ニ直徑ヲ増大スル。又タービン・ポンプニテハ渦形室内ニ於ケル流速ハ全周ニ亙ツテ吐出口ト同様ニナル様ニ作ル。

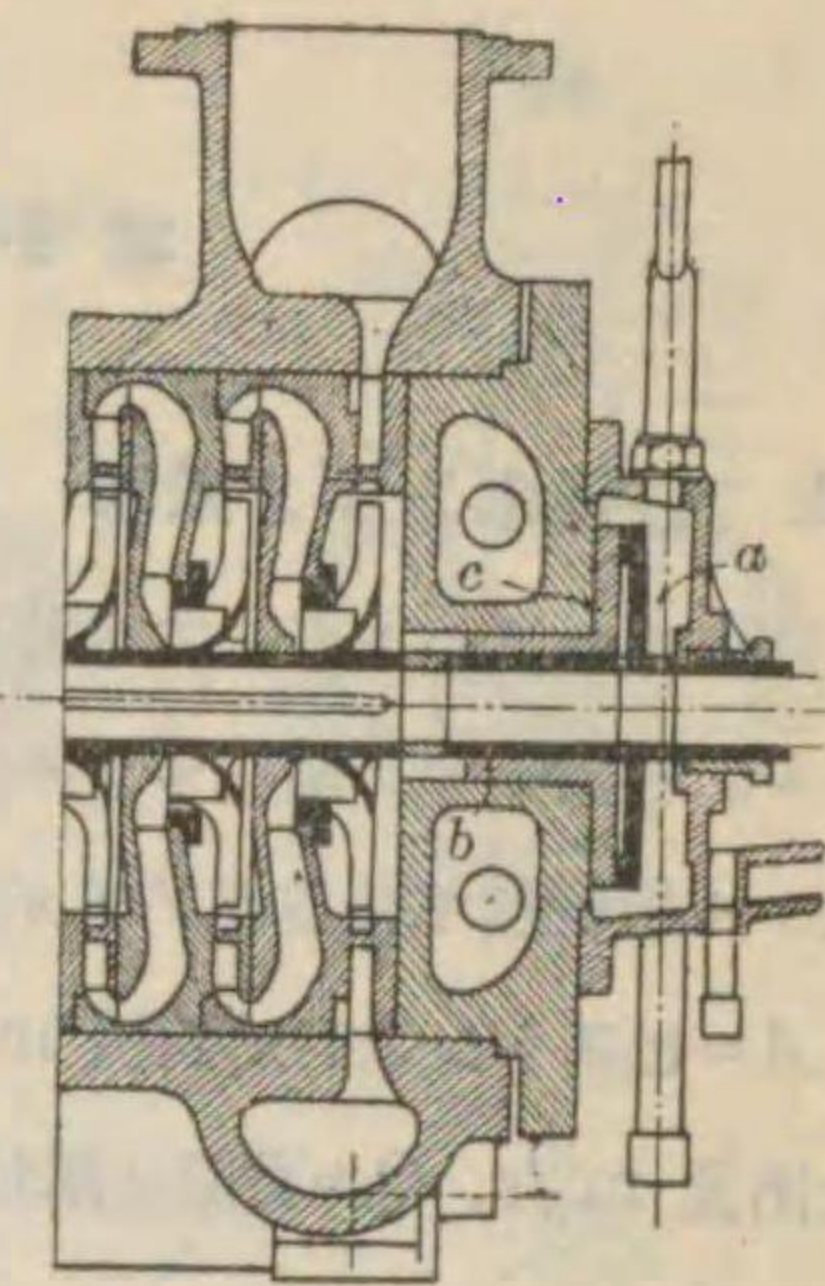
33. 軸推力ノ釣合

タービンノ場合ト同様ニ羽根車ノ外側ニ働ク水壓力ガ吸口側ノ壓力ヨリ大ナル爲ニ羽根車ヲ吸口側ニ向ツテ軸方向ニ推ス。第 73 圖ハ之ヲ釣合ワシムル一方法ヲ示ス。羽根車ノ入口側 d ト背側 e トヲ c ナル孔數個ヲ以テ通ゼシメ左右兩側ノ壓力ヲ成ルベク等シキ状態ニ置キコノ壓力差ヨリ生ズル軸推力ヲ少クシ猶殘レル軸推力ハ鏝型又ハ球入軸受ニテ支エル様ニスル。



第 73 圖

又第 74 圖ノ如ク幾段カノ羽根車ヨリ生ズル軸推力(圖示ノ場合ハ右ヨリ左方ニ推ス)ヲ a ナル平衡板ニヨリ釣合ワシムル方法ガアル。之ハ b c トノ間ヨリ流出スル水ヲ a c トノ間ニ導キテ壓力ト平衡板 a ノ右側ノ大氣壓トノ差ニヨツテ左ヨリ右方ニ推スカヲ生ゼシメ羽根車ニヨル軸推力ニ抵抗セシムルノデアアルガ a c トノ外周ニ於ケル間隙ノ増減ニヨリ a ヲ右方ニ推スカガ自然ニ調節セラレテ常ニ釣合ノ状態ヲ保ツ様ニナル。コノ方法ハソノ働キガ完全デアアルガ水ガ砂ノ如キモノヲ含ム場合ニハ a c 間ノ摺動面ノ磨滅ガ甚シイ缺點ガアル。故ニ摺動面トナル圓板ハ必要ニ應ジ取換エ得ル様ニ作ル。



第 74 圖

ポンプヲ實際ニ使用スル場合ノ故障ハ此軸推力ヨリ起ル事ガ多イカラ之ヲ防グ爲ニ n_g ノ餘リ大ナラザル羽根車ニ於テモコレヲ兩吸口型トナシ、二段型ニ於テハ二ツノ羽根車ヲ態々背合セニ並ベルコトモアル。

34. 吸口弁、水濾及逆止メ弁

ポンプヲ起動スル前ニハ其ノ中ニ水ヲ充ス必要ガアル。ソノ爲ニ大型ポンプニテハ真空ポンプニヨリポンプ内ノ空氣ヲ排除シテ水ヲ吸上ゲ、小型ポンプニテハ吸込ミ管ノ下端ニ吸口弁ヲ設ケテ水ノ逆流ヲ防ギ上部ノ給水漏斗ヨリ呼水ヲ供給スル。低壓ポンプニテハ吸口弁ノ抵抗ガ大ナル水頭損失トナルコトガアルカラ注意ヲ要スル。吸口弁ノ大サハ吸込ミ管ノ徑ト同大ニシ蝶番形ヲ可トスル。

固形物ガポンプ内ニ入ル事ヲ防グ爲ニ吸口弁ノ下ニ水濾ヲ取付ケル事ガアル。之ニヨル水頭損失ガ小ナル爲ニハ水濾ノ通路有効面積ガ吸込ミ管横斷面積ノ三倍位アルヲ要スル。*

高壓ポンプニ於テハ其吐出口ニ管水ノ逆流ヲ防グ爲ニ逆止メ弁ヲ備ウル事ガアル。之ハポンプガ不時ニ停止シタ場合管内ノ水ノ逆流ニヨリポンプ及吸口弁ニ大ナル衝撃ガ與エラレルコトヲ防ギ又吐出管中ノ水ヲ保存シテポンプノ呼水ニ利用スル爲デアル。

ポンプ外殼ノ下部ニハ排水弁ヲ設ケテ必要ニ應ジポンプ内ノ水ヲ排出シ得ル様ニスル。凍結ノ虞ガアル場合ニハ使用時以外ハ排水シテ置クヲ可トスル。

* 遠藤政直「九州大學水力實驗室ニ於ケル一ニノ實驗」機械學會誌第 18 卷第 40 號

第4章 往復ポンプ及齒車ポンプ

35. 往復ポンプノ効率

往復ポンプハ主トシテ水量小ニシテ壓力割合ニ高キ場合又ハ粘性大ナル液體等ニ用イラレル。吐出壓力ヲ變化セシムル場合ニモ又速度ヲ變化シテ水量ヲ調節スル場合ニモ効率ニ大ナル影響無キ利益ガアルガ渦巻ポンプニ比較シテ形態、重量共ニ大キクナル。

A = ピストンノ有効面積 m^2 , l = 行程 m , n = 毎分有効行程數, Q_t = 理論上單位時間ノ吐出量 m^3/s , Q = 實際ノ單位時間吐出量 m^3/s トスレバ

$$Q_t = \frac{A l n}{60}, \quad Q = \eta_v Q_t$$

η_v ハ體積効率ニシテ大型ノポンプニテ $0.97 \sim 0.99$, 中型ノモノニテハ $0.90 \sim 0.95$, 小型ノモノニテハ $0.85 \sim 0.90$ ノ値ヲ有スル。

H = 吸水面ヨリ揚水面マデノ高 m , H_f = 吸込ミ管及吐出管中ニ於ケル全摩擦水頭 m , N = ポンプニ與エラル、軸馬力, γ = 液體ノ單位體積ノ重量 kg/m^3 , η_u = 水力効率, η_i = 圖示効率, η_m = 機械効率, η = 總効率トスレバ

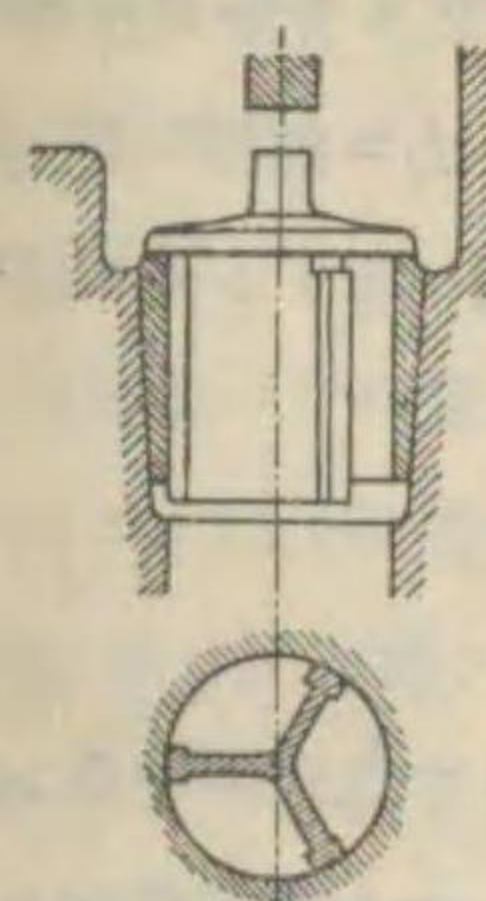
$$\eta_h = \frac{H}{H + H_f}, \quad \eta_i = \frac{QH}{Q_t(H + H_f)}, \quad \eta_m = \frac{\gamma Q(H + H_f)}{75 N}, \quad \eta = \frac{\gamma QH}{75 N}$$

渦巻ポンプノ場合トハ少シク意味ヲ異ニスル。 η ノ値ハ蒸気汽筒ニヨリ直接ポンプヲ動かス場合、電動機ニヨリ調車又ハ齒車ヲ經テ運轉スル場合等又大サ等ニヨリ差異ガアルガ $0.70 \sim 0.95$ デアル。

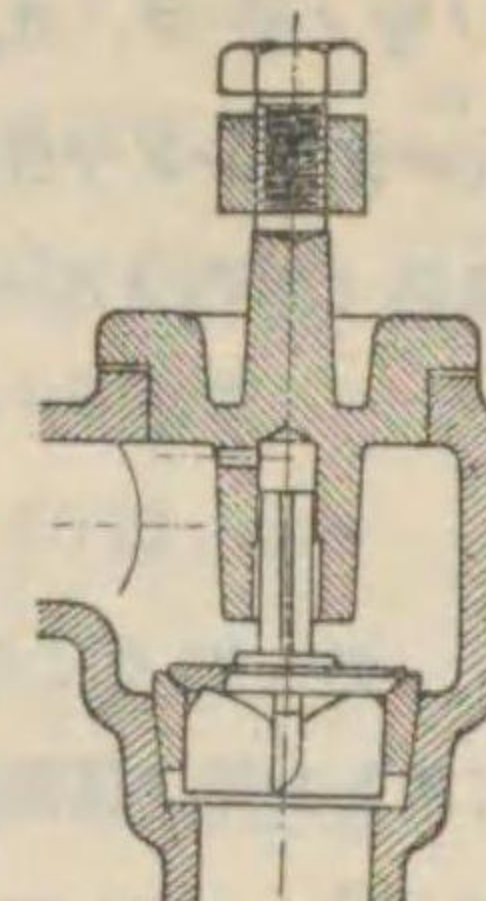
36. 弁ノ構造及水ノ速度

クランクニヨリポンプヲ動かス時ノクランク軸ノ回轉數又ハ蒸気ニヨリ直接往復運動ヲナス場合ノ往復運動ノ數ハ弁ノ動作ニヨリ大凡制限セラレル。

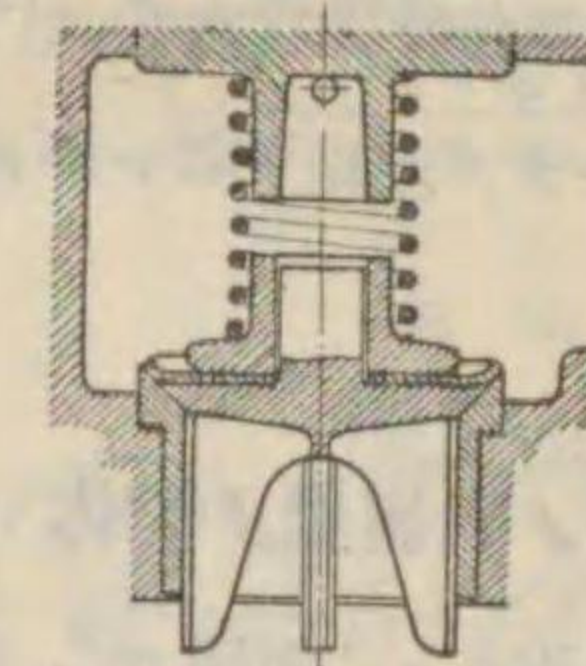
普通ノ皿形弁(第75圖), 又ハ圓錐弁(第76圖)ノ如キヲ用ウレバ毎分回轉數ハ60以下タルヲ要スル。然レドモバネヲ用イテ(第77圖)弁ノ閉塞時間ヲ短縮シ又ハ弁ノ上リヲ短縮シテモ割合ニ大ナル通路ヲ與ウル如キ構造(第78圖)トスレバ回轉數ヲ毎分250位マデ増スコトヲ得。



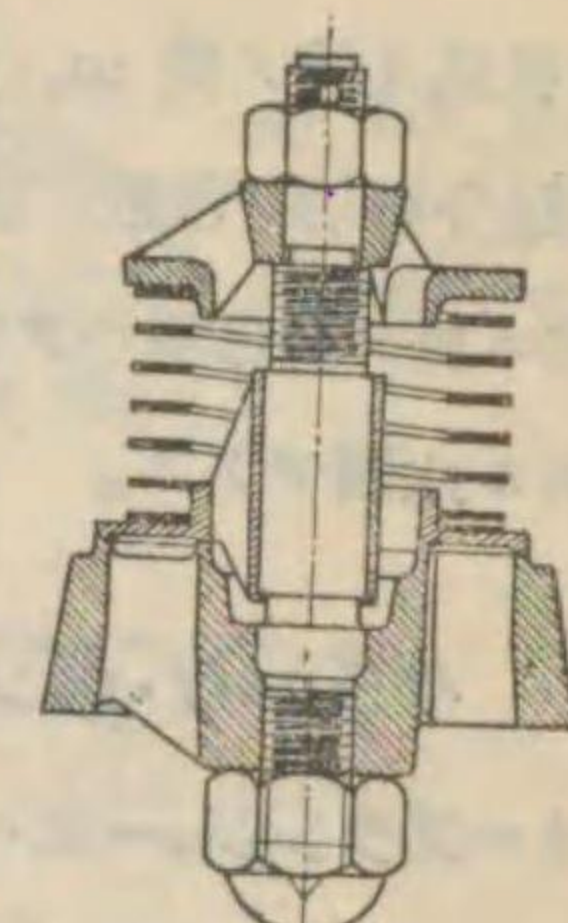
第75圖



第76圖



第77圖

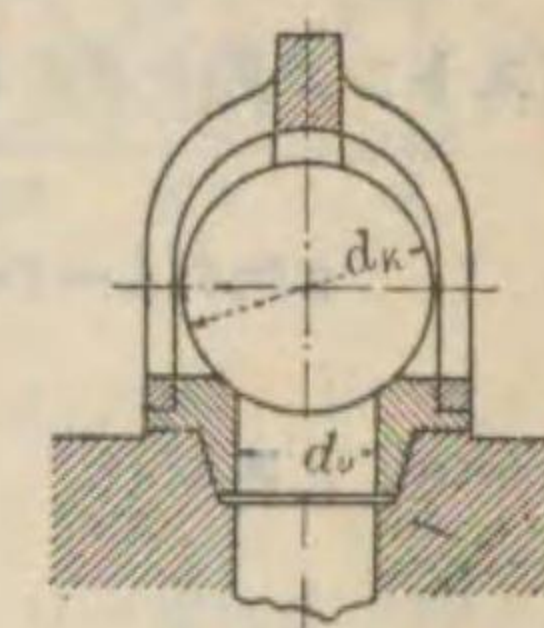


第78圖

吸込ミ弁ヲ通ル水ノ速度ハ $1 m/s$ 内外, 吐出弁ヲ通ル水ノ速度ハ $2 \sim 2.5 m/s$ 位。弁ノ上リハ直徑ノ $1/4 \sim 1/10$.*

油ノ如キ粘性大ナル液體ニハ球狀弁(第79圖)ヲ使用スル。球ノ直徑 $d_k = (1.5 \sim 1.6)d_w$

吸込ミ管中ノ水ノ速度ハ管短ク徑小ナル時ニハ $1 m/s$ 位, $50 m$ 以上ノ長サニテ徑大ナル時ハ $0.7 m/s$ 以下トスル。吐出管内ノ速度ハ高壓ニシテ長キ管ノ場合ハ $1 m/s$ 位, 短キ管ノ場合ハ $2 m/s$ 位ガ普通デアル。



第79圖

37. 最大吸込水頭

ブランジャーガ最も高キ位置ニ來レル時吸込ミ面ヨリ其底迄ヲ吸込ミ管ノ垂直高 H_s m トスレバクランク・ポンプニ於テハ此高サハ次ノ如ク制限セラレル。

a) ブランジャーガ一個ニシテ吸込ミ管ニ空氣室ナキ場合

$$H_s < H_a - H_w - h_0 - \frac{\pi^2}{30} \cdot \frac{l_s}{A_s} \cdot \frac{nQ}{g} \left(1 \pm \frac{r}{L}\right)$$

b) ブランジャーガ一個ニシテ吸込ミ管ニ空氣室アル場合

$$H_s < H_a - H_w - h_0 - h_s - \frac{\pi^2}{30} \cdot \frac{l_s}{A_s} \cdot \frac{nQ}{g} \left(1 \pm \frac{r}{L}\right)$$

H_a = 大氣壓 = 相當スル水柱ノ高 m , H_w = 水ノ溫度 = 相當スル水ノ蒸気張力ヲ水柱ニテ表ワシタル高 m , h_0 = 吸込ミ弁ヲ開ク時ノ抵抗(充分開キタル所ヲ水ガ通ル時ノ抵抗ヨリ大デアル)ヲ水頭ニテ表ワシタルモノ m , h_s = 空氣室以下ノ吸込ミ管内ノ摩擦水頭 m ,

* 沖殿「圓形弁ノ研究報告」機械學會誌第24卷第65號及第31卷第136號, 井口集

l_s = 吸込管ノ長 m , l'_s = 空気室ヨリ吸込管迄ノ管ノ長 m , A_s = 吸込管ノ断面積 m^2 , n = 毎分有効行程數, Q = 單位時間吐水量 m^3/s , r = クランク半径 m , L = 連桿ノ長 m , 兩式 = 於テ最終項ハクランクガ死點ヲ離レル時 = 吸込管内ノ水 = 運動ヲ起サシムル爲 = 要スル水頭デアアル。

38. クランク・ポンプノ吐出量ノ變化

A = プランジャー又ハピストンノ面積 m^2 , a = ピストン棒ノ横断面積 m^2 , r = クランク半径 m , L = 連桿ノ長 m , ω = クランクノ回轉角速度 (一定) rad/s , α = 内側死點ヨリクランクノ回レル角度, x = クランクガ内側死點 = アルトキノ位置ヨリプランジャー若クハピストンガ動キタル距離 m , u = プランジャー又ハピストンノ速度 m/s トスレバ

$$x = r(1 - \cos \alpha) + \frac{1}{2}L\left(\frac{r}{L}\sin \alpha\right)^2, \quad u = \omega r\left(\sin \alpha + \frac{r}{2L}\sin 2\alpha\right).$$

$L = \infty$ トスレバ

$$x = r(1 - \cos \alpha), \quad u = \omega r \sin \alpha.$$

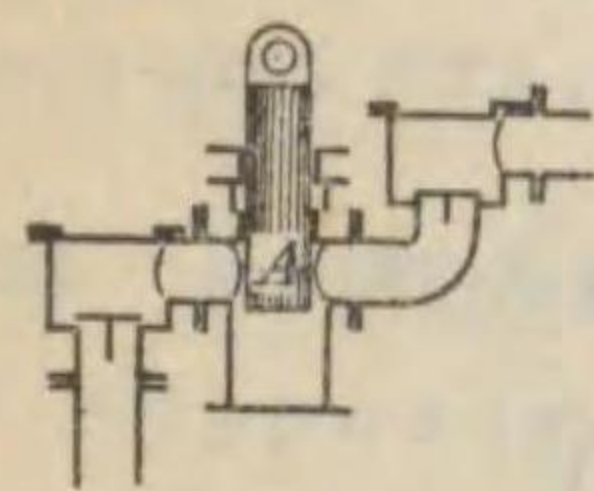
クランクノ角度ガ α ナル時ノ瞬時吐水量ヲ $Q m^3/s$ トスレバ

$$Q = -(A-a)u. \quad \alpha = 270^\circ = \text{於テ} \quad Q_{max} = (A-a)\omega r.$$

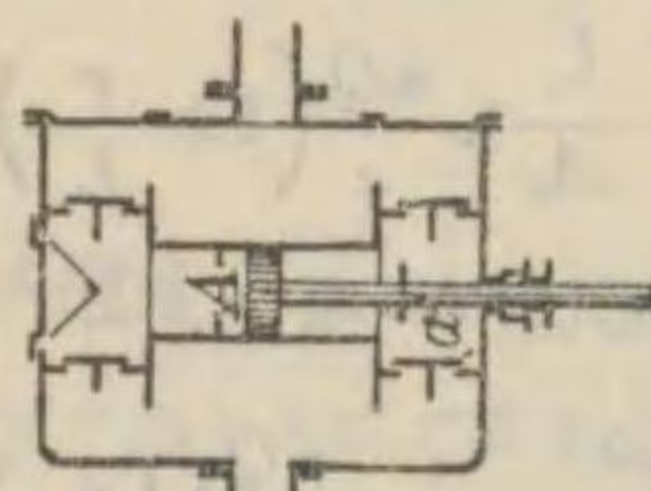
吐出行程 = 排出セラル、總水量ヲ $V m^3$ トスレバ

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q dt = - \int_{t_1}^{t_2} (A-a)\omega r \sin \alpha \cdot dt = -(A-a)r \int_{180^\circ}^{360^\circ} \sin \alpha \cdot d\alpha = 2(A-a)r.$$

ピストン棒ナキ時ハ $a = 0$ トスレバヨシ。



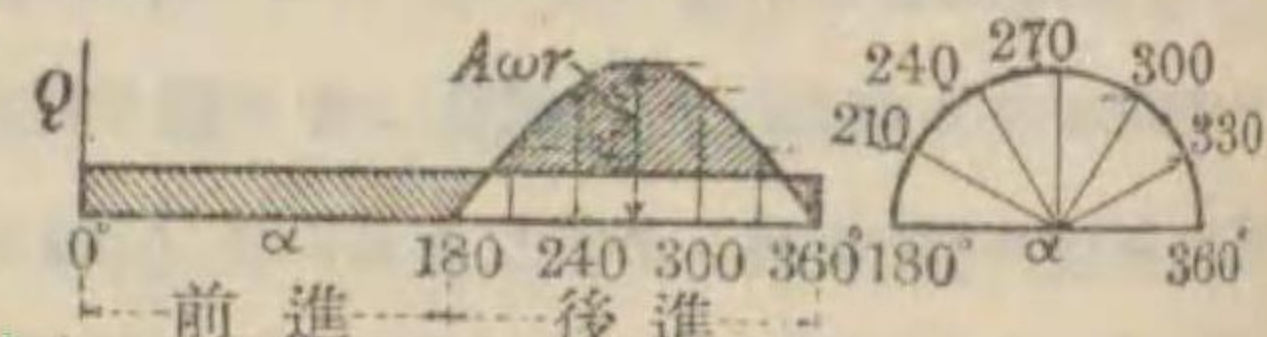
第 80 圖



第 81 圖

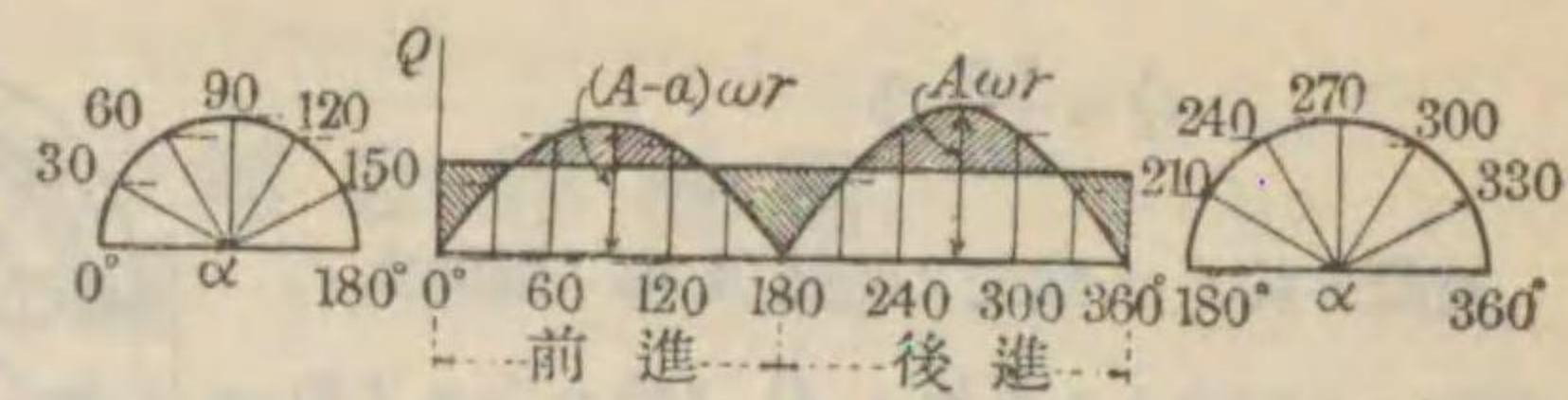
ノ曲線ノ如キ割合 = 吐水スルコト、ナリ、一 回轉間ノ平均吐水量ト 270° 附近 = 於ケル 最大量ト = ハ大ナル差違ガアル。第 81 圖ノ 如キピストンノ兩面ガ働クポンプ = テハ其

クランク角度ト瞬時吐水量トノ關係ヲ 圖示スレバ次ノ如クナル。第 80 圖ノ如キ プランジャー一個ノポンプ = テクランクガ 等速度 = テ回轉スル時ハ 0° ヨリ 180° 迄 吸水シ、 180° ヨリ 360° マデハ第 82 圖



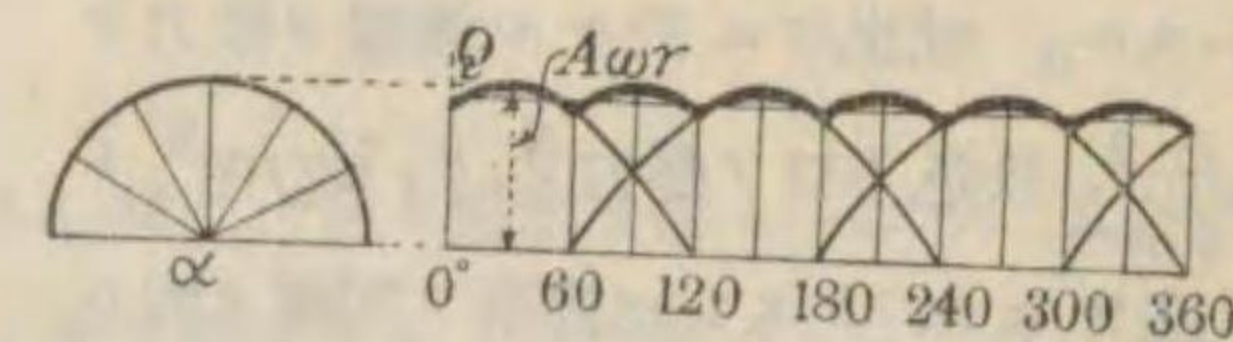
第 82 圖

右側ハピストン棒ノアル丈吐出 量ヲ減ゼラレソノ變化ノ状態ハ 第 83 圖ノ如シ。此場合ノ最大 ノ吐出量ハ平均量ノ約 1.6 倍位

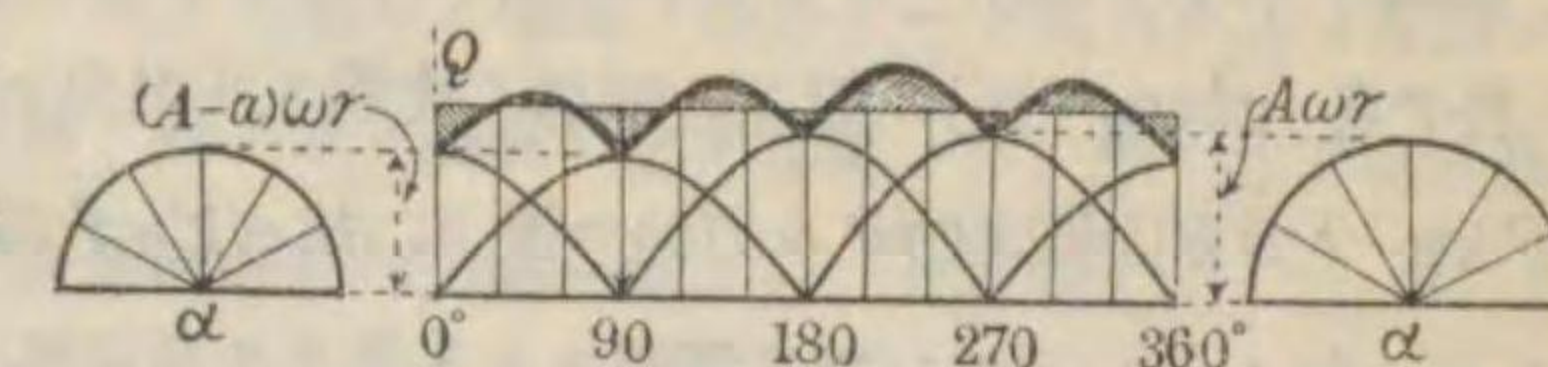


第 83 圖

デアアル。第 84 圖ハ第 80 圖ノ如キ 單働ポンプ三個ヲクランク間ノ角 度 120° = 連結シタ時ノ吐出量變化 ノ状態ヲ示シ、第 85 圖ハ第 81 圖 ノ如キ複働ポンプ二個ヲクランク 間ノ角度 90° = 連結シタ時ノ吐出量 變化ノ状態ヲ示ス。



第 84 圖

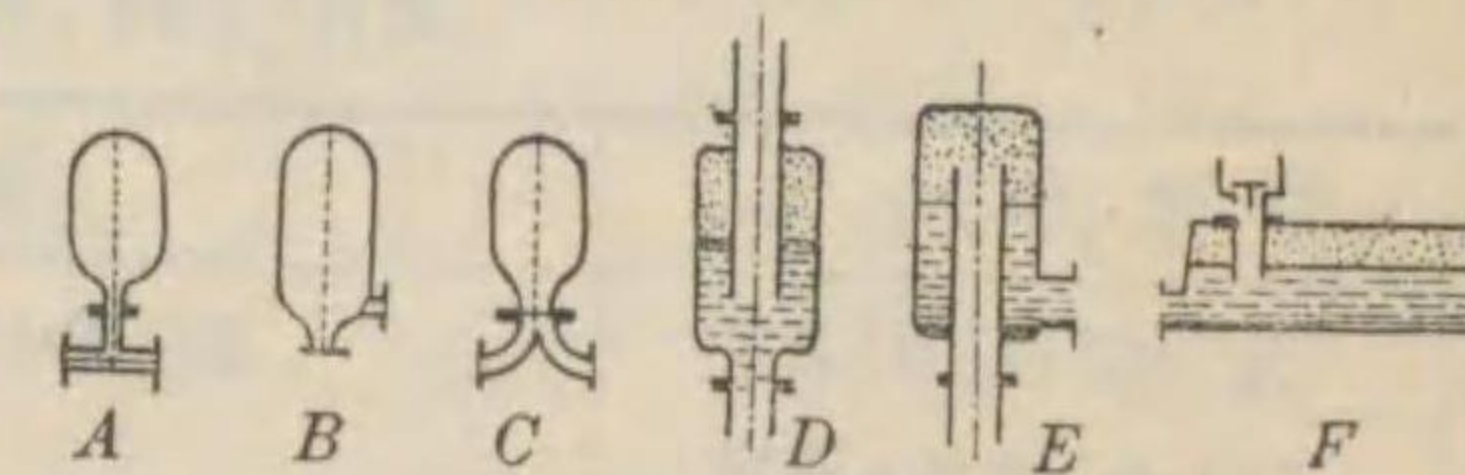


第 85 圖

39. 空気室

往復ポンプ = 於テハ一回轉中ノ吐出量 = 變化アルガ故 = 吐出管ノ入口 = 空気室ヲ設クレ バ管ノ端ヨリ出ル水量ヲ平等 = 近カラシメ、從テ吐出管中ノ水柱作用ヲ減ズルコトガ出來 ル。此空気室ノ大サハ單働ポンプノ

場合 = ハピストンノ押退ケ量ノ 3~ 16 倍、複働ポンプノ場合 = ハ單働ノ 場合ノ $1/2 \sim 2/3$ 。



第 86 圖

第 86 圖 A, B, C ハ共 = 吐出管 = 取付クル空気室デアアルガ A ハ管ヲ通ル水ノ速度 = 變化ヲ與ウルコト無キガ故 = 効果ガ 甚ダ薄イ。ポンプガ單働ナル場合 = ハ吸込管中ノ水ノ慣性ノ爲 = 吸水動作 = 困難ヲ感ズ ルヲ以テポンプノ吸込側 = 第 86 圖 D, E, F ノ如キ空気室ヲ置クヲ可トスル。

40. 齒車ポンプ

コノポンプハ第 87 圖 = 示ス如ク構造簡單取扱便利ナルガ故 = 消防ポンプ、機械ノ注油 ポンプトシテ可ナリ廣ク用イラレル。第 88 圖 = 於テ齒車ノ齒ト齒トノ間ノ斜線ヲ施セル 部分ノ面積ヲ $f m^2$, 幅ヲ $b m$, 各齒車ノ齒數ヲ z , 毎分回轉數ヲ n トスレバ兩車 = ヨリ 單位時間 = 吐出セラル、理論上ノ體積 $Q m^3/s$ ハ

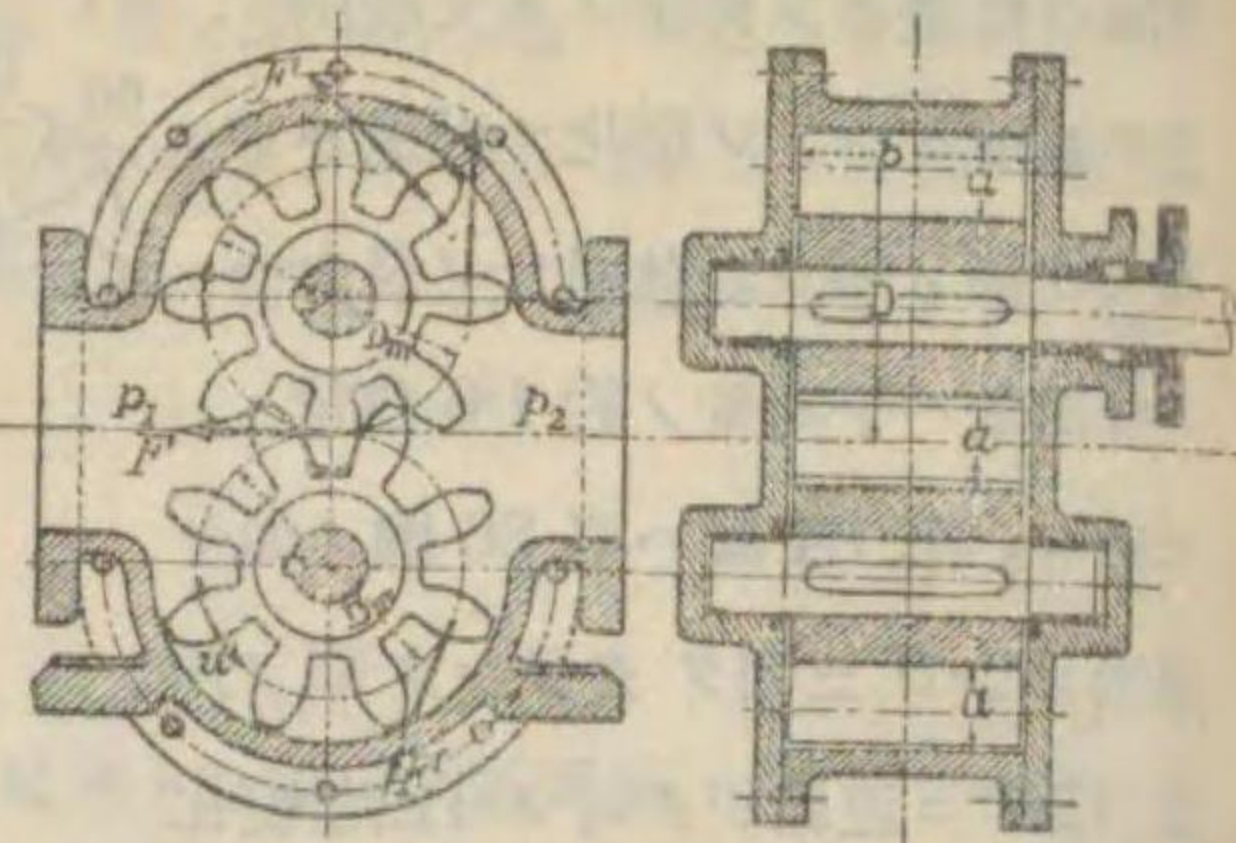
$$Q = \frac{nz}{30} fb.$$

實際=於テハ齒先ノ間隙及車ノ兩側面ノ間隙ヨリ漏洩スルガ故= Q ノ値ハ之ヨリ相當減小スル。吐出口=於ケル液體ノ壓力ヲ $p_2 \text{ kg/m}^2$, 吸込ミ口ノ壓力ヲ $p_1 \text{ kg/m}^2$ トシ齒ノ高ヲ $a \text{ m}$ トスレバ齒車ノ回轉=對シテ抵抗スル力 $F \text{ kg}$ ハ兩車ピッチ圓上ノ外側

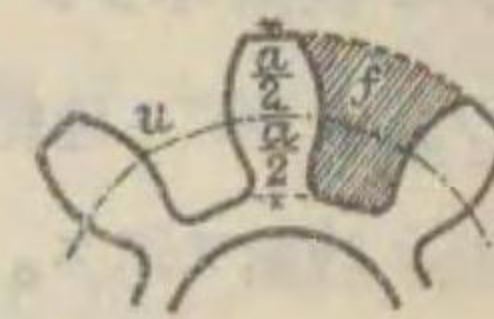
=於テ各 $ab(p_2 - p_1)$, 而シテ兩車ノ接觸スル中央=於テハ同ジ $F \text{ kg}$ ノ力ガ回轉ヲ助クル方向=働ク。故=ピッチ圓ノ圓周速度ヲ $u \text{ m/s}$ トスレバポンプヲ運轉スル=要スル理論馬力 N ハ

$$N = \frac{(2F - F)u}{75} = \frac{\pi n D_m}{60} \cdot \frac{ab(p_2 - p_1)}{75}$$

u ノ値ハ普通 $1 \sim 6 \text{ m/s}$, 又總効率ハ大ナルモノニテ 60% , 小ナルモノニテハ 40% 以下=下ルコトガアルカラ所要馬力ハ理論馬力ノ $1.5 \sim 2.5$ 倍トナル。



第 87 圖



第 88 圖

第 8 篇 熱 及 熱 機 關

第 1 章 熱

1. 溫度目盛

1. 日本度量衡法 溫度ノ單位ハ度トス。度ハ一定ノ體積ヲ保クシメツ、一定質量ノ完全瓦斯ノ溫度ヲ融解シツ、アル純粹ノ水ノ氷ノ溫度ヨリ 1.0133 バール=於テ沸騰スル純粹ノ水ノ溫度マデ變ゼシムル間=於テ生ズル壓力ノ増加ノ百分ノ一ノ壓力ヲ其ノ瓦斯=生ズル溫度ヲ謂フ。融解シツ、アル純粹ノ水ノ氷ノ溫度ハ之ヲ零度トス。度ハ之ヲ攝氏度ト稱スルコトヲ得 (度量衡法第四條及度量衡法施行令第一條ノ三ノ六參照)。

2. 熱力學目盛, 瓦斯目盛 熱力學ノ第二法則=ヨリ規定セラレタル溫度目盛ヲ熱力學絕對溫度目盛又ハ Kelvin 熱力學目盛ト稱シ物質ノ性質=關スル事ナシ。熱力學目盛ハ完全瓦斯ノ法則ヲ利用シ水素, ヘリウム, 窒素等ノ實際瓦斯=ヨリテ測定ス。實際瓦斯=依ル溫度目盛ハ第 1 表ノ如シ。

第 1 表 溫度ノ目盛

溫度目盛	氷ノ融解點
熱力學絕對溫度目盛又ハ Kelvin 熱力學目盛 熱力學攝氏目盛	$273.10 \pm 0.05 \text{ } ^\circ\text{K}$ 定義=ヨリ $0 \text{ } ^\circ\text{C}$
等體積水素絕對溫度目盛 (始壓 $p = 100 \text{ mmHg}$)	273.03 ± 0.05
等體積ヘリウム絕對溫度目盛 (始壓 $p = 1000 \text{ mmHg}$)	273.11 ± 0.03
等壓窒素絕對溫度目盛 (定壓 $p = 1000 \text{ mmHg}$)	272.24 ± 0.05
等體積水素絕對溫度目盛 (始壓 $p = 500 \text{ mmHg}$)	272.63 ± 0.05

第 2 表 瓦斯溫度計測定精度表

溫度 $^\circ\text{C}$	測定精度 $^\circ\text{C}$	溫度 $^\circ\text{C}$	測定精度 $^\circ\text{C}$	溫度 $^\circ\text{C}$	測定精度 $^\circ\text{C}$
-250	0.05	50	0.006	400	0.1
-100	0.02	100	0.01	1000	1.0
0	0.003	200	0.05	1500	2.0

始壓 $p = 1000 \text{ mm Hg}$ ノ等體積水素攝氏目盛ハ正常水素目盛ト稱シ $0 \sim 100^\circ\text{C}$ ノ間ニ於テハ熱力學攝氏目盛トノ差 0.001°C ノ程度ニシテ實用上熱力學攝氏目盛トシテ差支ナシ。種々ノ瓦斯溫度計目盛ヲ用イテ測リ得ル熱力學攝氏目盛ノ精度ハ大略第2表ノ如クデアル。

2. 溫度計器

第3表 各種溫度計器ノ測定範圍及精度表

計 器	測定範圍 $^\circ\text{C}$ =テ	概 略 精 度
1. 各種瓦斯溫度計	約 $-250 \sim 1000$	第2表 参照
2. 通常ノ真空水銀溫度計	$-35 \sim 300$	通常ノ構造ノモノニテ $\pm 1^\circ\text{C}$, 特殊ノ精密測定 用ノモノニテ $\pm 0.01^\circ\text{C}$
3. 窒素又ハ炭酸瓦斯入 Jena 硝子製水銀溫度計	$-35 \sim 550$	
4. 窒素又ハ炭酸瓦斯入 石英硝子製水銀溫度計	$-35 \sim 700$	
5. アルコール又ハ トルオール溫度計	$-70 \sim 0$	
6. ベンタン又ハ ペトロール・エーテル溫度計	$-200 \sim 0$	$\pm 0.5^\circ\text{C}$
7. 白金線ノ電気抵抗ノ變化 ニヨル計器	約 $-200 \sim 1000$	各回使用前ニ檢定ヲ行 エバ 1063°C =於テ 0.01°C ヲ精密ニ測リ得
8. 熱電對	約 $-200 \sim 1000$	適當ナル注意ノ下ニ使 用スレバ $\pm 0.1\%$ 以 上ノ精度ヲ得
9. 輻射溫度計	500 以上	約 $\pm 10 \sim \pm 15^\circ\text{C}$
10. ゼーゲル・コーン	600 \sim 2000	約 $\pm 10^\circ\text{C}$

3. 溫度計目盛用基本溫度

次ノ表ニ於テ溫度ハ熱力學攝氏目盛 $^\circ\text{C}$, p ハ瓦斯ノ壓力 mm Hg , 特ニ瓦斯ノ壓力ガ指定セザルモノハ大氣壓ニ於ケルモノデアル。

1. 標準基本溫度

酸素ノ液化點	$-183.00 + 0.0126(p-760) - 0.0000079(p-760)^2$
炭酸瓦斯ノ昇華溫度	$-78.50 + 0.01595(p-760) - 0.00001(p-760)^2$
水銀ノ凝固點	-38.87
氷ノ融解點	0
水ノ沸騰點	$100.000 + 0.0367(p-760) - 0.000023(p-760)^2$
硫黃ノ沸騰點	$444.60 + 0.0908(p-760) - 0.000047(p-760)^2$
銀ノ融解點	960.5
金ノ融解點	1063

2. 第二次ノ基本溫度

硫酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{SO}_4 + 10\text{H}_2\text{O}$) ノ變異點	32.38
ナフタリンノ沸騰點	$217.96 + 0.058(p-760)$
錫ノ融解點	231.85
純ベンゾフェノン ($\text{C}_6\text{H}_5 \cdot \text{CO} \cdot \text{C}_6\text{H}_5$) ノ沸騰點	$305.9 + 0.063(p-760)$
カドミウムノ融解點	320.9
亜鉛ノ融解點	419.4
アンチモンノ融解點	630.5
銅ノ融解點	1083
パラヂウムノ熔融點	1549^*
白金ノ熔融點	1755^*

* Day 及 Sosman, 1910 =ヨル

4. 水銀溫度計

1. 水銀溫度計ノ誤差

- i. 水銀溫度計ノ目盛ト瓦斯目盛ニヨル溫度トニハ僅カノ相違ガアル。例エバ Jena 16^m 硝子製溫度計ニ於テハ 0°C ヨリ 100°C ノ間ニ於テ最大 0.120°C ノ相違ガアル。
- ii. 溫度計ヲ加熱シ次ニ冷却スレバ通常零ノ讀ミニ僅カノ變化ヲ生ズ。石英硝子製ニテハ殆ド變化ナシ。

測定溫度上限 $^\circ\text{C}$	400	550	750
瓦斯壓力 kg/cm^2	2	20	60

- iii. 通例水銀溫度計ハ經年誤差ヲ生ズ。

但シ使用長年ニ亙レバ略々一定トナル。

2. 瓦斯入水銀溫度計ノ瓦斯壓力 ノ一例ハ上表ノ如シ。

3. Beckmann 水銀溫度計 熱量計用トシテ屢々使用セラル。狭キ範圍(通常 10~12°C)内ニ於テ精密ニ溫度ヲ測定スルニ適シ擴大鏡ヲ用イテ 0.001°C ヲ讀ミ得。

4. 水銀溫度計用硝子 通常ノ水銀溫度計ニ使用サレル硝子ノ成分概略下ノ如シ。

第 4 表 水銀溫度計用硝子ノ表

名 稱	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	PbO	B ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	ZnO	其他	用 途
English Crystal	50	12	1.5	34	—	1.5	0.5	—	0.5	普通品用
Kew	53	11.5	0.5	34	—	—	0.5	—	0.5	同上
Verre Dur	71	0.5	12	—	—	14	2	—	0.5	國際標準計器用
Jena 1 ^m	76	—	14	—	2	7	3	7	—	稍高溫度用
Jena 59 ^m	72	—	10	—	11	0.5	6	—	0.5	高溫度用

5. 熱 電 對

1. 熱電對組合セ 普通ノ組合セハ第 5 表ノ如シ。* ヲ附セルモノハ最モ多ク用ウ。

第 5 表 熱電對ノ表

熱電對組合セ	起電力 mV (冷點 0°C 熱點 500°C)	使用ニ適 スル溫度	備 考
白金—白金及 10% ロテウム*	4.4	0~1600°C	
白金—白金及 10% イリヂウム	7.4	0~1000°C	1000°C 以上ハ イリヂウム蒸發ス
ニッケル— ニッケル及 10% クロミウム	10.0	0~1000°C	
鐵—ニッケル	15~17.5	300~ 600°C	300°C ニテ不連 續アリ
銀—コンスタンタン (銅 60%, ニッケル 40%)	28	0~ 800°C	
銅—コンスタンタン* 又ハ 鐵—コンスタンタン	27~28	0~ 500°C	300°C 以上ニ使 用スル場合ニハ 屢々檢定ヲ要ス

2. 熱電對起電力 實驗式ヲ以テ表ワス事ヲ得。廣キ溫度ノ範圍ニ亙リテ正確ナル値ヲ一實驗式ニヨツテ表ワス事ハ困難ナルヲ以テ溫度範圍ヲ區分シテ式ヲ作ル。通例使用セラル、式ノ形ハ次ノ如クデアル。金屬成分其他ノ影響ニヨリ係數ノ値ハ各熱電對ニヨリ多少變化スルガ故ニ使用前ニ前掲基本溫度ト比較シテ檢定ヲ要ス。冷點 0°C, 熱點 θ°C ナルトキノ起電力ヲ E マイクロボルトトス。

i. 銅—コンスタンタン熱電對

Adams ノ式 $E = A\theta - B(1 - e^{-c\theta})$.

A, B, c ハ常數, 其值ハ次ノ如クデアル。θ ガ 0~350°C ノ場合ハ A=74.672, B=13892, c=0.00261. θ ガ 350°C 以上ノ場合ニハ A=92.20, B=29770, c=0.0018.

ii. 白金—白金ロテウム熱電對

a) Adams ノ式 $E = A\theta + B(1 - e^{c\theta})$, (0~400°C).

$$E = -A_1 + B_1\theta + C_1\theta^2, \quad (300 \sim 1200^\circ\text{C}).$$

$$E = -A_2 + B_2\theta + C_2\theta^2, \quad (1100 \sim 1750^\circ\text{C}).$$

A, B, c, C 等ハ實驗ニ依ツテ定ムベキ定數。

b) Holman ノ式 $E = B\theta^a$

溫度ノ全範圍ニ亙ルモノナレド充分精密ナラズ。

iii. 零ノ補正 熱電對使用時ノ冷點溫度 θ₀ ガ熱電對檢定時ノ冷點溫度 0°C ト異ナル場合ニハ起電力 E ニヨリ檢定曲線ヨリ讀メル溫度 θ' = 冷點溫度ヲ加エタルモノニ補正ヲ要ス。實際ノ溫度ヲ θ トスレバ第一近似的ニ

$$\theta = \theta_0 + \theta' \left[\frac{\left(\frac{dE}{d\theta}\right)_0}{\left(\frac{dE}{d\theta}\right)_{\theta_0}} \right]$$

$\left(\frac{dE}{d\theta}\right)_0, \left(\frac{dE}{d\theta}\right)_{\theta_0}$ ハ 0°C 及 θ₀°C ニ於ケル檢定曲線ノ傾キヲ表ワス。檢定曲線ヲ用ウル場合ニ冷點溫度ヲ基點トシ起電力 E = 相應スル溫度ヲ讀メバ補正ヲ要セス。

4. 熱電對ノ保護管

i. 内部用 500°C 迄硬硝子管 1,000°C 迄石英管(コレニ觸ル、瓦斯ハアルカリヲ含マザル酸性瓦斯ヲ要ス)。1,400°C 迄釉藥ヲ掛ケタ磁器管, 又ハ釉藥ヲ掛ケタアラシタム(アルミナ)管。1550°C 迄釉藥ヲ掛ケザルアラシタム管。

ii. 外部用 1,500°C 迄 "Silfrax" ト稱スルカーボランダム管, 鹽基性ノ鍍滓ニハ弱シ。高溫度ニ於テハ金屬ヲ侵スガ故ニ必ズ内部保護管ヲ用ウルヲ要ス。鹽基性瓦斯ニ對シテハ石墨管ヲヨシトス。900°C 迄鐵鋼管, 鐵鋼管ノ代用トシテ鑄物ニクロウムヲ用ウル事ガアルガ, 酸化ニ對スル抵抗ガ大デアル。

6. ゼーゲル・コーン

600~2000°C ノ溫度ノ概略測定ニ適ス。番號及熔融點ノ一例ハ第 6 表ノ如シ。

第 6 表 ゼーゲル・コーンノ表

番 號	温 度	番 號	温 度	番 號	温 度	番 號	温 度	番 號	温 度
022	600	1a	1100	15	1435	26	1580	35	1770
01a	1080	10	1300	20	1530	30	1670	42	約2000

7. 温度ト焰ノ色

焰ヲ見得ル場合ニハソノ色ニヨリテ大體ノ温度ヲ知ルコトガ出來ル。

色	漸ク判別 シ得ル赤	暗 赤	櫻 色	橙 色	白	眩シキ白	電気弧光
温度 °C	約 500	約700	約900	約1100	約1300	約1500	約3400~3600

8. 熱ニ依ル物質ノ膨脹

温度 1°C ノ變化ニヨル物質ノ長ノ變化ヲ元ノ長デ除シタモノヲソノ物質ノ長ノ膨脹係數ト云ウ。今 l ヲ長, θ ヲ温度トスレバ長ノ膨脹係數

$$\alpha = \frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{d\theta}$$

同様ニシテ V ヲ體積トスレバ體積ノ膨脹係數ハ

$$\beta = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{d\theta}$$

等質固形體ニ於テハ

$$\beta = 3\alpha$$

面積ノ膨脹係數 = 2α.

一定壓力ノ下ニ於テ理想瓦斯ノ場合ニハ

$$\beta = \frac{1}{273} = 0.00366$$

第 7 表 金屬ノ膨脹係數 α × 10⁴ (0~100°C ノ間ノ平均値)

アルミニウム鑄物	0.222	鉛	0.276
アルミニウム板	0.207	錫	0.214
アンチモン	0.110	亜鉛	0.528~0.263
眞鍮鑄物	0.187	ニッケル	0.128
眞鍮針金	0.193	銀	0.188
鑄鐵	0.102	金	0.139
鍊鐵	0.119	白金	0.089
銅	0.105~0.116	白金	0.25
銅	0.167	活字金	0.19

第 8 表 雜固形體ノ膨脹係數 α × 10⁴ (0~100°C ノ間ノ平均値)

煉瓦	0.055	ガラス	0.088
建築用石材	0.04~0.07	陶器	0.036
コンクリート	0.10~0.14	スレート	0.104
大理石	0.035~0.044	ゴム	0.77
花崗岩	0.083	木材(年輪=平行)	0.03~0.05
エポナイト	0.64~0.77		

第 9 表 液體體積膨脹係數表 β × 10⁴ (室温ニ於ケル値)

醋	10.7	ベンゼン	12.4	テレピン油	10.0
エチル・アルコール	11.0	ベンゾール	12.5	石油	10.0~9.2
メチル・アルコール	12.2	クロロホルム	12.6	水銀	1.81
アニリン	8.5	グリセリン	5.3	硫酸	5.5
エーテル	16.3	オリブ油	7.0	水	1.5

第 10 表 水ノ密度及比體積表

温度 °C	密度 kg/l*	比體積 l/kg	温度 °C	密度 kg/l	比體積 l/kg	温度 °C	密度 kg/l	比體積 l/kg
0	0.99987	1.00013	40	0.99224	1.00782	85	0.9687	1.0324
4	1.00000	1.00000	44	0.99066	1.00943	90	0.9653	1.0359
8	0.99988	1.00012	48	0.98896	1.01116	95	0.9619	1.0396
12	0.99953	1.00048	50	0.9881	1.0121	100	0.9584	1.0434
16	0.99897	1.00103	55	0.9857	1.0145	110	0.9510	1.0515
20	0.99823	1.00177	60	0.9832	1.0171	120	0.9435	1.0600
24	0.99732	1.00268	65	0.9806	1.0198	130	0.9351	1.0694
28	0.99626	1.00375	70	0.9778	1.0227	140	0.9263	1.0795
32	0.99505	1.00497	75	0.9749	1.0258	150	0.9172	1.0903
36	0.99372	1.00632	80	0.9718	1.0290	160	0.9076	1.1018

* 體積ノ單位リットルハ國際メートル法ノ規定ニヨルモノデアル (41 頁参照)。

9. 諸熱學常數表

熱學=關係アル諸常數ヲ次表ニ示シテアルガソノ數值ハ大略ノモノデアル。

1. 固形體及液體ノ比熱表 (kcal/kg-°C)

金 屬		雜 固 形 體		液 體	
アルミニウム	0.22	アスベスト	0.20	醋 酸	0.51
アンチモン	0.05	木 炭	0.20	エ ー テ ル	0.54
亞 鉛	0.094	石 炭	0.31	ア ル コ ー ル	0.58
錫	0.056	コ ー ク ス	0.20	ア ン モ ニ ヤ	1.00
鐵	0.115	灰	0.20	ア ニ リ ン	0.4°
眞 鍮	0.029	煉 瓦	0.22	オ リ ブ 油	0.40
ニ ッ ケ ル	0.11	コンクリート	0.27	ベ ン ゾ ー ル	0.40
銅	0.094	石 膏	0.20	ク ロ ロ ホ ル ム	0.23
白 鐵	0.044	大理石石灰岩	0.21	揮 發 油	0.70
銀	0.056	花 崗 岩	0.20	石 油	0.50
鉛	0.031	土砂(濕氣ヲ含ムモノ、平均)	0.45	機 械 油	0.40
水 銀	0.033	黒 鉛	0.20	グ リ セ リ ン	0.58
金	0.031	ガ ラ ス	0.20	パ ラ フ ィ ン 油	0.52
白 金	0.032	陶 器	0.26	硫 酸	0.34
		パ ラ フ ィ ン・ワックス	0.69	鹽 酸	0.60
		エポナイト	0.34	海 水	0.94
		硫 黄	0.18	テ レ ビ ン 油	0.42
		ゴ ム (パ ラ)	0.27 ~ 0.48	酸 素 (液 體)	0.35
		氷	0.50	窒 素 (液 體)	0.43
		木材(平均)	0.55	水 銀	0.033

2. 融解點又ハ凝固點表 (水銀柱 760 mm, °C)

タンダステン	3270~3360	アルミニウム	657	菜 種 油	- 3.5
ウエルフラ	約3000	アンチモン	630	ア ニ リ ン	- 6
マイト	約2300	亞 鉛	419.4	テ レ ビ ン 油	- 10
イリヂウム	約2000	鉛	327	食鹽水(飽和)	- 18
ロヂウム	1755	カドミウム	320.9	亞 麻 仁 油	- 20
白金	1550	蒼 鉛	269	グ リ セ リ ン	- 20
陶 器	1510	錫	231.8	水 銀	- 39
純 鐵	1450	白 鐵	135~210	硫 酸	- 76
ニ ッ ケ ル	1350~1450	ゴ ム	125	ア ン モ ニ ヤ	- 78
鍊 鐵	1300~1400	硫 黄	113	炭 酸	- 79
鋼	1245	ナトリウム	97.5	二硫化炭素	-113
滿 俺	1130~1200	ナフタリン	80	エ ー テ ル	-118
鐵	1083	パ ラ フ ィ ン	54	ア ル コ ー ル	-118
銅	1063	磷	44	窒 素	-210
金	960.5	ベ ン ゾ ー ル	5.6	酸 素	-227
銀	約900	水	0		
眞 鍮	801	海 水	-2.5		
砲 金					
食 鹽					

3. 沸騰點表 (水銀柱 760 mm, °C)

亞 鉛	915	テ レ ビ ン 油	160	ア ン モ ニ ア	- 33
硫 黄	445	食鹽水(飽和)	108	鹽 素	- 34
水 銀	357	水	100	炭 酸	- 78
亞 麻 仁 油	316	ベ ン ゾ ー ル	80	ア セ チ レ ン	- 84
パ ラ フ ィ ン	300	純アルコール	78.5	エ チ レ ン	-104
グ リ セ リ ン	290	ク ロ ロ ホ ル ム	61	酸 素	-183
磷	290	二硫化炭素	46	窒 素	-196
ナフタリン	218	エ ー テ ル	35	水 素	-253
ア ニ リ ン	184	硫 酸	-10	ヘ リ ウ ム	-268

4. 融解熱表 (kcal/kg)

アルミニウム	77	鑄 鐵	23	水	銀	28
ベンゾール	30	銅	43	硫	黄	9
鉛	6	ナフタリン	36		銀	21
カドミウム	14	パラフィン	35	蒼	鉛	13
氷	79.5	燐	5	亞	鉛	28
電 解 鐵	49.35	白 金	27		錫	14

5. 蒸發熱表 (水銀柱 760 mm = 於ケル沸騰點 = 於テ, * ヲ附シタルハ 0°C = 於ケル値 kcal/kg)

エーテル	90	クロロホルム	58	硫 酸	95
アルコール	210	炭 酸*	56	窒 素	48
アンモニア*	300	水 銀	68	テレピン油	70
アニリン	104	酸 素	51	水	539
ベンゾール	94	硫 黄	362	水 素	123
鹽 素	62	二硫化炭素	85		

10. 輻射ニヨル熱ノ傳播

絶對温度 T_1 °K, 面積 Fm^2 ナル表面ガ絶對温度 T_2 °K ナル壁ヲ以テ圍マレトキ
輻射 = ヨリ毎時間 = 傳播セラル、熱量 Q_r kcal/h ハ近似的ニ次式ヲ以テ與エラル。

第 11 表 輻射常數表 (kcal. m. h. °C)

物 質	表面ノ性質	實驗温度範圍 °C	C
絶對暗黒體	壁 = 針孔ヲ穿テル等温ノ室	-180 ~ 1260	4.70
硝 子	滑	20	4.4
油 煙	滑	0 ~ 50	4.30
鑄 鐵	粗, 甚シク酸化	40 ~ 250	4.39
鍊 鐵	光澤ナシ, 酸化	20 ~ 360	4.32
"	白色	30 ~ 108	1.60
"	研磨	40 ~ 250	1.31
銅	少シク研磨	50 ~ 280	0.79
亞 鉛	光澤ナシ	50 ~ 290	0.97
漆 喰	粗, 白色	10 ~ 90	4.30
花 崗 岩	滑カ = 研磨, 輝カズ	60 ~ 200	2.12
水		60	3.20
氷		0	3.06

$$Q_r = FC \left\{ \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right\}, \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}$$

爰 = C_0, C_1, C_2 ハ絶對暗黒體及輻射ヲ授受スル面ノ輻射常數 kcal/m²-h-(°C)⁴ = シ
テ輻射常數ノ値ハ第 11 表 = 示ス如シ。

11. 熱ノ傳導

相互ノ距離 d m, 表面積 Fm^2 ナル二平行面ノ温度ガ各 θ_1, θ_2 °C ナル時, 毎時間
= 傳導セラル、熱量 Q_c kcal/h ハ次式ヲ以テ與エラル。

$$Q_c = \frac{F\lambda(\theta_1 - \theta_2)}{d} \quad (\text{Fourier ノ熱傳導式})$$

爰 = λ ハ材料ノ熱傳導率 kcal/m-h-°C = シテ其ノ値ハ下ノ如シ。

第 12 表 固體、液體ノ熱傳導率表 (kcal. m. h. °C)

金 屬	λ	雜 固 形 體	λ	液 體	λ
銀	360	アスファルト	0.60	アルコール	0.18
銅	320	コンクリート	0.60	グリセリン	0.25
金	250		~0.70	ベンゾール	0.12
アルミニウム	175	煉 瓦 壁	0.42	エーテル	0.11
亞 鉛	95	木材 (年輪 = 平行ノ方向)	0.13	オリーブ油	0.15
白 金	60	"	~0.18	ヒマシ油	0.15
鐵	56	"	0.30	テレピン油	0.12
錫	54	ガ ラ ス	0.4~0.9	石 油	0.13
ニッケル	50	リノリウム	0.16		
鉛	30	コルク板	0.036	水	0.5
水	65		~0.048	氷	1.5
眞 鍮	50~100	陶 器	0.9		

第 13 表 氣體ノ熱傳導率表 (kcal. m. h. °C)

瓦 斯	λ	瓦 斯	λ	瓦 斯	λ
H ₂	0.115	CO ₂	0.0111	O ₂	0.0205(7°C)
He	0.122	NH ₃	0.0165	CH ₄	0.0233(8°C)
N ₂	0.0189(4°C)	N ₂ O	0.0126	C ₂ H ₄	0.0142
CO	0.0180	空 気	0.0189		

第 13 表ノ値ハ特ニ記サレザル限リ 0°C = 於ケル値デア。一般ニ氣體ノ熱傳導率ハ溫度ト共ニ増加ス、例エバ溫度 $\theta^{\circ}\text{C}$ ナル空氣ノ熱傳導率ハ次式ニヨリテ表ワサル。

$$\lambda = 0.01894(1 + 0.00228\theta).$$

12. 溫度波進行ノ法則

一方平面ヲ以テ限ラレ他方無限ニ廣ガレル固體ノ表面ノ溫度ガ時間 t = 就テ $\theta_0 \sin \omega t$ ノ如ク周期的ニ變化スル時表面ヨリ x ノ距離ニアル點ノ溫度 θ ハ次式ヲ以テ與エラル。

$$\theta = \theta_0 e^{-\frac{x}{\sqrt{\kappa}} \sqrt{\frac{\omega}{2}}} \sin\left(\omega t - \frac{x}{\sqrt{\kappa}} \sqrt{\frac{\omega}{2}}\right), \quad \kappa = \frac{\lambda}{c\rho}$$

爰ニ ω ハ周波數、 λ ハ熱傳導率、 c ハ比熱、 ρ ハ密度、 κ ハ熱擴散率デア。

13. 流體ト固體ノ接觸ニヨル熱ノ傳達

溫度 θ_f ナル流體ト溫度 θ_s ナル固體ガ接觸シテノ接觸面ニ於テ熱ノ移動アル時、表面積 $F \text{ m}^2$ = 就キ毎時間ニ傳達セラル、熱量 $Q_s \text{ kcal/h}$ ハ次式 (Newtonノ熱傳達ノ式ト云ウコトガアル) ヲ以テ與エラル。

$$Q_s = F\alpha(\theta_f - \theta_s).$$

爰ニ α ハ熱傳達ノ係數 $\text{kcal/m}^2\text{-h-}^{\circ}\text{C}$ = シテ其ノ値ハ次ノ如シ。

圓管中ヲ流ル、流體ノ場合ノ如ク流體ノ溫度ガ流れノ方向ニ直角ナル断面内ニ於テ一様ナラザル場合ニハ θ_f トシテ断面ニ就テノ平均溫度ヲ採ルモノトス。即チ横断面積ヲ A トスレバ

$$\theta_f = \frac{1}{A} \int_A \theta dA.$$

1. 流體ガ限界速度以下ノ速サヲ以テ圓管中ヲ流ル、場合 (Nusselt = ヨル)

$$\alpha = 3.65 \frac{\lambda}{d}, \quad \theta_m = \frac{1}{2}(\theta_f + \theta_s).$$

爰ニ d ハ圓管ノ内徑 m 、 θ_s ハ固體壁ノ溫度 $^{\circ}\text{C}$ 、 θ_f ハ流體ノ溫度 $^{\circ}\text{C}$ 、 λ ハ平均溫度 θ_m = 於ケル流體ノ熱傳導率 $\text{kcal/m-h-}^{\circ}\text{C}$ 。

2. 瓦斯及過熱蒸氣ガ限界速度以上ノ速サヲ以テ滑カナル圓管中ヲ流ル、場合

Reynoldsノ考ヲ基トシ Prandtl, Kármánノ擾流ノ理論ニヨリ Latzkoノ導ケル式

$$\alpha = 138.2 v C_p \gamma R^{-\frac{1}{4}}, \quad R = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{vd}{\mu}$$

爰ニ d ハ圓管ノ内徑 m 、 v ハ流れノ速サ m/s 、 γ ハ溫度 θ_m = 於ケル流體ノ單位體積ノ重量 kg/m^3 、 C_p ハ θ_m = 於ケル氣體ノ一定壓ノ下ニ於ケル比熱、 R ハ θ_m = 於ケル流體ノ Reynolds 數、 μ ハ θ_m = 於ケル流體ノ粘度 kg-s/m^2 。

上式ハ正シクハ $\lambda/C_p\mu = 1$ ナル場合ニ限リ適用シ得。從ツテ瓦斯、過熱蒸氣ニハ實用上當嵌マルガ水ニハ當嵌マラス。Nusselt, Gröber 等ノ實驗式ハ形ハ之ト異ナルガ略々同ジキモノデア。

圓管ノ大キサニ比シ長サガ著シク短キ場合 (例エバ 10 倍以内) ニハ α ノ値ハ上式ヨリモ増加ス。又管壁ガ粗ナレバ α ハ上式ヨリモ増加スルモノ、如クデア。

管ガ圓以外ノ断面ヲ有スル場合ニハ上式ノ $d = d_m$ ヲ代入ス。今管ノ断面積ヲ A 、管周ノ長ヲ S トスレバ

$$d_m = 4A/S.$$

飽和蒸氣ガ圓管中ヲ流ル、場合ノ α ノ値ハ明瞭ナラザレドモ 2000~10000 ノ程度デア。

T_m ヲ絕對溫度 $^{\circ}\text{K}$ 、 θ_m ヲ溫度 $^{\circ}\text{C}$ 、 H ヲ壓力 mm Hg トスレバ空氣及過熱水蒸氣ノ諸性質ハ次ノ諸式ニヨツテ表ワサレル。

i. 空氣

$$\gamma = \frac{1.293}{1 + 0.00367\theta_m} \frac{H}{760} \text{ kg/m}^3.$$

$$C_p = 0.241 + 0.000031\theta_m, \quad (1 \text{ 気壓ニ於テ})$$

$$\lambda = 0.00167(1 + 0.000194T_m)\sqrt{T_m} \left/ \left(1 + \frac{117}{T_m}\right) \right. \text{ kcal/m-h-}^{\circ}\text{C}.$$

$$\mu = 10^{-6} \times 1.66 \left(1 + \frac{114}{273}\sqrt{\frac{T_m}{273}}\right) \left/ \left(1 + \frac{114}{T_m}\right) \right. \text{ kg-s/m}^2.$$

ii. 過熱水蒸氣 (477 頁参照)

$$\lambda = 0.00445 C_p \sqrt{T_m} \left/ \left(1 + \frac{327}{T_m}\right) \right. \text{ kcal/m-h-}^{\circ}\text{C}.$$

$$\mu = 10^{-6} \times 0.885 \left(1 + \frac{673}{273}\sqrt{\frac{T_m}{273}}\right) \left/ \left(1 + \frac{673}{T_m}\right) \right. \text{ kg-s/m}^2.$$

3. 水が圓管中ヲ流ル、場合 (Sonnecken ノ實驗式)

管壁ガ滑ナル場合(真鍮) $\alpha = 2020 \frac{v^{0.9}}{d^{0.1}} (1 + 0.014\theta_s)$

管壁ガ粗ナル場合(銅管) $\alpha = 775 \frac{v^{0.7}}{d^{0.3}} (1 + 0.014\theta_s)$

上式中 v ハ水速 m/s, d ハ管ノ内徑 m, θ_s ハ管壁ノ温度 °C.

水ガ蒸發スル場合ノ法則ハ明瞭ナラズ。從來ノ實驗ニヨレバコノ場合ノ α ノ値ハ 1100 ~ 7000 ノ間ニアル。

4. 水蒸氣ガ水平ニ置カレタ冷キ圓管ノ軸ニ直角ノ方向ニ流レソノ外面ニ凝結スル場合
速度 1 m/s 以下ナル蒸氣ニ對シテハ

$$\alpha = 2628 \sqrt[4]{\frac{r\gamma_c^2\lambda_c^3}{\mu_f d(\theta_f - \theta_s)}}, \quad \theta_m = \frac{1}{2}(\theta_f + \theta_s)$$

θ_f ハ蒸氣温度 °C, θ_s ハ管壁温度 °C, r ハ蒸發潜熱 kcal/kg, γ_c ハ温度 θ_m = 於ケル凝結水ノ單位體積ノ重量 kg/m³, λ_c ハ温度 θ_m = 於ケル凝結水ノ熱傳導率 kcal/m-h-°C, μ_f ハ温度 θ_m = 於ケル凝結水ノ粘度 kg-s/m², d ハ管ノ直径 m.

凝結器等ノ例ニ於テハ上式ハ蒸氣ノ流レニ當ル第一列ノ管ノミニ適用ス。第二列以下ニ對スル α ノ値ハ著シク減ジソノ程度ハ管ノ配列方法ニヨル。上式ニ於テ $A = r\gamma_c^2\lambda_c^3/\mu_f$ ト置キ第 14 表ニ種々ノ温度ニ於ケル A 及 $\sqrt[4]{A}$ ノ値ヲ示ス。

第 14 表

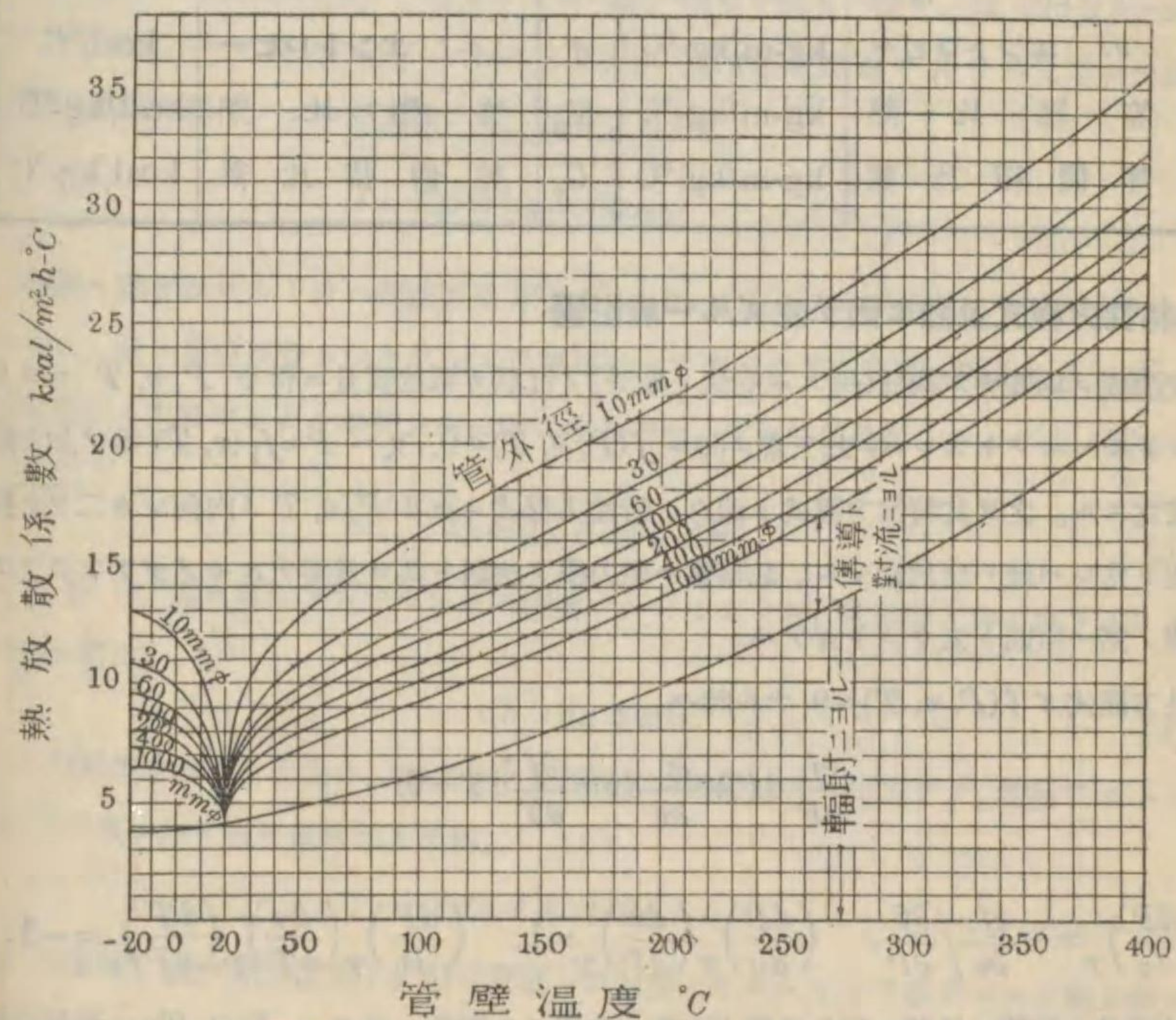
温度 °C	A	$\sqrt[4]{A}$	温度 °C	A	$\sqrt[4]{A}$
0	8.9	1.725	70	36	2.45
5	10.5	1.8	80	41	2.53
10	12.1	1.865	90	45	2.59
15	13.9	1.93	100	49	2.65
20	15.6	1.99	110	53	2.7
25	17.5	2.04	120	57	2.75
30	19.5	2.1	130	61.5	2.8
40	23.6	2.2	140	64	2.83
50	27.8	2.3	150	69	2.88
60	32	2.38	160	70	2.9

5. 靜カナル空氣中ニ在ル水平圓管ノ外面ヨリ對流ニヨリ熱ガ失ワル、場合

$$\alpha = \frac{c\lambda}{\sqrt[4]{d}} \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \left(\log \frac{T_s}{T_a} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad T_m = \frac{T_a + T_s}{2}$$

T_a ハ空氣ノ絶對温度 °K, T_s ハ管表面ノ絶對温度 °K, γ ハ T_m = 於ケル空氣ノ單位體積重量 kg/m³, μ ハ T_m = 於ケル空氣ノ粘度 kg-s/m², λ ハ T_m = 於ケル空氣ノ熱傳導率 kcal/m-h-°C, d ハ管ノ外徑 m, c ハ管ノ表面ノ性質ニヨル常數デアツテ其值ハ鍊鐵管ニ對シ 0.264, 鑄鐵管ニ對シ 0.248, 銅管ニ對シテ 0.231.

6. 室温ガ 20°C ナル時室内ニ在ル水平鍊鐵管ノ表面ヨリ輻射對流ニヨリ失ワル、熱量
第 1 圖ハ輻射係數 C ヲ 4.2 トシ, 對流ニヨル表面ノ傳達係數ノ常數 c ヲ 0.264 トセル時, 室温 20°C = 對シ管壁温度ノ種々ナル値ノ場合ニ種々ノ外徑ヲ有スル管ヨリ温度差 1°C 毎ニ毎平方米當リ毎時間ニ失ワル、熱量ヲ kcal = テ與エタルモノデアル。



第 1 圖

第 2 章 熱 力 學

特ニ記載セラレタ場合ヲ除キ本章ニ用イラレタ記號ノ意味及單位ハ次表ニ示ス如シ。

t	溫 度	°C	T	絶 對 溫 度	°K
p	絶 對 壓 力	kg/cm ²	P	絶 對 壓 力	kg/m ²
v	單 位 重 量 當 り 體 積	m ³ /kg	V	Mkg 當 り 體 積	m ³
q	熱 量	kcal/kg	Q	熱 量	kcal
h	熱 量	kg-m/kg	H	熱 量	kg-m
u	内 部 エ ネ ル ギ ー	kg-m/kg	U	内 部 エ ネ ル ギ ー	kg-m
i	全 熱 量	kg-m/kg	I	全 熱 量	kg-m
W	仕 事	kg-m/kg	E	仕 事	kg-m
ϕ	エ ン ト ロ ピ ー	kg-m/kg-°C	Φ	エ ン ト ロ ピ ー	kcal/°C
K_p	等 壓 比 熱	kg-m/kg-°C	C_p	等 壓 比 熱	kcal/kg-°C
K_v	等 體 積 比 熱	kg-m/kg-°C	C_v	等 體 積 比 熱	kcal/kg-°C

14. 特性方程式及熱ニ因子生ズル一般影響

密度溫度ノ均等ナル物質(例エバ空氣ノ如シ)ノ性狀ガ單位質量ニ付キ P, v, T ニヨリテ表ワサルハモノトスレバ、此三者ノ間ニ $f(P, v, T)=0$ 、又ハ $P=f_1(v, T)$ 等ノ如キ關係ガ成立スル。之ヲ其特性方程式ト云フ。特性方程式ニヨリ P, v, T ノ内何レカニツラ獨立變數ト見レバ殘ハ自然定マル。此事實ハ熱力學ノ法則ト共ニ重要ナルモノデアツテ之ヲ熱力學ノ第一原則ト云フコトガアル。

特性方程式ガ $f(P, v, T)=0$ ナル時ハ

$$\frac{\partial f}{\partial P} dP + \frac{\partial f}{\partial v} dv + \frac{\partial f}{\partial T} dT = 0.$$

故ニ

$$\left(\frac{dP}{dv}\right)_T = -\frac{\partial f / \partial v}{\partial f / \partial P}, \quad \left(\frac{dP}{dv}\right)_T \left(\frac{dv}{dP}\right)_T = 1, \quad \left(\frac{dP}{dv}\right)_T \left(\frac{dv}{dT}\right)_P \left(\frac{dT}{dP}\right)_v = -1.$$

單位質量ノ流體ノ性狀ニ變化ヲ與ウル爲ニ必要ナル熱量ニ就テハ P, v, T ノ内何レカニツラ獨立變數ト看做セバ次ノ諸式ガ成立スル。

$$\left. \begin{aligned} dq &= \left(\frac{dq}{dT}\right)_v dT + \left(\frac{dq}{dv}\right)_T dv, \\ dq &= \left(\frac{dq}{dP}\right)_T dP + \left(\frac{dq}{dT}\right)_P dT, \\ dq &= \left(\frac{dq}{dv}\right)_P dv + \left(\frac{dq}{dP}\right)_v dP \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

此等ノ關係ヨリ一般的ニ

$$dq = C_v \left(\frac{dT}{dP}\right)_v dP + C_p \left(\frac{dT}{dv}\right)_P dv. \dots \dots \dots (2)$$

15. 熱力學ノ法則

1. 第一法則 熱ト機械的仕事トノ間ニハ一定ノ關係ガアツテ 1 kcal ハ國際重力單位ニテ 426.9 kg-m ニ當リ、前者ガ後者ニ或ハ後者ガ前者ニ變ル。此 426.9 kg-m/kcal ヲ J ナル文字ニテ表ワシ之ヲ Joule 仕事當量ト云フ。此逆數ヲ A ナル文字ニテ表ワス。此第一法則ヲ時トシテハ熱力學ノ第二原則ト云フ。

$$J = 426.9 \text{ kg-m/kcal}, \quad A = \frac{1}{J}.$$

物體ニ熱ヲ與ウルトキハ其溫度及ポテンシャル・エネルギー増スノミナラズ、外部仕事ヲナス。故ニ單位質量ニ付キテ α ニ仕事單位ニテ表ワシタル溫度ニ因ルエネルギー、 β ニ仕事單位ニテ表ワシタルポテンシャル・エネルギー W ニ外部仕事トスレバ次ノ關係ガ成立スル。

$$dh = d\alpha + d\beta + dW. \dots \dots \dots (3)$$

α ト β トノ間ニ區別ヲ立ツルコトハ困難ナルノミナラズ、其必要ガ少イカラ (3) 式ヲ次ノ如ク書ク。

$$dh = du + dW. \dots \dots \dots (4)$$

u ヲ内部エネルギート云フ。熱ヲ受ケテ膨脹スル流體ニテハ壓力ヲ P 、體積ヲ v トスレバ (4) 式ヲ次ノ如ク書き直スコトヲ得。

$$dh = du + Pdv. \dots \dots \dots (5)$$

(3) 乃至 (5) 式ハ熱ト仕事トガ同ジ單位ニテ加算セラル、コトヲ示スニヨリ熱力學ノ第一法則ヲ式ニヨツテ表ワシタモノトナル。

2. 第二法則 熱ハ低溫度ノ物體ヨリ高溫度ノ物體ニ自ラ移ルコト能ワズ。此法則ヲ

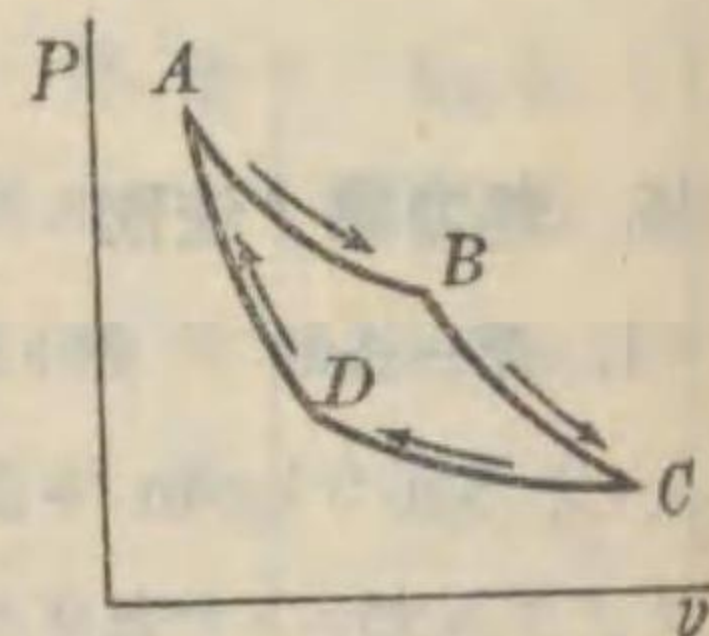
時トシテハ熱力學ノ第三原則ト云ウ。一定ノ高熱源及低熱源ノ絶對溫度ヲ夫々 T_1 及 T_2 トスレバ此溫度間ニ働ク熱機關ノ最大熱効率 η ハ次ノ如クナル。

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \dots \dots \dots (6)$$

依テ第一法則ハ熱ガ機械の仕事ニ變ルコトヲ示シ、第二法則ハ此變化ニ限度アルコトヲ示ス。

16. カルノー・サイクルト逆ニシ得ベキサイクル

單位質量ノガスガ A ナル状態ヨリ B 迄等溫膨脹、B ヨリ C 迄斷熱膨脹、C ヨリ D 迄等溫壓縮、D ヨリ A 迄斷熱壓縮ヲナシテマタ初ノ状態ニ復歸スルガ如キサイクルヲカルノー・サイクルト云ウ。然シ逆ニ A ヨリ D 迄斷熱膨脹、D ヨリ C 迄等溫膨脹、C ヨリ B 迄斷熱壓縮、B ヨリ A 迄等溫壓縮ヲナシテ再ビ初ノ状態ニ復歸セシムルコトヲ得ルガ故ニカルノー・サイクルハ之ヲ逆ニ働カスコトヲ得。斯ノ如キモノヲ熱力學ニテハ逆ニシ得ベキサイクルト云ウ。



第 2 圖

A-B 變化ヲナス間ノ絶對溫度ヲ T_1 、C-D 變化ヲナス間ノ絶對溫度ヲ T_2 トスレバカルノー・サイクルノ熱効率ハ次ノ如シ。

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

故ニ(6)式ニヨリカルノー・サイクルヲ行ウ熱機關ハ最大熱効率ヲ有ス。

A-B 變化中ニ受取リタル熱量ヲ q_1 、C-D 變化中ニ捨テタル熱量ヲ q_2 トスルトキハカルノー・サイクルニテハ次ノ關係ガ成立スル。

$$\frac{q_1}{T_1} = \frac{q_2}{T_2} \dots \dots \dots (7)$$

17. エントロピー

熱ノ出入ガ一定ノ溫度ノ下ニ行ワレズトモ逆ニシ得ベキ作用カラ成立ツサイクルニテハ(7)式ヲ利用スルトキハ $\int \frac{dq}{T} = 0$ ナル關係ガ求メラレル。但シ dq ハ出入スル少量ノ熱量、 T ハ其時ノ絶對溫度デアアル。 $\frac{dq}{T} = d\phi$ ト置キ ϕ ヲエントロピート云ウ。熱力學事單位ニテ表ワス事ノ便利ナル場合多キ故ソノ場合ニ對シテハ

$$d\phi = \frac{dh}{T} \dots \dots \dots (8)$$

斷熱變化中ハ $dh=0$ 、從ツテ $d\phi=0$ 即チエントロピーノ値一定デアアル。

18. サーマダイナミック・ポテンシャル

$$i = u + Pv \dots \dots \dots (9)$$

$$p = i - T\phi \dots \dots \dots (10)$$

$$\psi = u - T\phi \dots \dots \dots (11)$$

$i, p,$ 及 ψ ヲサーモダイナミック・ポテンシャルト云ウ。然シ i ハ一般ニハ全熱量トシテ知ラレ機械工學ニ關シタル熱力學上甚ダ重要ナモノデアアル。而シテ ψ ハ化學ニ、 p ハ同一物質ノ相 (Phase) ニ關シタル熱力學上肝要デアアル。

19. 熱力學ノ一般的關係

(5), (8), (9), (10) 及 (11) 式ヨリ次ノ諸式ヲ求ムルコトガ出來ル。

$$du = Td\phi - Pdv \dots \dots \dots (12)$$

$$di = Td\phi + v dP \dots \dots \dots (13)$$

$$d\rho = v dP - \phi dT \dots \dots \dots (14)$$

$$d\psi = -Pdv - \phi dT \dots \dots \dots (15)$$

1. Maxwell ノ關係式

(12) 乃至 (15) 式ノ左邊ニアルモノハ總テ完全微分ナルガ故ニ直ニ次ノ四ツノ關係式ガ成立スル。之ヲ Maxwell ノ關係式ト云ウ。

$$\left(\frac{dT}{dv}\right)_\phi = -\left(\frac{dP}{d\phi}\right)_v, \quad \left(\frac{dv}{dT}\right)_P = -\left(\frac{d\phi}{dP}\right)_T,$$

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_\phi = \left(\frac{dv}{d\phi}\right)_P, \quad \left(\frac{dP}{dT}\right)_v = \left(\frac{d\phi}{dv}\right)_T$$

2. u, i, p 及 ψ 間ノ關係式

(12) 乃至 (15) 式ヨリ次ノ四ツノ關係式ヲ求メ得。

$$\left(\frac{di}{d\phi}\right)_P = T = \left(\frac{du}{d\phi}\right)_v, \quad \left(\frac{d\psi}{dv}\right)_T = -P = \left(\frac{du}{dv}\right)_\phi,$$

$$\left(\frac{di}{dP}\right)_\phi = v = \left(\frac{d\rho}{dP}\right)_T, \quad \left(\frac{d\psi}{dT}\right)_v = -\phi = \left(\frac{d\rho}{dT}\right)_P$$

3. 比熱ヲ含ム關係式

(1), (5), (8) 及 (9) 式ヲ適當ニ組合ストキハ次ノ關係式ヲ求メ得。

$$K_v = \left(\frac{dh}{dT}\right)_v = T \left(\frac{d\phi}{dT}\right)_v = \left(\frac{du}{dT}\right)_v, \quad \frac{K_v}{T} \left(\frac{dT}{dv}\right)_\phi = - \left(\frac{dP}{dT}\right)_v.$$

$$K_p = \left(\frac{dh}{dT}\right)_P = T \left(\frac{d\phi}{dT}\right)_P = \left(\frac{di}{dT}\right)_P, \quad \frac{K_p}{T} \left(\frac{dT}{dP}\right)_\phi = \left(\frac{dv}{dT}\right)_P.$$

$$K_p - K_v = T \left(\frac{dv}{dT}\right)_P \left(\frac{dP}{dT}\right)_v \dots \dots \dots (16)$$

$$\left(\frac{dK_v}{dv}\right)_T = T \left(\frac{d^2P}{dT^2}\right)_v, \quad \left(\frac{dK_p}{dP}\right)_T = -T \left(\frac{d^2v}{dT^2}\right)_P.$$

$$\frac{K_p}{K_v} = \gamma = \left(\frac{dv}{dP}\right)_T \left(\frac{dP}{dv}\right)_\phi, \quad \left(\frac{dP}{dv}\right)_\phi = \gamma \left(\frac{dP}{dv}\right)_T.$$

故ニ斷熱膨脹ニ於ケル P_v 線ノ傾キハ等溫膨脹ニ於ケルモノ、γ 倍トナル。

4. Clapeyron ノ關係式

$$\left(\frac{dh}{dv}\right)_T = T \left(\frac{dP}{dT}\right)_v, \quad \left(\frac{dh}{dP}\right)_T = -T \left(\frac{dv}{dT}\right)_P.$$

5. h, u, i 及 φ ニ關スル公式

$$dh = K_v dT + T \left(\frac{dP}{dT}\right)_v dv = K_p dT - T \left(\frac{dv}{dT}\right)_P dP, \dots \dots \dots (17)$$

$$du = K_v dT + \left\{ T \left(\frac{dP}{dT}\right)_v - P \right\} dv, \dots \dots \dots (18)$$

$$di = K_p dT + \left\{ v - T \left(\frac{dv}{dT}\right)_P \right\} dP, \dots \dots \dots (19)$$

$$d\phi = \frac{K_v}{T} dT + \left(\frac{dP}{dT}\right)_v dv = \frac{K_p}{T} dT - \left(\frac{dv}{dT}\right)_P dP. \dots \dots \dots (20)$$

6. Joule-Thomson 効果—全熱量不變膨脹

熱ノ供給ヲ受ケザル絞リ作用ニ於テハ全熱量一定セルニヨリ di=0 トナル。故ニ(19)式ニ於テ di=0 トシ

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_i = \frac{1}{K_p} \left\{ T \left(\frac{dv}{dT}\right)_P - v \right\}. \dots \dots \dots (21)$$

コノ式ハ絞リ作用ニ於テ壓力ノ單位降下ニ對シテ現ワル、溫度ノ變化ヲ示スモノデアル。
 $\left(\frac{dv}{dT}\right)_P < \frac{v}{T}$ ナル時ハ溫マリ、 $\left(\frac{dv}{dT}\right)_P > \frac{v}{T}$ ナル時ハ冷ユ。兩者相等シキ時ハ溫度ニ變化起ラズ。此時ノ溫度ヲ轉換溫度ト云フ。更ニ(19)式ヨリ次ノ關係ガ求メラレル。

$$K_p \left(\frac{dT}{dP}\right)_i = - \left(\frac{di}{dP}\right)_T$$

7. 内部エネルギー不變膨脹

此場合ハ du=0 ナルニヨリ (18) 式ヨリ

$$- \left(\frac{dT}{dv}\right)_u = \frac{1}{K_v} \left\{ T \left(\frac{dP}{dT}\right)_v - P \right\} \dots \dots \dots (22)$$

再ビ(18)式ヲ利用スルトキハ

$$-K_v \left(\frac{dT}{dv}\right)_u = \left(\frac{du}{dv}\right)_T$$

8. i-φ, T-φ 及 i-P 線圖中ニ於ケル線ノ傾キ

前項2ニ述ベタル $\left(\frac{di}{d\phi}\right)_P = T$ ナル關係ハ i ト φ トヲ座標ニ取リタル線圖ニ於ケル等壓線ノ傾キヲ示スニヨリ此線圖ニ於ケル總テノ等壓線ハ等溫線ト夫々一定ノ角ニテ交ワルコトガ明デアル。諸線圖中ノ各線ノ傾キヲ表ワス關係式ハ次ノ如クデアル。

i-φ 線圖ニ於テ

等壓線ノ傾キ $\left(\frac{di}{d\phi}\right)_P = T.$

等溫線ノ傾キ $\left(\frac{di}{d\phi}\right)_T = T + v \left(\frac{dP}{d\phi}\right)_T = T - v \left(\frac{dT}{dv}\right)_P.$

等體積線ノ傾キ $\left(\frac{di}{d\phi}\right)_v = T + v \left(\frac{dP}{d\phi}\right)_v = T - v \left(\frac{dT}{dv}\right)_\phi.$

T-φ 線圖ニ於テ

等全熱量線ノ傾キ

$$\left(\frac{dT}{d\phi}\right)_i = - \frac{T}{v} \left(\frac{dT}{dP}\right)_i = \frac{T}{K_p} \left\{ 1 - \frac{T}{v} \left(\frac{dv}{dT}\right)_P \right\} = \frac{T}{K_v} - \frac{T^2}{v} \left(\frac{dv}{dT}\right)_P.$$

i-P 線圖ニ於テ

等エントロピー線ノ傾キ $\left(\frac{di}{dP}\right)_\phi = v.$

等温線ノ傾キ $\left(\frac{di}{dP}\right)_T = v - T\left(\frac{dv}{dT}\right)_P$

等體積線ノ傾キ $\left(\frac{di}{dP}\right)_v = v + K_v\left(\frac{dT}{dP}\right)_v = v - T\left(\frac{dv}{dT}\right)_\phi$

9. Clapeyron ノ公式

v_w = 單位質量ノ液ノ體積 m^3/kg , v_s = 單位質量ノ液ノ気化センモノ、體積 m^3/kg ,
 L = 蒸發潜熱 $kg\cdot m/kg$ トスレバ

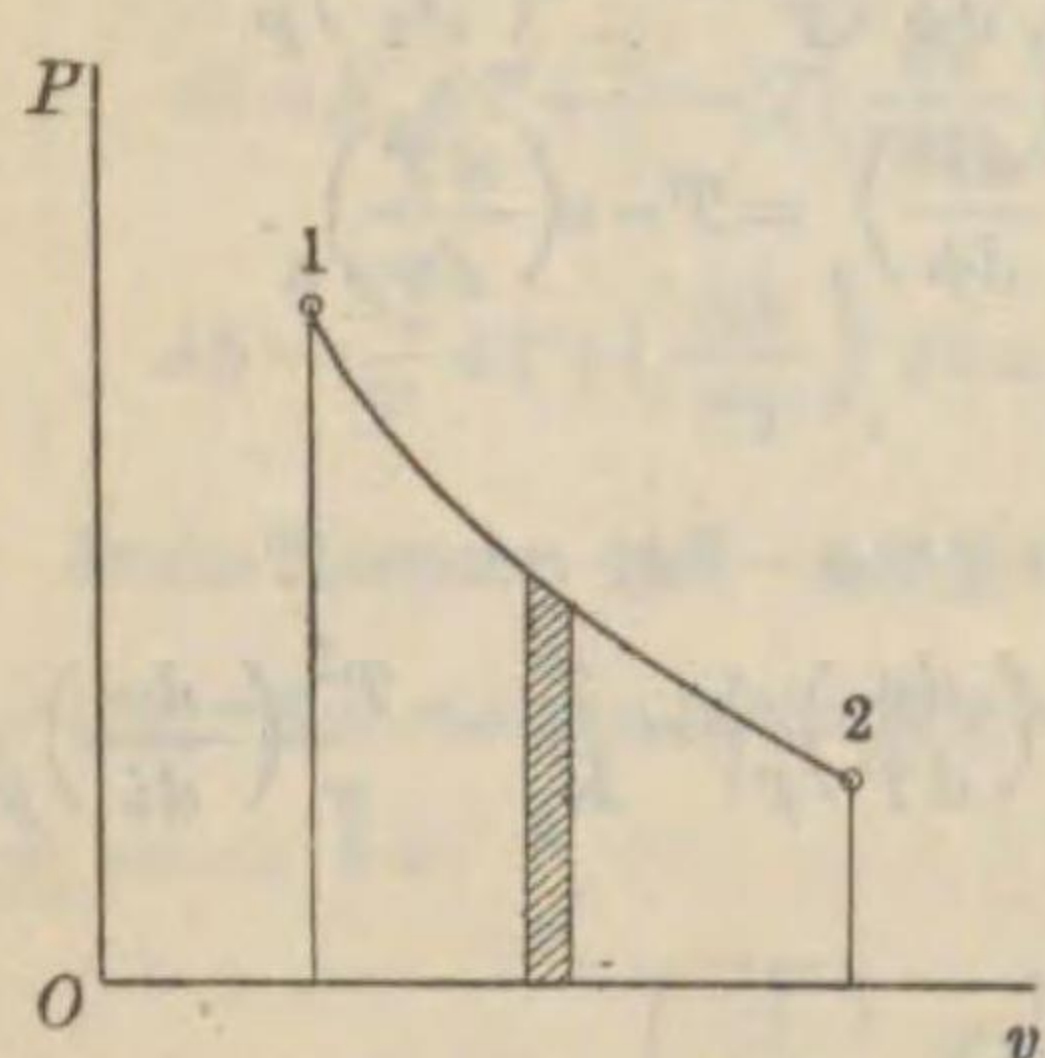
$$v_s - v_w = \frac{L}{T} \frac{dT}{dP}$$

20. 線 圖

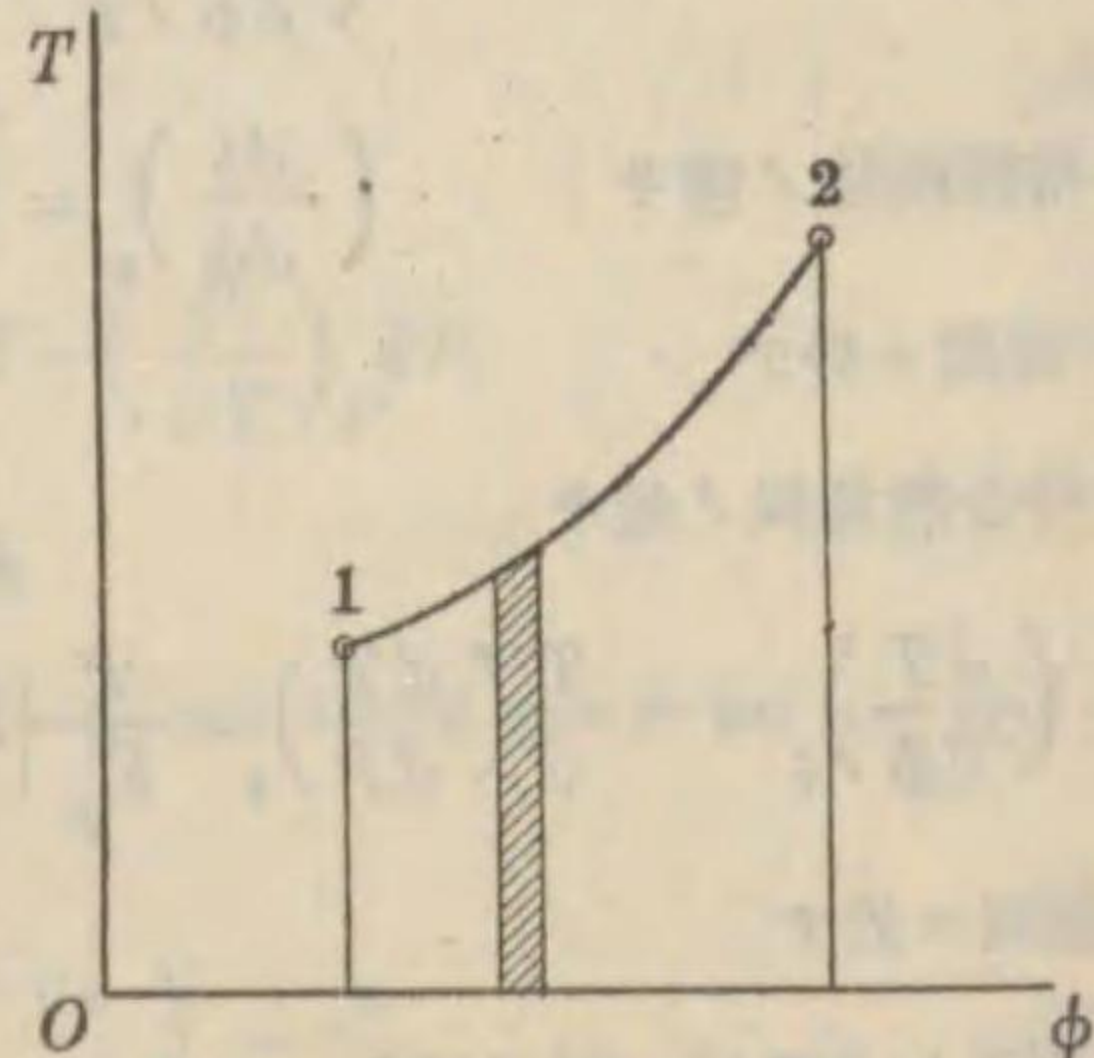
P, v, T, ϕ, u, i ナル 6 ノ變數中任意ノ 2 ヲ撰ビ之ヲ座標トシテ線圖ヲ作り物質性狀ノ變化ヲ示ス事ガ出來ル。就中 P ト v, T ト ϕ, i ト ϕ ヲ用イタ線圖ガ最も利用セラレル。

1. $P-v$ 線圖 (第 3 圖) 縦軸 = 壓力 P , 横軸 = 體積 v ヲ取レル線圖 = シテ, 1-2 曲線ト Ov 軸間ノ面積 $\int_{v_1}^{v_2} P dv$ ハ 1-2 變化ノ間 = 單位質量ノガスガ爲ス仕事 W_{1-2} ヲ示ス。此線圖ノ上 = ノサイクルヲ表ワセバソノ曲線 = 依リテ包マレタ部分ノ面積ハソノサイクル中 = ガスノ爲シタル仕事ヲ示ス。例エバ往復機關ノインヂキータ線圖ノ如シ。

2. $T-\phi$ 線圖 (第 4 圖) 縦軸 = 絶對溫度 T , 横軸 = エントロピー ϕ ($kg\cdot C$) ヲ取レル線圖 = シテ, 1-2 曲線ト $O\phi$ 軸間ノ面積 $\int_{\phi_1}^{\phi_2} T d\phi$ ハ 1-2 變化ノ間 = 單位質量ノ物質ガ外部ヨリ吸收シタル熱量 q_{1-2} ヲ表ワス。但シ變化ノ間 = 摩擦等 = 依ル逆



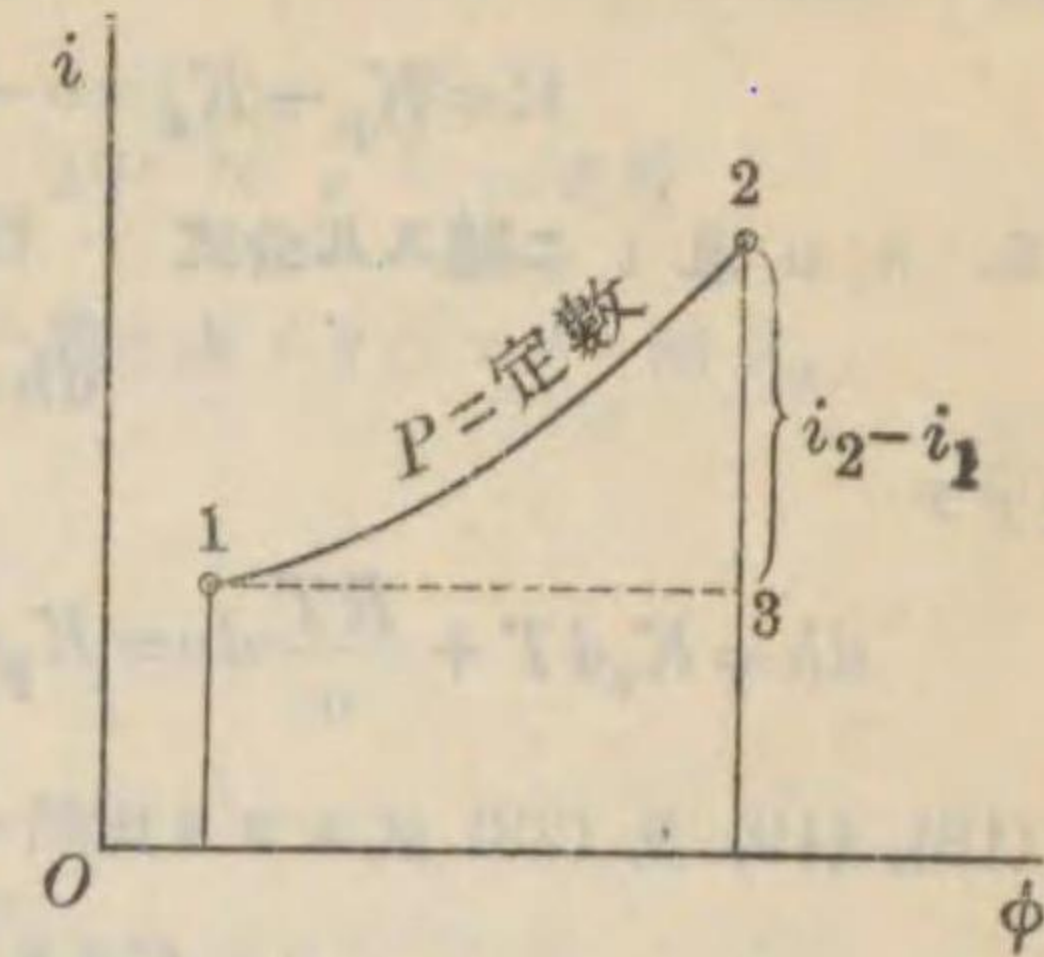
第 3 圖



第 4 圖

= シ得ベカラザル變化ナキモノトス。等温線ハ $O\phi$ 軸 = 並行ナル直線トナリ, 逆 = シ得ベキ断熱線ハ OT 軸 = 並行ナル直線トナル。

3. $i-\phi$ 線圖 (第 5 圖) 縦軸 = 全熱量 i ($kg\cdot C$), 横軸 = エントロピー ϕ ($kg\cdot C$) ヲ取レル線圖 = シテ, Mollier 教授ノ考案 = ナレルモノナルガ故 = Mollier 線圖トモ稱ス。線圖上 = 等壓線 1-2 ヲ引ケバ等壓變化 1-2 間 = 吸收セララル熱量ハ $q_{1-2} = i_2 - i_1$ = シテ, 之ハ 2-3 ナル線分ヲ以テ表ワサレル。



第 5 圖

水蒸氣 = 對スル $i-\phi$ 線圖 (第 8 圖) ハ直交軸ヲ撰ベドモアンモニア等 = 對スルモノ = テハ線圖ヲ明 = スルタメ傾斜軸ヲ用ウ。

21. 完全ガス

1. 特性方程式 $Pv = RT \dots \dots \dots (23)$

重量 $M kg$ = 對シ $PV = MRT$

2. ガス定數 各種ガス = 對スルガス定數 R ノ値ハ其分子量 m = 逆比例シ, 酸素ノ分子量ヲ 32 トナス時ハ $R = 848/m$ ナル關係式 = テ表ワサル。空氣 = 對スル $R = 29.27$ 。

3. 内部エネルギー (23) 式ヲ (18) 式 = 應用スルトキハ

$$u = K_v T \dots \dots \dots (24)$$

トナル = ヨリ完全ガスノ内部エネルギーハ其絶對溫度ノミノ函數トナル。比熱ヲ上ノ如ク定數ト看做サズ之ヲ絶對溫度ノ一次式ト看做ス事ガアル。即チ

$$K_v = a + sT, \quad K_p = b + sT$$

此場合ハ $u_2 - u_1 = a(T_2 - T_1) + \frac{1}{2}s(T_2^2 - T_1^2)$

4. 比熱 (16) 式ト (23) 式ト = ヨリ

$$K_p - K_v = R \quad \text{又ハ} \quad C_p - C_v = AR = \frac{1.985}{m} = \frac{2}{m} \dots \dots (25)$$

$$\frac{K_p}{K_v} = \frac{C_p}{C_v} = \gamma \quad (\text{二原子ガス = 對シテハ} \gamma = 1.4)$$

比熱ガ絶對溫度ノ一次式ニテ與エラル、時ハ

$$R = K_p - K_v = b - a, \quad \gamma_0 = (K_p / K_v)_{T=0} = b/a.$$

5. h, u 及 i ニ關スル公式 (24) 式ヲ (5) 式ニ應用スルトキハ

$$dh = K_v dT + P dv.$$

從ツテ

$$dh = K_v dT + \frac{RT}{v} dv = K_p dT - \frac{RT}{P} dP = K_v \frac{v}{R} dP + K_p \frac{P}{R} dv. \quad (26)$$

(18), (19) 及 (23) 式ニヨリ比熱一定ノ場合ハ

$$u = K_v t + K, \quad i = K_p t + K.$$

6. エントロピーニ關スル公式 (26) 式ヨリ直ニ次ノ諸式ヲ導ク事ヲ得。

$$d\phi = K_v \frac{dT}{T} + (K_p - K_v) \frac{dv}{v} = K_p \frac{dT}{T} + (K_v - K_p) \frac{dP}{P} = K_v \frac{dP}{P} + K_p \frac{dv}{v}.$$

此等ヲ積分シテ

$$\begin{aligned} \phi_2 - \phi_1 &= K_v \log \frac{T_2}{T_1} + (K_p - K_v) \log \frac{v_2}{v_1} = K_p \log \frac{T_2}{T_1} + (K_p - K_v) \log \frac{P_1}{P_2} \\ &= K_v \log \frac{P_2}{P_1} + K_p \log \frac{v_2}{v_1}. \end{aligned}$$

比熱ガ溫度ノ一次式ニテ表ワサル、モノトスレバ

$$\phi_2 - \phi_1 = a \log \frac{T_2}{T_1} + s(T_2 - T_1) + (b - a) \log \frac{v_2}{v_1}.$$

7. 斷熱變化ニ關スル公式 (26) 式ノ $dh = 0$ トシテ次ノ諸式ヲ求メ得。

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dv}{v} = 0, \quad \frac{dT}{T} - \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{dP}{P} = 0, \quad \frac{dP}{P} + \gamma \frac{dv}{v} = 0.$$

比熱ヲ定數トシテ此等ヲ積分スルトキハ

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma-1}, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}, \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma}$$

故ニ斷熱變化ニ於テハ

$$\begin{aligned} Pv^\gamma &= \text{定數}, \\ Tv^{\gamma-1} &= \text{定數}, \\ TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} &= \text{定數}. \end{aligned}$$

γ	1.406	1.3
$\gamma - 1$.406	.3
$\frac{\gamma - 1}{\gamma}$.289	.23

若比熱ガ溫度ノ一次式トシテ與エラル、トキハ

$$Pv^{\gamma_0} e^{\frac{sT}{a}} = \text{定數}, \quad Tv^{\gamma_0-1} e^{\frac{sT}{a}} = \text{定數}, \quad TP^{\frac{1-\gamma_0}{\gamma_0}} e^{\frac{sT}{b}} = \text{定數}.$$

比熱ガ定數ナルトキハ上式ノ $s=0$ トナリ、其結果ハ曩ニ求メタルモノト同ジ。

8. 膨脹ニ要スル熱量

i. 等壓膨脹ニ要スル熱量

a) 比熱ノ一定セルトキ

$$h = \frac{K_p}{R} P(v_2 - v_1), \quad q = \frac{C_p}{R} P(v_2 - v_1).$$

b) 比熱ガ溫度ノ一次式ニヨツテ變ズルトキ

$$h = \frac{b}{R} P(v_2 - v_1) + \frac{sP^2}{R} \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2).$$

ii. 等溫膨脹ニ要スル熱量

$$h = RT \log \frac{v_2}{v_1} = P_1 v_1 \log \frac{v_2}{v_1}$$

iii. ポリトロピック膨脹ニ要スル熱量 ポリトロピック曲線 (第 15 表参照) トハ

$$Pv^n = \text{定數}, \quad \text{但シ } 1 < n < \gamma.$$

a) 比熱ノ一定セルトキ

$$h = K_v(T_1 - T_2) \left(\frac{\gamma - n}{n - 1}\right) \dots \dots \dots (27)$$

b) 比熱ガ溫度ノ一次式ニヨツテ變ズルトキ

$$h = a(T_1 - T_2) \frac{\gamma_0 - n}{n - 1} - \frac{s}{2}(T_1^2 - T_2^2) \dots \dots \dots (28)$$

9. 膨脹中ニ於テ熱ヲ受取ル割合

$$\frac{dh}{dv} = \frac{1}{\gamma_0 - 1} \left\{ \gamma_0 P + v \frac{dP}{dv} \right\} + \frac{sT}{b - a} \left\{ P + v \frac{dP}{dv} \right\} \dots \dots \dots (29)$$

比熱ノ一定セル場合ハ $s=0$ トシ $\gamma_0 = \gamma$ ト置ク。故ニ

$$\frac{dh}{dv} = \frac{1}{\gamma - 1} \left\{ \gamma P + v \frac{dP}{dv} \right\}.$$

ポリトロピック膨脹ヲナストキハ $Pv^n = \text{定數}$ ナルガ故ニ此關係式ヲ (29) 式ニ用ウレバ

$$\frac{dh}{dv} = \left\{ \frac{\gamma_0 - n}{\gamma_0 - 1} - sT \frac{n-1}{b-a} \right\} P \dots \dots \dots (30)$$

比熱ノ一定セル場合ハ (30) 式ノ $s=0$ トシ $\gamma_0 = \gamma$ ト置ケバ

$$\frac{dh}{dv} = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} P \dots \dots \dots (31)$$

(27) 式ハ (31) 式ヨリ, (28) 式ハ (30) 式ヨリ導キタルモノデアル。

10. 膨脹又ハ壓縮中ニナシタル仕事

i. 等温膨脹中ニナシタル仕事

$$W_{1-2} = P_1 v_1 \log \frac{v_2}{v_1}$$

ii. ポリトロピック膨脹中ニナシタル仕事

$$W_{1-2} = \frac{P_1 v_1}{n-1} \left\{ 1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \right\} = \frac{P_1 v_1 - P_2 v_2}{n-1}$$

上式ニ於テハ變化ノ始ニ於ケルモノニ記號 1, 終ニ於ケルモノニ 2 ヲ附シテ區別シク。膨脹壓縮共ニ同ジ式ニテナシタル仕事ヲ表ワス。然シ壓縮ノ場合ハ v_1 ガ v_2 ヨリ大ナルガ故ニ上式ニヨル仕事ハ負トナル。之ハ流體ニ他カラ仕事ヲ與エルト云ウ意味ニ過ギヌ。

11. 完全ガスノ特殊變化

以上述ベタルモノヲ變化ノ種類ニヨリテ區別スル事ガ便利デアル。下記諸關係式ニ於テ 1, 2 ナル數字ハ變化ノ最初及最後ノ状態ヲ示シ, 比熱ハ温度ニ無關係ナル定數ト看做シテアル。

i. 等體積變化 $V = \text{定數}, P_2/P_1 = T_2/T_1$

$$H_{1-2} = U_2 - U_1 = MK_v(t_2 - t_1) = \frac{V}{\gamma - 1} (P_2 - P_1)$$

$$E = 0$$

$$\Phi_2 - \Phi_1 = MC_v \log(T_2/T_1)$$

ii. 等壓變化 $P = \text{定數}, V_2/V_1 = T_2/T_1$

$$E_{1-2} = P(V_2 - V_1) = MR(t_2 - t_1)$$

$$H_{1-2} = MK_p(t_2 - t_1) = \frac{1}{R} K_p P (V_2 - V_1) = \frac{\gamma}{\gamma - 1} E_{1-2}$$

$$\Phi_2 - \Phi_1 = MC_p \log(T_2/T_1)$$

iii. 等温變化 $PV = \text{定數} \quad P_2/P_1 = V_1/V_2$

$$U_2 - U_1 = 0$$

$$E_{1-2} = MRT \log(V_2/V_1) = P_1 V_1 \log(V_2/V_1)$$

$$H_{1-2} = E_{1-2}$$

$$\Phi_2 - \Phi_1 = Q_{1-2}/T = MAR \log(V_2/V_1)$$

iv. 斷熱變化 $PV^\gamma = \text{定數}, TV^{\gamma-1} = \text{定數}, TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{定數}$

$$E_{1-2} = U_1 - U_2 = MK_v(t_1 - t_2) = \frac{1}{\gamma - 1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

$$= \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\} = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left\{ 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right\}$$

$$H_{1-2} = 0$$

$$\Phi_2 - \Phi_1 = 0$$

v. ポリトロピック變化 $PV^n = \text{定數}$, 1~iv ノ變化ハポリトロピック變化ノ特別ナル場合デアル。

即チ, $n=1$ $PV = \text{定數}$ 等温變化, $n=0$ $P = \text{定數}$ 等壓變化,

$n=\gamma$ $PV^\gamma = \text{定數}$ 斷熱變化, $n=\infty$ $V = \text{定數}$ 等體積變化.

ポリトロピック變化ニ要スル熱量ハ (27) 式ニヨリ $h = \frac{n-\gamma}{n-1} K_v (T_2 - T_1)$ トナルカラ $\frac{n-\gamma}{n-1} K_v$ ヲポリトロピック變化ノ比熱ト云イ K_n ヲ以テ表ワス事ガアル。 n ハ 1 ト γ トノ間ニアルニヨリ K_n ハ負トナル。

$$E_{1-2} = \frac{MR}{n-1} (t_1 - t_2) = M(K_n - K_v)(t_2 - t_1)$$

$$= \frac{P_1 V_1}{n-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{P_1 V_1}{n-1} \left\{ 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right\} = \frac{P_1 V_1}{n-1} \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right\}$$

$$H_{1-2} = MK_n(t_2 - t_1) = \frac{\gamma - n}{\gamma - 1} E_{1-2}$$

第 15 表 ガスノ斷熱及ポリトロピック膨脹

$\frac{P_1}{P_2}$	$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}$				$\frac{P_1}{P_2}$	$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}$			
	1.4	1.3	1.2	1.1		1.4	1.3	1.2	1.1
1.1	1.070	1.076	1.083	1.090	11	5.544	6.325	7.376	8.845
1.2	1.139	1.151	1.164	1.180	12	5.900	6.763	7.931	9.574
1.3	1.206	1.224	1.244	1.269	13	6.247	7.193	8.478	10.30
1.4	1.271	1.295	1.323	1.358	14	6.587	7.614	9.018	11.01
1.5	1.336	1.366	1.401	1.445	15	6.919	8.030	9.551	11.73
1.6	1.399	1.436	1.479	1.533	16	7.246	8.438	10.08	12.44
1.7	1.461	1.504	1.557	1.620	17	7.566	8.841	10.60	13.14
1.8	1.522	1.571	1.633	1.706	18	7.882	9.238	11.12	13.84
1.9	1.581	1.638	1.706	1.791	19	8.192	9.631	11.63	14.54
2.0	1.641	1.705	1.782	1.879	20	8.498	10.02	12.14	15.23
2.5	1.924	2.023	2.145	2.300	21	8.803	10.40	12.64	15.93
3.0	2.193	2.330	2.498	2.715	22	9.097	10.78	13.14	16.61
3.5	2.449	2.624	2.842	3.126	23	9.390	11.15	13.64	17.30
4.0	2.692	2.907	3.177	3.505	24	9.680	11.53	14.13	17.97
4.5	2.926	3.178	3.500	3.925	25	9.967	11.89	14.62	18.65
5.0	3.156	3.449	3.824	4.320	26	10.25	12.26	15.10	19.34
5.5	3.378	3.712	4.142	4.710	27	10.53	12.62	15.58	20.01
6.0	3.598	3.970	4.447	5.100	28	10.81	12.98	16.07	20.68
6.5	3.809	4.218	4.760	5.483	29	11.08	13.33	16.54	21.36
7.0	4.012	4.467	5.058	5.861	30	11.35	13.68	17.02	22.02
7.5	4.217	4.710	5.360	6.250	31	11.62	14.03	17.49	22.69
8.0	4.415	4.950	5.650	6.620	32	11.89	14.38	17.96	23.35
8.5	4.612	5.187	5.950	6.997	33	12.15	14.69	18.43	24.01
9.0	4.800	5.420	6.240	7.370	34	12.42	15.06	18.89	24.68
9.5	4.993	5.651	6.528	7.742	35	12.67	15.41	19.35	25.34
10.0	5.188	5.885	6.820	8.120	36	12.93	15.74	19.81	25.99
					37	13.19	16.07	20.26	26.65
					38	13.44	16.41	20.72	27.30
					39	13.69	16.74	21.18	27.95
					40	13.94	17.07	21.63	28.60

第 16 表 瓦斯ノ性質

記 號	分子 量 <i>m</i>	分子 量 近似值	760 mmHg 0°C = 於ケル 重 kg/m ³	比 重 空氣=1	ガ ス 定 數	20°C, 1 kg/cm ² = 於ケル比熱, kg 當リ		C_p	C_v	20°C, 1 kg/cm ² = 於ケル比熱, モル當リ		$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$
						C_p	C_v			$m C_p$	$m C_v$	
He	4.00	4	0.1785	0.138	212.0	1.251	0.755	5.00	3.02	5.00	3.02	1.66
Ar	39.94	40	1.782	1.378	21.26	0.127	0.077	5.07	3.07	5.07	3.07	1.66
空氣	(28.96)	(29)	1.293	1.000	29.27	0.241	0.172	6.97	4.98	6.97	4.98	1.40
O ₂	32	32	1.429	1.105	26.50	0.218	0.156	6.99	4.99	6.99	4.99	1.40
N ₂	28.02	28	1.2505	0.968	30.26	0.250	0.178	6.99	4.99	6.99	4.99	1.40
H ₂	2.016	2	0.0899	0.0694	420.6	3.408	2.420	6.87	4.88	6.87	4.88	1.407
NO	30.01	30	1.342	1.036	28.26	0.241	0.175	7.26	5.26	7.26	5.26	1.38
CO	28.00	28	1.250	0.967	30.29	0.250	0.180	7.01	5.02	7.01	5.02	1.40
HCl	36.47	36.5	1.639	1.268	23.25	0.191	0.136	7.00	5.00	7.00	5.00	1.40
CO ₂	44.00	44	1.977	1.529	19.27	0.202	0.156	8.89	6.86	8.89	6.86	1.30
N ₂ O	44.02	44	1.978	1.530	19.26	0.21	0.164	9.24	7.20	9.24	7.20	1.28
SO ₂	64.07	64	2.928	2.264	13.24	0.151	0.120	9.68	7.68	9.68	7.68	1.25
NH ₃	17.03	17	0.771	0.596	49.79	0.53	0.41	9.00	7.00	9.00	7.00	1.29
C ₂ H ₂	26.02	26	1.171	0.912	32.59	0.402	0.323	10.46	8.41	10.46	8.41	1.24
CH ₃ Cl	50.48	50.5	2.308	1.783	16.80	(0.18)	(0.14)	(9.10)	(7.10)	(9.10)	(7.10)	1.28
CH ₄	16.03	16	0.717	0.555	52.90	0.531	0.406	8.51	6.51	8.51	6.51	1.31
C ₂ H ₄	28.03	28	1.260	0.975	30.25	0.365	0.292	10.23	8.19	10.23	8.19	1.25
C ₂ H ₆	30.05	30	1.356	1.038	28.21	0.413	0.345	12.41	10.34	12.41	10.34	1.20

第 17 表 0° ヨリ t°C = 至ル間ノ平均定壓比熱 mC_p (モル當リ)

溫度 t°C	N ₂ , O ₂ CO	H ₂ O	CO ₂	溫度 t°C	N ₂ , O ₂ CO	H ₂ O	CO ₂	溫度 t°C	N ₂ , O ₂ CO	H ₂ O	CO ₂
0	6.98	8.25	8.67	1100	7.29	9.13	11.54	2200	7.66	10.63	12.41
100	7.01	8.32	9.19	1200	7.32	9.23	11.65	2300	7.70	10.83	12.46
200	7.03	8.39	9.64	1300	7.36	9.34	11.75	2400	7.73	11.04	12.51
300	7.06	8.46	10.01	1400	7.39	9.45	11.84	2500	7.77	11.25	12.56
400	7.09	8.54	10.32	1500	7.42	9.57	11.93	2600	7.80	11.49	12.60
500	7.11	8.61	10.58	1600	7.46	9.69	12.01	2700	7.84	11.74	12.64
600	7.14	8.69	10.79	1700	7.49	9.83	12.09	2800	7.88	12.00	12.68
700	7.17	8.77	10.97	1800	7.52	9.97	12.16	2900	7.92	12.25	12.71
800	7.20	8.86	11.13	1900	7.56	10.13	12.23	3000	7.95	12.52	12.74
900	7.23	8.95	11.28	2000	7.59	10.29	12.29				
1000	7.26	9.04	11.41	2100	7.63	10.46	12.35				

22. 混合ガス

重量 M_1, M_2, \dots , 體積 V_1, V_2, \dots , 壓力 P_1, P_2, \dots , 絶對溫度 T_1, T_2, \dots ガス定數 R_1, R_2, \dots , 空氣=對スル比重 $\delta_1, \delta_2, \dots$, ナル數種ノガスヲ混合シタル場合化學變化ヲ起サヌ時ハ混合後ノガスノ重量 M , 體積 V , 壓力 P , 絶對溫度 T , ガス定數 R , 空氣=對スル比重 δ ノ間ニハ次ノ關係ガアル。

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1} + \frac{P_2V_2}{T_2} + \dots,$$

$$\frac{PV}{T}\delta = \frac{P_1V_1}{T_1}\delta_1 + \frac{P_2V_2}{T_2}\delta_2 + \dots,$$

$$R = \frac{M_1R_1 + M_2R_2 + \dots}{M}$$

23. 實際ノガス

完全ガスニテハ等溫變化ヲナストキハ $Pv =$ 定數ナルガ故ニ壓力ト體積トヲ座標ニ撰ブトキハ等邊双曲線トナル。然ルニ實際ノガスハ第 6 圖ノ如キ狀況ヲ呈シ、圖中 AB ハ

液體, BC ハ液體ト其蒸氣, CD ハ蒸氣ノミヲ表ワス。而シテ等溫變化ノ溫度ガ變ズルトキハ $EFGH$ ノ如クナル。 FB 線ハ液ノ狀態ト液ト蒸氣トノ混合セル狀態トノ境界ニシテ CG 線ハ液ト蒸氣トノ混合狀態ト全部蒸氣ノ狀態トノ境界デアアル。 C, G 點ハ飽和點ナルガ故ニ CD, GH ノ如キハ過熱狀態ヲ示スモノデアアル。此二ツノ境界線ノ出合イタル點ニ相當スル溫度以上ニテハガスハ如何ニ壓縮セラル、モ液化セズ。此溫度ヲ臨界溫度、此點ニ於ケル飽和壓力ヲ臨界壓力、ソノ時ノ體積ヲ臨界體積ト云ウ。即チ實際ガスノ等溫線ハ臨界點ニ於テ接線ガ水平ナル彎曲點ヲ有スル

ニヨリ

$$\left(\frac{dP}{dv}\right)_T = 0, \quad \left(\frac{d^2P}{dv^2}\right)_T = 0.$$

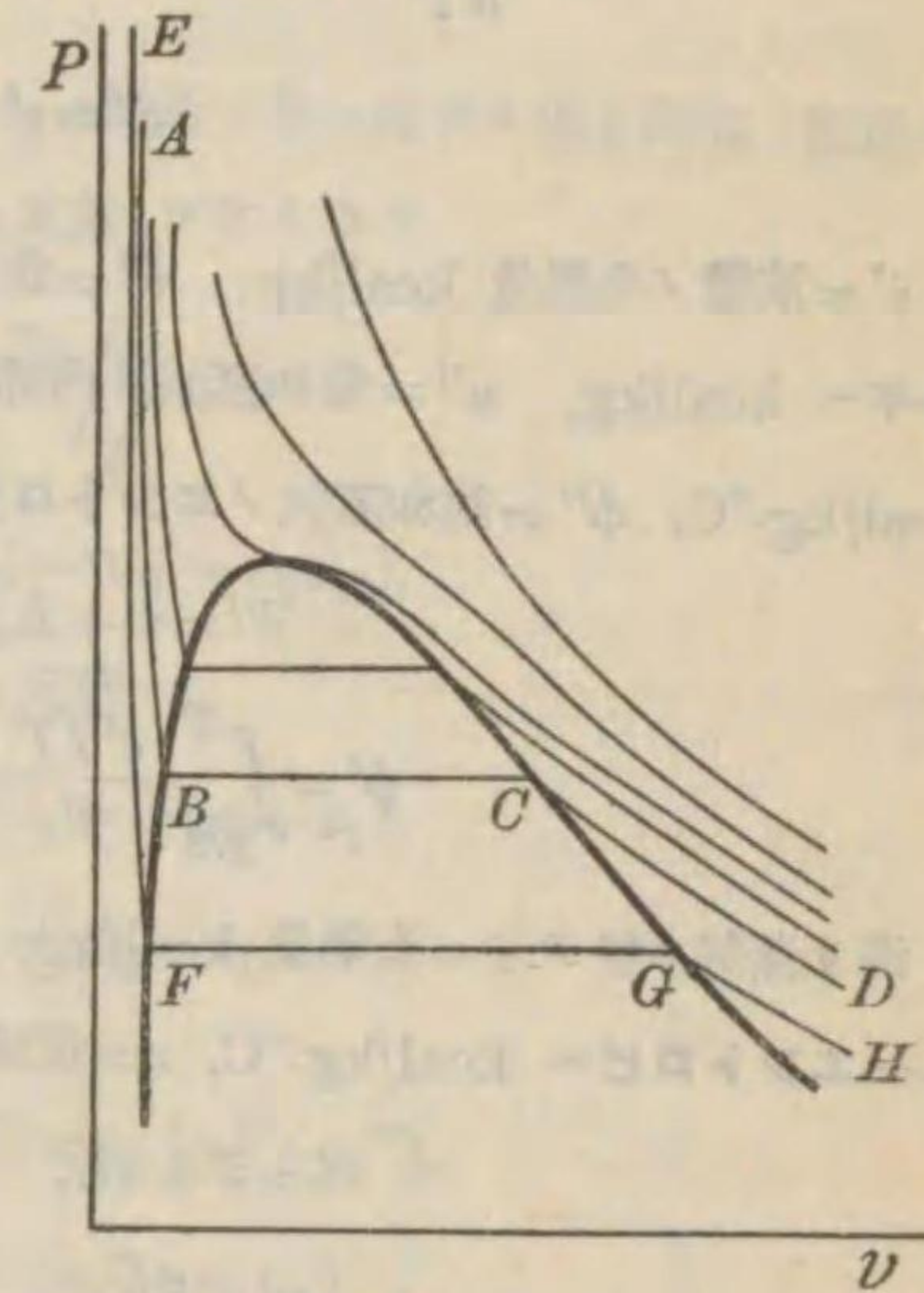
斯ノ如キ實際ノガスノ性質ヲ表ワサントシテ種々ノ特性方程式ガ案出セラレタガ何レモ完全ニ之ヲ表ワス事ハ出來ナイ。今其一ニヲ示セバ次ノ如シ。

Van der Waals ノ方程式

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

Clausius ノ方程式

$$\left\{P + \frac{a}{T(v+b)^2}\right\}(v - c) = RT.$$



第 6 圖

24. 臨界溫度及臨界壓力

第 18 表 臨界溫度及臨界壓力ノ表

物 質	臨 界 溫 度 °C	臨 界 壓 力 kg/cm ²	
水	H ₂ O	374	225
アンモニア	NH ₃	132	116
炭酸瓦斯	CO ₂	31	75
無水亞硫酸	SO ₂	157	80

25. 飽和蒸気

v' = 単位重量ノ液体ノ體積 m^3/kg , v'' = 絶對溫度 $T^\circ K$ = テコノ液体ヨリ蒸發セン飽和蒸気ノ體積 m^3/kg , c' = 液体ノ比熱 $kcal/kg\cdot^\circ C$, c'' = 飽和蒸気ノ比熱 $kcal/kg\cdot^\circ C$, L = 絶對溫度 $T^\circ K$ = 於ケル蒸發潛熱 $kcal/kg$, $l_e = T^\circ K$ = 於ケル外部潛熱 $kcal/kg$, $l_i = T^\circ K$ = 於ケル内部潛熱 $kcal/kg$ トスレバ

$$L = AT \frac{dP}{dT} (v'' - v'), \quad l_e = AP(v'' - v'), \quad l_i = L - l_e$$

$$c'' = c' + \frac{dL}{dT} - \frac{L}{T}$$

i' = 液体ノ全熱量 $kcal/kg$, i'' = 飽和蒸気ノ全熱量 $kcal/kg$, u' = 液体ノ内部エネルギー $kcal/kg$, u'' = 飽和蒸気ノ内部エネルギー $kcal/kg$, ϕ' = 液体ノエントロピー $kcal/kg\cdot^\circ C$, ϕ'' = 飽和蒸気ノエントロピー $kcal/kg\cdot^\circ C$ トスレバ乾ケル飽和蒸気ニテハ

$$i'' = i' + L, \quad u'' = u' + l_i$$

$$\phi' = \int_{273}^T \frac{c' dT}{T}, \quad \phi'' = \phi' + \frac{L}{T}$$

濕リ蒸気ニ於テ i = 全熱量 $kcal/kg$, u = 内部エネルギー $kcal/kg$, v = 體積 m^3/kg , ϕ = エントロピー $kcal/kg\cdot^\circ C$, x = 乾燥度トスレバ

$$i = i' + xL, \quad u = u' + xl_i$$

$$\phi = \phi' + \frac{xL}{T}, \quad v = v' + x(v'' - v')$$

水, アンモニア, 二酸化炭素, 無水亞硫酸ノ各飽和蒸気ノ性質ニ關シテハ第 19 表乃至第 22 表参照。水蒸気ニ對スル Mollier 線圖ヲ第 8 圖ニ示ス。

26. 液ニ接スル飽和蒸気ノ膨脹

1. 斷熱膨脹 液及之ニ接スル飽和蒸気ノ總重量ガ一定ニシテ $M kg$ ナル時, 其絶對溫度ガ T_1 ヨリ T_2 = 降ル迄斷熱膨脹ヲナス場合ニハ次ノ關係ガ成立スル。

$$M_2 = \frac{T_2}{L_2} \left(\frac{M_1 L_1}{T_1} + M \log \frac{T_1}{T_2} \right)$$

但 M_1 = 絶對溫度 T_1 = 於ケル飽和蒸気ノ重量 kg , M_2 = 絶對溫度 T_2 = 於ケル飽和蒸気ノ重量 kg , L_1 = 絶對溫度 T_1 = 於ケル飽和蒸気ノ潛熱 $kcal/kg$, L_2 = 絶對溫度

T_2 = 於ケル飽和蒸気ノ潛熱 $kcal/kg$ デアル。

此斷熱膨脹ニ於テナシタル外部仕事 $E kg\cdot m$ ハ

$$E = P_2 V_2 - P_1 V_1 + J \{ M_1 L_1 - M_2 L_2 + M (T_1 - T_2) \}$$

但 P_1 = 絶對溫度 T_1 = 於ケル飽和蒸気ノ壓力 kg/m^2 , P_2 = 絶對溫度 T_2 = 於ケル飽和蒸気ノ壓力 kg/m^2 , V_1 = 絶對溫度 T_1 = 於ケル飽和蒸気ノ體積 m^3 , V_2 = 絶對溫度 T_2 = 於ケル飽和蒸気ノ體積 m^3 デアル。

今 x_1 = 膨脹ノ始ニ於ケル濕リ蒸気ノ乾燥度, x_2 = 膨脹ノ終ニ於ケル濕リ蒸気ノ乾燥度, W = 外部仕事 $kg\cdot m/kg$ トスレバ $q = 0$, ϕ = 定數 デアルカラ

$$\phi_1' + \frac{x_1 L_1}{T_1} = \phi_2' + \frac{x_2 L_2}{T_2}$$

$$AW = (u_1 - u_2) = (u_1' + x_1 l_{i1}) - (u_2' + x_2 l_{i2})$$

2. 等溫即等壓變化 T = 定數, P = 定數

$$q = L(x_2 - x_1), \quad u_2 - u_1 = l_i(x_2 - x_1)$$

$$W = P(v_2 - v_1) = P(v'' - v')(x_2 - x_1)$$

3. 等體積變化

$$x_2 = x_1(v_1'' - v_1') / (v_2'' - v_2') = x_1(v_1'' / v_2'')$$

$$q = u_2 - u_1 = (u_2' + x_2 l_{i2}) - (u_1' + x_1 l_{i1})$$

27. 過熱水蒸気

v = 過熱水蒸気ノ體積 m^3/kg , i = 全熱量 $kcal/kg$, ϕ = エントロピー $kcal/kg\cdot^\circ C$ トスレバ Mollier ノ公式ハ次ノ如シ。

$$v = 47.1 T/P - A_1 - A_2 (p/100)^2$$

$$i = 0.47 t - B_1 p - B_2 (p/100)^3 + 595$$

$$\phi = 0.47 \log T - 0.1103 \log P - C_1 p - C_2 (p/100)^3$$

但シ上式ニ於テ P = 壓力 kg/m^2 , p = 壓力 kg/cm^2 , t = 溫度 $^\circ C$, T = 絶對溫度 $^\circ K$ ニシテ $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ ハ次ニ示サル、如キ係數デアル。

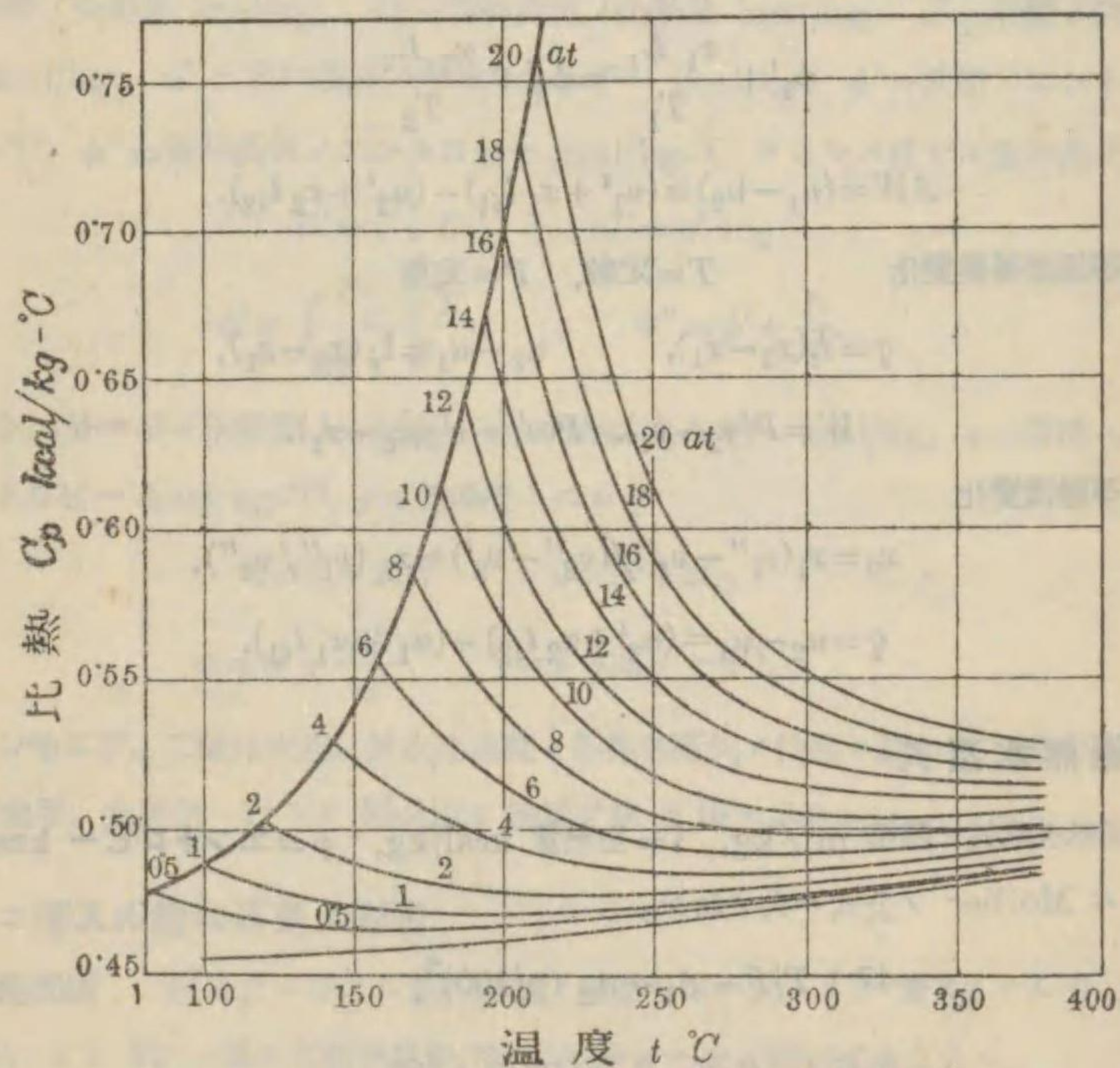
$$A_1 = \frac{2}{(T/100)^{10/3}}, \quad B_1 = \frac{202.96}{(T/100)^{10/3}}, \quad C_1 = \frac{1.5613}{(T/100)^{13/3}},$$

$$A_2 = \frac{1.9 \times 10^8}{(T/100)^{14}}, \quad B_2 = \frac{2.2248 \times 10^{12}}{(T/100)^{14}}, \quad C_2 = \frac{2.0765 \times 10^{10}}{(T/100)^{15}}.$$

又壓力 25 kg/cm² 迄ハ斷熱變化ニ於テ次ノ諸式ガ成立ツ。

$$p/T^{13/3} = \text{定數}, \quad Tv^{0.3} = \text{定數}, \quad Pv^{1.3} = \text{定數}.$$

過熱水蒸氣ノ比熱ハ壓力及溫度ニヨリテ變化スル。第 7 圖ハ定壓比熱 C_p ト溫度 t ノ關係ヲ示シタモノデアル。



第 7 圖

各溫度 °C = 於ケル過熱水蒸氣ノ全熱量 kcal/kg ト壓力 kg/cm² トノ關係ハ第 23 表ニ示サル、如シ。
又各溫度 °C = 於ケル過熱水蒸氣ニ對スル係數 $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ ハ第 24 表ニ示サル、如シ。

28. 空氣ト水蒸氣トノ混合

t = 空氣ノ溫度 °C, h = t °C ノ飽和水蒸氣ノ壓力 mmHg, m = t °C ノ飽和水蒸氣ノ重 kg/m³, p_s = 空氣中ニ存在スル水蒸氣ノ部分壓力 mmHg, m_s = 空氣中ニ存在スル水蒸氣ノ重 kg/m³, p_a = 空氣ノ部分壓力 mmHg, p = 濕リ空氣ノ壓力 mmHg, λ = 關係溫度トスレバ空氣中ニ含マル、水蒸氣ノ部分壓力ハ空氣ノ溫度ニ相當スル飽和水蒸氣ノ壓力ヨリ高キコト無ク又水蒸氣ノ壓力ハ同一溫度ニテハ密度ト比例スルニヨリ

$$p_s = \lambda h, \quad m_s = \lambda m, \quad \lambda \leq 1.$$

空氣中ニ含マル、水蒸氣ノ量ハ通例小ナルニヨリ空氣ト水蒸氣トノ混合ヲ第 22 節ニ述ベタル完全瓦斯ノ混合ト看做スコトガ普通デアル。故ニ

$$p = p_a + p_s.$$

M kg ノ濕リ空氣中ノ空氣ノ重ヲ M_a kg, 水蒸氣ノ重ヲ M_s kg トスレバ

$$M = M_a + M_s.$$

x = 濕リ空氣中ノ水蒸氣ト空氣トノ重ノ比, x' = 飽和狀態即チ $\lambda = 1$ ナル時ノ x ノ値, $i = 1$ kg ノ空氣ト x kg ノ水蒸氣ヨリナル混合氣ノ全熱量 kcal, $i' = \lambda$ ガ 1 ナル時ノ i ノ値 kcal, V = 濕リ空氣ノ體積 m³, v_a = 濕リ空氣中ノ空氣ノ體積 m³, v_s = 濕リ空氣中ノ水蒸氣ノ體積 m³ トスレバ

$$(p - \lambda h)V = 2.153 M_a T, \quad \lambda h V = 3.46 M_s T,$$

$$V(p - 0.378 \lambda h) = 2.153 M T,$$

$$x = 0.622 \frac{\lambda h}{p - \lambda h}, \quad x' = 0.622 \frac{h}{p - h}, \quad \lambda = \frac{x p}{h(0.622 + x)},$$

$$\frac{v_a}{V} = \frac{p - \lambda h}{p}, \quad \frac{v_s}{V} = \frac{\lambda h}{p}$$

1 kg ノ空氣ト x kg ノ水蒸氣ヨリナル濕リ空氣ノ全熱量ハ

$$i = 0.24 t + x(595 + 0.46 t) = 0.24 t + 0.622 \left\{ \frac{\lambda h}{p - \lambda h} \right\} \times (595 + 0.46 t).$$

空氣 1 kg ト水蒸氣 x kg ノ混合物ノ比熱ハ

$$C_p = 0.24 + 0.46 x$$

飽和水蒸氣ノ壓力 h mmHg, 飽和狀態ノ時ノ水蒸氣ト空氣トノ重ノ比 x' , 飽和狀態ノ濕リ空氣ノ全熱量 i' kcal/kg ト溫度 t °C トノ關係ハ第 25 表ニ示ス如シ。

第 19 表

絶對壓力 kg/cm ² <i>p</i>	溫度 °C <i>t</i>	絶對溫度 °K <i>T</i>	體積 m ³ /kg <i>v''</i>	重量 kg/m ³ 1/ <i>v''</i>	エントロピー kcal/kg·°C		$\phi'' - \phi'$ = <i>L/T</i>
					液體 ϕ'	蒸氣 ϕ''	
0.01	6.6	279.6	181.6	0.00760	0.0239	2.1395	2.1156
0.015	12.7	285.7	89.64	0.01116	0.0453	2.1043	2.0595
0.02	17.1	290.1	68.27	0.01465	0.0609	2.0803	2.0194
0.025	20.7	293.7	55.28	0.01809	0.0732	2.0614	1.9883
0.03	23.7	296.7	46.53	0.02149	0.0833	2.0460	1.9627
0.04	28.6	301.6	35.46	0.02820	0.0996	2.0219	1.9223
0.05	32.5	305.5	28.73	0.03481	0.1125	2.0032	1.8907
0.06	35.8	308.8	24.19	0.04133	0.1232	1.9880	1.8648
0.08	41.1	314.1	18.45	0.05420	0.1403	1.9642	1.8239
0.10	45.4	318.4	14.96	0.06686	0.1539	1.9458	1.7919
0.12	49.0	322.0	12.60	0.07937	0.1652	1.9308	1.7657
0.15	53.6	326.6	10.22	0.09789	0.1792	1.9126	1.7334
0.20	59.7	332.7	7.797	0.1283	0.1976	1.8892	1.6916
0.25	64.6	337.6	6.325	0.1581	0.2122	1.8712	1.6589
0.30	68.7	341.7	5.331	0.1876	0.2244	1.8567	1.6323
0.35	72.3	345.3	4.614	0.2167	0.2348	1.8441	1.6093
0.40	75.4	348.4	4.072	0.2456	0.2439	1.8334	1.5895
0.50	80.9	353.9	3.304	0.3027	0.2595	1.8156	1.5562
0.60	85.5	358.5	2.785	0.3590	0.2723	1.8011	1.5288
0.70	89.3	362.5	2.411	0.4147	0.2834	1.7889	1.5055
0.80	93.0	366.0	2.128	0.4699	0.2931	1.7783	1.4852
0.90	96.2	369.2	1.906	0.5246	0.3018	1.7690	1.4672
1.0	99.1	372.1	1.727	0.5790	0.3096	1.7607	1.4511
1.1	101.8	374.8	1.580	0.6329	0.3168	1.7532	1.4364
1.2	104.2	377.2	1.457	0.6865	0.3235	1.7464	1.4229
1.3	106.6	379.6	1.352	0.7399	0.3297	1.7401	1.4105
1.4	108.7	381.7	1.261	0.7931	0.3354	1.7343	1.3989
1.5	110.8	383.8	1.182	0.846	0.3408	1.7289	1.3880
1.6	112.7	385.7	1.113	0.898	0.3460	1.7238	1.3778
1.8	116.3	389.3	0.997	1.003	0.3554	1.7146	1.3596
2.0	119.6	392.6	0.903	1.107	0.3639	1.7063	1.3424
2.2	122.6	395.6	0.826	1.210	0.3717	1.6988	1.3271
2.4	125.5	398.5	0.7616	1.313	0.3789	1.6920	1.3131
2.6	128.1	401.1	0.7066	1.415	0.3856	1.6857	1.3001
2.8	130.5	403.5	0.6592	1.517	0.3919	1.6799	1.2880
3.0	132.9	405.9	0.6180	1.619	0.3977	1.6745	1.2767
3.2	135.1	408.1	0.5817	1.719	0.4033	1.6694	1.2661
3.4	137.2	410.2	0.5495	1.820	0.4085	1.6646	1.2561
3.6	139.2	412.2	0.5209	1.920	0.4135	1.6601	1.2466
3.8	141.1	414.1	0.4951	2.020	0.4182	1.6558	1.2376
4.0	142.9	415.9	0.4718	2.120	0.4227	1.6518	1.2291
4.5	147.2	420.2	0.4224	2.368	0.4333	1.6425	1.2092
5.0	151.1	424.1	0.3825	2.614	0.4428	1.6341	1.1913
5.5	154.7	427.7	0.3497	2.860	0.4515	1.6265	1.1750
6.0	158.1	431.1	0.3222	3.104	0.4596	1.6195	1.1599
6.5	161.2	434.2	0.2987	3.348	0.4671	1.6131	1.1460
7.0	164.2	437.2	0.2785	3.591	0.4742	1.6071	1.1330

飽和水蒸氣ノ性質

絶對壓力 kg/cm ² <i>p</i>	溫度 °C <i>t</i>	全熱量 kcal/kg		蒸發潛熱 kcal/kg <i>L</i>	内部エネルギー kcal/kg		内部潜熱 kcal/kg <i>l_i</i>	外部潜熱 kcal/kg <i>l_e</i>
		液體 <i>i'</i>	蒸氣 <i>i''</i>		液體 <i>u'</i>	蒸氣 <i>u''</i>		
0.01	6.6	6.6	593.0	591.4	6.6	567.2	560.6	30.83
0.015	12.7	12.7	600.9	588.2	12.7	569.4	556.7	31.49
0.02	17.1	17.1	602.9	585.8	17.1	571.0	553.8	31.98
0.025	20.7	20.7	604.6	583.9	20.7	572.2	551.5	32.37
0.03	23.7	23.7	606.0	582.3	23.7	573.3	549.6	32.69
0.04	28.6	28.6	608.2	579.6	28.6	575.0	546.4	33.22
0.05	32.5	32.5	610.0	577.5	32.5	576.4	543.9	33.64
0.06	35.8	35.8	611.5	575.8	35.8	577.6	541.8	33.99
0.08	41.1	41.1	614.0	572.8	41.1	579.4	538.3	34.56
0.10	45.4	45.4	615.9	570.5	45.4	580.9	535.5	35.02
0.12	49.0	49.0	617.6	568.5	49.0	582.2	533.1	35.40
0.15	53.6	53.6	619.6	566.0	53.6	583.7	530.1	35.88
0.20	59.7	59.7	622.3	562.7	59.7	585.8	526.1	36.52
0.25	64.6	64.6	624.5	559.9	64.6	587.4	522.9	37.02
0.30	68.7	68.7	626.3	557.6	68.7	588.3	520.2	37.45
0.35	72.3	72.3	627.8	555.6	72.3	590.0	517.8	37.81
0.40	75.4	75.4	629.2	553.8	75.4	591.1	515.6	38.13
0.50	80.9	80.9	631.5	550.6	80.9	592.8	512.0	38.67
0.60	85.5	85.5	633.4	548.0	85.5	594.3	508.9	39.12
0.70	89.3	89.3	635.1	545.6	89.3	595.6	506.1	39.51
0.80	93.0	93.0	636.5	543.6	93.0	596.7	503.7	39.84
0.90	96.2	96.2	637.8	541.7	96.2	597.7	501.5	40.15
1.0	99.1	99.1	639.0	539.9	99.1	598.6	499.5	40.42
1.1	101.8	101.8	640.1	538.3	101.8	599.4	497.6	40.68
1.2	104.2	104.2	641.1	536.7	104.2	600.1	495.8	40.91
1.3	106.6	106.6	642.0	535.3	106.6	600.8	494.2	41.12
1.4	108.7	108.7	642.8	533.9	108.7	601.5	492.6	41.31
1.5	110.8	110.8	643.6	532.7	110.8	602.1	491.3	41.49
1.6	112.7	112.7	644.3	531.4	112.7	602.6	489.7	41.67
1.8	116.3	116.3	645.7	529.1	116.3	603.7	487.1	41.98
2.0	119.6	119.6	646.9	527.0	119.6	604.6	484.7	42.26
2.2	122.6	122.6	648.0	525.0	122.6	605.4	482.5	42.51
2.4	125.5	125.5	649.0	523.1	125.5	606.2	480.4	42.75
2.6	128.1	128.1	649.9	521.4	128.1	606.9	478.4	42.96
2.8	130.5	130.5	650.8	519.7	130.5	607.5	476.6	43.16
3.0	132.9	132.9	651.6	518.1	132.9	608.1	474.8	43.34
3.2	135.1	135.1	652.3	516.6	135.1	608.7	473.1	43.51
3.4	137.2	137.2	653.0	515.2	137.2	609.2	471.5	43.67
3.6	139.2	139.2	653.7	513.8	139.2	609.7	470.0	43.82
3.8	141.1	141.1	654.3	512.4	141.1	610.2	468.5	43.96
4.0	142.9	142.9	654.9	511.1	142.9	610.7	467.0	44.09
4.5	147.2	147.2	656.2	508.0	147.2	611.7	463.6	44.40
5.0	151.1	151.1	657.3	505.2	151.1	612.6	460.5	44.66
5.5	154.7	154.7	658.4	502.5	154.7	613.4	457.6	44.90
6.0	158.1	158.1	659.3	499.9	158.1	614.1	454.8	45.12
6.5	161.2	161.2	660.2	497.5	161.2	614.7	452.2	45.30
7.0	164.2	164.2	660.9	495.2	164.2	615.3	449.7	45.48

絶對力 kg/cm ² p	溫度 °C t	絶對溫度 °K T	體積 m ³ /kg v''	重量 kg/m ³ 1/v''	エントロピー kcal/kg·°C		φ''-φ' = L/T
					液體 φ'	蒸氣 φ''	
7.5	167.0	440.0	0.2609	3.833	0.4808	1.6015	1.1208
8.0	169.6	442.6	0.2454	4.075	0.4870	1.5962	1.1093
8.5	172.1	445.1	0.2317	4.316	0.4929	1.5913	1.0984
9.0	174.5	447.5	0.2195	4.556	0.4985	1.5866	1.0881
9.5	176.8	449.8	0.2085	4.797	0.5038	1.5822	1.0784
10	179.0	452.0	0.1985	5.037	0.5090	1.5778	1.0689
11	183.2	456.2	0.1813	5.516	0.5186	1.5699	1.0513
12	187.1	460.1	0.1668	5.996	0.5275	1.5625	1.0350
13	190.7	463.7	0.1545	6.474	0.5358	1.5556	1.0199
14	194.1	467.1	0.1438	6.952	0.5435	1.5493	1.0057
15	197.4	470.4	0.1346	7.431	0.5508	1.5432	0.9924
16	200.4	473.4	0.1264	7.909	0.5577	1.5375	0.9798
17	203.4	476.4	0.1192	8.389	0.5643	1.5321	0.9679
18	206.2	479.2	0.1128	8.868	0.5705	1.5270	0.9565
19	208.8	481.8	0.1070	9.349	0.5764	1.5220	0.9456
20	211.4	484.4	0.1017	9.83	0.5821	1.5173	0.9352
22	216.2	489.2	0.0927	10.79	0.5928	1.5084	0.9156
24	220.8	493.8	0.0850	11.76	0.6026	1.5001	0.8974
26	225.0	498.0	0.0785	12.74	0.6119	1.4923	0.8804
28	229.0	502.0	0.0729	13.72	0.6205	1.4850	0.8644
30	232.8	505.8	0.06802	14.70	0.6287	1.4780	0.8493
32	236.4	509.4	0.06372	15.69	0.6364	1.4713	0.8350
34	239.8	512.8	0.05991	16.69	0.6437	1.4650	0.8213
36	243.1	516.1	0.05651	17.70	0.6507	1.4589	0.8082
38	246.2	519.2	0.05345	18.71	0.6573	1.4530	0.7958
40	249.2	522.2	0.05069	19.73	0.6637	1.4474	0.7837
42	252.1	525.1	0.04817	20.76	0.6698	1.4418	0.7721
44	254.9	527.9	0.04588	21.80	0.6757	1.4365	0.7609
46	257.6	530.6	0.04378	22.84	0.6813	1.4314	0.7500
48	260.2	533.2	0.04185	23.89	0.6868	1.4264	0.7396
50	262.7	535.7	0.04007	24.96	0.6921	1.4215	0.7294
55	268.7	541.7	0.03616	27.65	0.7046	1.4098	0.7052
60	274.3	547.3	0.03289	30.41	0.7162	1.3987	0.6826
65	279.6	552.6	0.03009	33.23	0.7270	1.3882	0.6612
70	284.5	557.5	0.02769	36.12	0.7371	1.3781	0.6410
75	289.2	562.2	0.02559	39.08	0.7467	1.3684	0.6217
80	293.6	566.6	0.02374	42.13	0.7557	1.3591	0.6033
85	297.9	570.9	0.02210	45.24	0.7645	1.3501	0.5856
90	301.9	574.9	0.02064	48.45	0.7731	1.3413	0.5682
95	305.8	578.8	0.01933	51.73	0.7813	1.3328	0.5515
100	309.5	582.5	0.01815	55.11	0.7893	1.3245	0.5352
110	316.5	589.5	0.01609	62.15	0.8049	1.3087	0.5088
120	323.1	596.1	0.01437	69.60	0.8198	1.2935	0.4737
130	329.3	602.3	0.01290	77.50	0.8342	1.2789	0.4447
140	335.0	608.0	0.01164	85.91	0.8483	1.2649	0.4166
150	340.5	613.5	0.01054	94.87	0.8622	1.2514	0.3891
160	345.7	618.7	0.00956	104.6	0.8754	1.2372	0.3618
180	355.4	628.4	0.00782	128.0	0.9044	1.2079	0.3035
200	364.2	637.2	0.00614	162.9	0.9404	1.1715	0.2311
225	374.0	647.0	0.00310	322.6	1.0558	1.0558	0

絶對力 kg/cm ² p	溫度 °C t	全熱量 kcal/kg		蒸發潛熱 kcal/kg L	内部エネルギー kcal/kg		内部潜熱 kcal/kg l _i	外部潜熱 kcal/kg l _e
		液體 i'	蒸氣 i''		液體 u'	蒸氣 u''		
7.5	167.0	168.7	661.7	493.0	168.5	615.8	447.4	45.63
8.0	169.6	171.4	662.3	490.9	171.2	616.3	445.1	45.77
8.5	172.1	174.0	662.9	488.8	173.8	616.8	442.9	45.90
9.0	174.5	176.6	663.4	486.8	176.3	617.1	440.8	46.02
9.5	176.8	179.0	663.9	484.9	178.7	617.6	438.9	46.13
10	179.0	181.3	664.4	483.1	181.0	617.9	436.8	46.23
11	183.2	185.7	665.2	479.5	185.4	618.5	433.1	46.41
12	187.1	189.8	665.9	476.1	189.5	619.0	429.6	46.55
13	190.7	193.6	666.6	472.8	193.3	619.4	426.2	46.68
14	194.1	197.3	667.0	469.7	196.9	619.8	422.9	46.78
15	197.4	200.7	667.4	466.7	200.3	620.1	419.8	46.87
16	200.4	204.0	667.8	463.8	203.6	620.4	416.8	46.94
17	203.4	207.1	668.1	460.9	206.7	620.6	413.9	47.00
18	206.2	210.1	668.3	458.2	209.7	620.8	411.2	47.04
19	208.8	213.0	668.5	455.5	212.5	621.0	408.5	47.07
20	211.4	215.8	668.7	452.9	215.2	621.1	405.8	47.10
22	216.2	221.0	668.9	447.9	220.4	621.2	400.8	47.12
24	220.8	226.0	669.0	443.0	225.3	621.2	395.9	47.10
26	225.0	230.6	669.0	438.4	229.8	621.2	391.3	47.07
28	229.0	235.0	668.8	433.9	234.2	621.0	386.9	47.01
30	232.8	239.1	668.6	429.5	238.3	620.8	382.6	46.92
32	236.4	243.1	668.3	425.2	242.2	620.6	378.4	46.83
34	239.8	246.9	668.0	421.1	245.9	620.3	374.4	46.71
36	243.1	250.5	667.6	417.0	249.5	619.9	370.4	46.59
38	246.2	254.1	667.1	413.0	252.9	619.5	366.6	46.45
40	249.2	257.4	666.6	409.2	256.3	619.1	362.9	46.30
42	252.1	260.7	666.0	405.3	259.5	618.6	359.1	46.14
44	254.9	263.9	665.5	401.6	262.5	618.2	355.7	45.97
46	257.6	266.9	664.8	397.9	265.5	617.6	352.1	45.79
48	260.2	269.8	664.1	394.3	268.4	617.1	348.7	45.61
50	262.7	272.7	663.4	390.7	271.2	616.5	345.2	45.41
55	268.7	279.6	661.5	381.9	277.9	614.9	337.0	44.91
60	274.3	286.1	659.5	373.5	284.2	613.3	329.1	44.35
65	279.6	292.2	657.5	365.3	290.2	611.7	321.5	43.77
70	284.5	298.0	655.3	357.3	295.8	609.9	314.1	43.16
75	289.2	303.5	653.0	349.5	301.1	608.0	306.9	42.52
80	293.6	308.8	650.6	341.8	306.2	606.1	299.9	41.87
85	297.9	313.9	648.1	334.2	311.1	604.1	293.0	41.19
90	301.9	319.0	645.6	326.7	316.0	602.1	286.2	40.49
95	305.8	323.9	643.0	319.2	320.7	600.0	279.4	39.80
100	309.5	328.7	640.5	311.8	325.3	598.0	272.7	39.07
110	316.5	338.1	635.1	297.0	334.3	593.7	259.4	37.59
120	323.1	347.3	629.7	282.4	343.0	589.4	246.4	36.07
130	329.3	356.4	624.2	267.8	351.6	584.9	233.3	34.50
140	335.0	365.3	618.6	253.8	360.0	580.4	220.4	32.87
150	340.5	374.1	612.9	238.8	368.3	575.9	207.6	31.19
160	345.7	383.4	606.3	222.8	377.0	570.4	193.4	29.41
180	355.4	401.9	592.6	190.7	394.1	559.6	165.5	25.23
200	364.2	425.6	572.8	147.3	416.2	544.1	127.9	19.34
225	374.0	501.1	501.1	0	484.8	484.8	0	0

第 20 表 飽和アンモニア (NH₃) の性質

温度 °C t	絶対壓力 kg/cm ² p	體積 m ³ /kg		重量 kg/m ³	全熱量 kcal/kg		内部エネルギー kcal/kg		蒸發潛熱 kcal/kg		エントロピー kcal/kg-°C		$\frac{\phi'' - \phi'}{L} = \frac{T}{\text{kcal/kg-}^\circ\text{C}}$	
		液體 v'	蒸氣 v''		液體 i'	蒸氣 i''	液體 u'	蒸氣 u''	液體 e'	蒸氣 e''	液體 φ'	蒸氣 φ''		
-50	0.417	0.001 425	2.617	702	0.382	-53.8	284.1	258.6	337.9	312.4	25.5	-0.217	1.298	1.515
-45	0.556	0.001 437	2.002	696	0.500	-48.5	286.1	260.1	334.6	308.6	26.0	-0.194	1.274	1.468
-40	0.732	0.001 449	1.550	690	0.645	-43.2	288.1	261.5	331.3	304.8	26.5	-0.171	1.251	1.422
-35	0.950	0.001 462	1.215	684	0.823	-37.9	290.0	263.0	327.9	300.9	27.0	-0.148	1.229	1.377
-30	1.219	0.001 476	0.963	678	1.038	-32.6	291.9	264.4	324.5	297.1	27.4	-0.126	1.209	1.335
-25	1.546	0.001 490	0.771	671	1.297	-27.3	293.7	265.8	321.0	293.1	27.9	-0.104	1.190	1.294
-20	1.940	0.001 504	0.624	665	1.604	-21.8	295.5	267.1	317.3	289.0	28.3	-0.083	1.171	1.254
-15	2.410	0.001 519	0.509	659	1.966	-16.4	297.1	268.4	313.5	284.9	28.6	-0.062	1.153	1.215
-10	2.966	0.001 534	0.418	652	2.390	-11.0	298.7	269.6	309.7	280.7	29.0	-0.041	1.136	1.177
-5	3.619	0.001 550	0.347	645	2.883	-5.5	300.1	270.7	305.6	276.3	29.3	-0.020	1.120	1.140
0	4.375	0.001 566	0.290	639	3.452	0.0	301.5	271.8	301.5	272.0	29.5	0.000	1.104	1.104
+5	5.279	0.001 583	0.244	632	4.108	+5.5	302.8	272.8	297.3	267.5	29.8	+0.020	1.089	1.069
+10	6.221	0.001 601	0.206	625	4.859	+11.1	303.9	273.7	292.8	262.8	30.0	+0.040	1.074	1.034
+15	7.447	0.001 619	0.175	618	5.718	+16.7	305.0	274.5	288.3	258.1	30.2	+0.059	1.060	1.001
+20	8.721	0.001 639	0.149	610	6.694	+22.4	305.9	275.3	283.5	253.2	30.3	+0.079	1.046	0.967
+25	10.295	0.001 659	0.128	603	7.795	+28.1	306.8	276.0	278.7	248.3	30.4	+0.098	1.032	0.934
+30	11.895	0.001 680	0.111	595	9.034	+33.8	307.4	276.5	273.6	243.2	30.4	+0.117	1.019	0.902
+35	13.765	0.001 702	0.096	588	10.431	+39.7	308.0	277.0	268.3	237.9	30.4	+0.135	1.006	0.871
+40	15.850	0.001 726	0.083	580	12.005	+45.5	308.4	277.4	262.9	232.6	30.3	+0.154	0.993	0.839
+45	18.165	0.001 750	0.073	571	13.774	+51.4	308.6	277.7	257.2	227.1	30.1	+0.172	0.981	0.809
+50	20.727	0.001 777	0.064	563	15.756	+57.4	308.7	277.8	251.3	221.4	29.9	+0.190	0.968	0.778

第 21 表 飽和二氧化碳 (CO₂) の性質

温度 °C t	絶対壓力 kg/cm ² p	體積 m ³ /kg		重量 kg/m ³	内部エネルギー kcal/kg		全熱量 kcal/kg		蒸發潛熱 kcal/kg		エントロピー kcal/kg-°C		$\frac{\phi'' - \phi'}{L} = \frac{T}{\text{kcal/kg-}^\circ\text{C}}$	
		液體 v'	蒸氣 v''		液體 u'	蒸氣 u''	液體 i'	蒸氣 i''	液體 e'	蒸氣 e''	液體 φ'	蒸氣 φ''		
-50	6.96	0.000 866	0.056 20	17.8	-26.93	45.94	-26.79	55.09	81.88	72.87	9.01	-0.1057	0.2613	0.3670
-45	8.50	0.000 880	0.046 20	21.7	-24.29	46.23	-24.12	55.40	79.52	70.52	9.00	-0.0940	0.2546	0.3486
-40	10.28	0.000 895	0.038 20	26.2	-21.72	46.48	-21.51	55.65	77.16	68.20	8.96	-0.0828	0.2482	0.3310
-35	12.31	0.000 912	0.031 80	31.5	-19.18	46.69	-18.92	55.84	74.76	65.87	8.89	-0.0719	0.2421	0.3140
-30	14.60	0.000 930	0.026 66	37.5	-16.67	46.85	-16.35	55.97	72.32	63.52	8.80	-0.0613	0.2362	0.2976
-25	17.19	0.000 950	0.022 53	44.4	-14.17	46.96	-13.79	56.03	69.82	61.13	8.69	-0.0509	0.2305	0.2814
-20	20.09	0.000 972	0.019 19	52.1	-11.64	46.99	-11.18	56.02	67.20	58.63	8.57	-0.0406	0.2249	0.2655
-15	23.33	0.000 997	0.016 46	60.8	-9.07	46.94	-8.52	55.93	64.45	56.01	8.44	-0.0304	0.2193	0.2497
-10	26.94	0.001 024	0.014 16	70.6	-6.43	46.82	-5.78	55.76	61.54	53.25	8.29	-0.0204	0.2136	0.2339
-5	30.95	0.001 054	0.012 18	82.1	-3.70	46.65	-2.94	55.48	58.42	50.35	8.07	-0.0102	0.2077	0.2179
0	35.39	0.001 088	0.010 43	95.9	-0.90	46.39	0.00	55.03	55.03	47.29	7.74	0.0000	0.2015	0.2015
+5	40.29	0.001 126	0.008 86	112.9	+1.96	45.95	+3.02	54.30	51.28	43.99	7.29	+0.0104	0.1948	0.1844
+10	45.70	0.001 170	0.007 46	134.1	+4.94	45.26	+6.19	53.24	47.05	40.32	6.73	+0.0212	0.1874	0.1662
+15	51.63	0.001 225	0.006 24	160.3	+8.23	44.29	+9.71	51.83	42.12	36.06	6.06	+0.0328	0.1790	0.1462
+20	58.15	0.001 300	0.005 16	193.3	+11.95	42.89	+13.72	49.92	36.20	30.94	5.26	+0.0457	0.1692	0.1235
+25	65.29	0.001 420	0.004 18	239.3	+15.80	40.32	+17.97	46.71	28.74	24.52	4.22	+0.0598	0.1562	0.0964
+30	73.09	0.001 675	0.003 00	333.3	+22.34	35.41	+25.22	40.56	15.34	13.07	2.27	+0.0830	0.1336	0.0506
+31	74.73	0.001 865	0.002 55	392	+25.40	32.29	+28.66	36.75	8.09	6.89	1.20	+0.0940	0.1206	0.0266
+31.35	75.31	0.002 160	0.002 16	463	+28.44	28.44	+32.25	32.25	0	0	0	+0.1058	0.1058	0

第 22 表 無水亞硫酸 (SO₂) の性質

溫度 °C t	絕對壓力 kg/cm ² p	體積 m ³ /kg v''	重量 kg/m ³ 1/v''	全熱量 kcal/kg		蒸發潛熱 kcal/kg		エントロピー kcal/kg·°C		$\frac{\phi'' - \phi'}{T}$ kcal/kg·°C	
				液體 i	蒸氣 i''	總計 L	內部 l _i	外部 l _e	液體 φ'		蒸氣 φ''
-30	0.39	0.822	1.217	-	9.05	88.72	97.77	7.50	-0.0351	0.3672	0.4023
-25	0.51	0.643	1.556	-	7.62	89.28	96.91	7.67	-0.0293	0.3614	0.3907
-20	0.65	0.513	1.950	-	6.15	89.77	95.92	7.80	-0.0234	0.3557	0.3791
-15	0.83	0.416	2.406	-	4.66	90.16	94.82	7.92	-0.0176	0.3499	0.3675
-10	1.04	0.330	3.024	-	3.14	90.46	93.60	8.03	-0.0117	0.3442	0.3559
-5	1.29	0.270	3.708	-	1.58	90.69	92.27	8.12	-0.0059	0.3385	0.3443
0	1.58	0.223	4.490	0.00	0.00	90.82	90.82	8.20	0.0000	0.3327	0.3327
+5	1.93	0.184	5.443	+	1.61	90.86	89.25	8.26	+0.0059	0.3269	0.3210
+10	2.34	0.152	6.592	+	3.25	90.81	87.56	8.28	+0.0117	0.3212	0.3094
+15	2.81	0.127	7.893	+	4.92	90.68	85.76	8.30	+0.0176	0.3154	0.2978
+20	3.35	0.107	9.372	+	6.62	90.47	83.85	8.30	+0.0234	0.3096	0.2862
+25	3.96	0.090	11.148	+	8.35	90.17	81.82	8.28	+0.0293	0.3039	0.2746
+30	4.67	0.076	13.210	+10.11	10.11	89.78	79.67	8.23	+0.0351	0.2981	0.2629
+35	5.46	0.065	15.456	+11.90	11.90	89.30	77.40	8.16	+0.0410	0.2923	0.2513
+40	6.35	0.055	18.282	+13.71	13.71	88.74	75.03	8.08	+0.0468	0.2865	0.2397

$c' = 0.3194 + 0.00117 t$,
 $\phi' = 0.00117 t$,

$L/T = 0.3327 - 0.002324 t$,
 $v' = 0.0007$,

第 23 表 過熱水蒸氣ノ全熱量

絕對 壓力 kg/cm ²	飽和 溫度 °C	飽和蒸氣 ノ全熱量 kcal/kg	過熱水蒸氣ノ全熱量 kcal/kg						
			200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C
5	151.1	657.3	683.2	708.4	733.0	757.2	781.2	805.1	828.9
6	158.1	659.3	682.0	707.6	732.4	756.8	780.9	804.8	828.7
7	164.2	660.9	680.7	706.7	731.8	756.3	780.5	804.6	828.4
8	169.6	662.3	679.4	705.9	731.1	755.8	780.2	804.3	828.2
9	174.5	663.4	678.1	705.0	730.5	755.4	779.8	804.0	828.0
10	179.0	664.4	676.8	704.1	729.9	754.9	779.5	803.7	827.8
12	187.1	665.9	673.9	702.4	728.7	754.0	778.8	803.2	827.3
14	194.1	667.0	670.8	700.5	727.4	753.1	778.0	802.6	826.9
16	200.4	667.8	—	698.6	726.1	752.1	777.3	802.0	826.4
18	206.2	668.3	—	696.7	724.8	751.2	776.6	801.5	826.0
20	211.4	668.7	—	694.6	723.5	750.2	775.9	800.9	825.5
25	222.2	669.0	—	689.0	720.1	747.8	774.1	799.5	824.4
30	232.8	668.6	—	682.7	716.5	745.4	772.3	798.1	823.3
35	241.4	667.8	—	675.6	712.6	742.8	770.4	796.7	822.2
40	249.2	666.6	—	667.4	708.4	740.2	768.5	795.3	821.1
50	262.7	663.4	—	—	699.1	734.6	764.7	792.4	818.8
60	274.3	659.5	—	—	688.1	728.5	760.6	789.4	816.5
70	284.5	655.2	—	—	675.2	721.8	756.4	786.3	814.2
80	293.6	650.6	—	—	660.1	714.4	751.9	783.2	811.8
90	301.9	645.6	—	—	—	706.2	747.1	780.0	809.4
100	309.5	640.5	—	—	—	697.1	742.1	776.7	807.0
110	316.5	635.1	—	—	—	686.0	736.6	773.2	804.5
120	323.1	629.7	—	—	—	675.7	730.9	769.6	801.9
130	329.3	624.2	—	—	—	663.4	724.7	765.8	799.3
140	335.0	618.6	—	—	—	649.5	718.0	761.9	796.6
150	340.5	612.8	—	—	—	634.4	710.9	757.8	793.9
160	345.7	606.3	—	—	—	617.7	703.3	753.5	791.1
180	355.4	592.6	—	—	—	—	686.4	744.4	785.2
200	364.2	572.8	—	—	—	—	667.0	734.3	779.0
225	374.0	501.1	—	—	—	—	638.9	720.3	770.7

第 24 表 過熱水蒸氣ニ對スル係數ノ値

t°C	A ₁	C ₁	B ₁	A ₂	C ₂	B ₂
0	0.070	0.020 1	7.1			
10	0.062	0.017 2	6.3			
20	0.056	0.014 8	5.6			
30	0.050	0.012 8	5.0			
40	0.045	0.011 1	4.5			
50	0.040	0.009 7	4.1			
60	0.036	0.008 5	3.7			
70	0.033	0.007 5	3.3			
80	0.030	0.006 6	3.0			
90	0.027	0.005 9	2.7			
100	0.024 9	0.005 20	2.52	1.90	52	22 000
110	0.022 8	0.004 64	2.31	1.30	37	15 000
120	0.020 9	0.004 15	2.12	0.91	25	10 000
130	0.019 2	0.003 72	1.95	0.64	17	7 000
140	0.017 7	0.003 35	1.80	0.45	12	5 000
150	0.016 3	0.003 02	1.66	0.323	8.40	3 800
160	0.015 1	0.002 73	1.53	0.233	5.90	2 700
170	0.014 0	0.002 47	1.42	0.169	4.20	2 000
180	0.013 0	0.002 24	1.32	0.124	2.99	1 500
190	0.012 1	0.002 04	1.23	0.091	2.16	1 100
200	0.011 26	0.001 859	1.143	0.067 7	1.565	790
210	0.010 50	0.001 698	1.066	0.050 5	1.143	590
220	0.009 81	0.001 553	0.995	0.037 9	0.841	444
230	0.009 17	0.001 423	0.931	0.028 6	0.622	335
240	0.008 59	0.001 307	0.872	0.021 7	0.463	254
250	0.008 05	0.001 202	0.817	0.016 57	0.347 0	194.0
260	0.007 56	0.001 108	0.767	0.012 71	0.261 0	149.0
270	0.007 11	0.001 022	0.721	0.009 80	0.197 4	114.8
280	0.006 69	0.000 944	0.679	0.007 60	0.150 1	89.0
290	0.006 30	0.000 874	0.639	0.005 91	0.114 7	69.2
300	0.005 94	0.000 809	0.603	0.004 62	0.088 1	54.1
310	0.005 61	0.000 751	0.569	0.003 63	0.068 0	42.5
320	0.005 30	0.000 698	0.538	0.002 86	0.052 7	33.5
330	0.005 01	0.000 649	0.509	0.002 26	0.041 0	26.5
340	0.004 74	0.000 604	0.482	0.001 80	0.032 0	21.0
350	0.004 50	0.000 563	0.456	0.001 431	0.025 12	16.76
360	0.004 26	0.000 526	0.433	0.001 145	0.019 78	13.41
370	0.004 05	0.000 491	0.411	0.000 919	0.015 64	10.77
380	0.003 84	0.000 459	0.390	0.000 741	0.012 40	8.67
390	0.003 65	0.000 430	0.371	0.000 599	0.009 88	7.01
400	0.003 48	0.000 403	0.353	0.000 486	0.007 89	5.69
410	0.003 31	0.000 378	0.336	0.000 395	0.006 32	4.63
420	0.003 15	0.000 355	0.320	0.000 322	0.005 09	3.77
430	0.003 01	0.000 334	0.305	0.000 264	0.004 10	3.09
440	0.002 87	0.000 314	0.291	0.000 216	0.003 32	2.53
450	0.002 74	0.000 296	0.278	0.000 178	0.002 69	2.09
460	0.002 65	0.000 278	0.265	0.000 147	0.002 19	1.72
470	0.002 54	0.000 263	0.254	0.000 122	0.001 79	1.42
480	0.002 43	0.000 248	0.243	0.000 101	0.001 46	1.18
490	0.002 32	0.000 234	0.232	0.000 084	0.001 20	0.98
500	0.002 19	0.000 221	0.222	0.000 070	0.000 99	0.82

第 25 表 濕リ空氣ノ t, h, x' 及 i' ノ値

t°C	h mmHg	x'	i' kcal/kg	t°C	h mmHg	x'	i' kcal/kg	t°C	h mmHg	x'	i' kcal/kg
-20	0.772	.000654	-4.42	20	17.54	.01519	14.0	60	149.4	0.1585	113.0
-19	0.850	.000720	-4.14	21	18.65	.01618	14.8	61	156.4	0.1680	119.2
-18	0.935	.000792	-3.86	22	19.83	.01724	15.7	62	163.8	0.1783	126.0
-17	1.027	.000870	-3.57	23	21.07	.01833	16.6	63	171.4	0.1888	132.8
-16	1.128	.000955	-3.28	24	22.38	.01951	17.6	64	179.3	0.2005	140.6
-15	1.238	.001048	-2.98	25	23.76	.02077	18.6	65	187.5	0.2129	148.6
-14	1.357	.001150	-2.68	26	25.21	.02209	19.6	66	196.1	0.2260	157.0
-13	1.486	.001260	-2.37	27	26.74	.02347	20.7	67	205.0	0.2403	166.4
-12	1.627	.001379	-2.06	28	28.35	.02493	21.9	68	214.2	0.2559	176.5
-11	1.780	.001509	-1.75	29	30.04	.02649	23.1	69	223.7	0.2721	187.2
-10	1.946	.001650	-1.43	30	31.82	.02814	24.3	70	233.7	0.2897	198.4
-9	2.125	.001801	-1.10	31	33.70	.02988	25.6	71	243.9	0.3086	211
-8	2.321	.001969	-0.76	32	35.66	.03169	27.0	72	254.6	0.329	224
-7	2.532	.002149	-0.41	33	37.73	.03364	28.4	73	265.7	0.352	238
-6	2.761	.002343	-0.05	34	39.90	.03569	29.9	74	277.2	0.376	255
-5	3.008	.002552	+0.31	35	42.18	.0379	31.5	75	289.1	0.403	272
-4	3.276	.002781	0.69	36	44.56	.0401	33.2	76	301.4	0.432	290
-3	3.566	.003030	1.08	37	47.07	.0425	34.9	77	314.1	0.463	311
-2	3.879	.00330	1.48	38	49.69	.0451	36.7	78	327.3	0.499	333
-1	4.216	.00359	1.89	39	52.44	.0478	38.6	79	341.0	0.538	358
0	4.579	.00390	2.32	40	55.32	.0506	40.6	80	355.1	0.580	386
1	4.93	.00420	2.74	41	58.34	.0536	42.7	81	369.7	0.628	417
2	5.29	.00451	3.08	42	61.50	.0568	45.0	82	384.9	0.683	452
3	5.69	.00485	3.61	43	64.80	.0601	47.3	83	400.6	0.744	491
4	6.10	.00520	4.06	44	68.26	.0637	49.8	84	416.8	0.813	535
5	6.54	.00558	4.50	45	71.88	.0674	52.2	85	433.6	0.894	587
6	7.01	.00598	5.01	46	75.65	.0714	55.0	86	450.9	0.986	646
7	7.51	.00642	5.52	47	79.60	.0755	57.9	87	468.7	1.093	715
8	8.05	.00688	6.04	48	83.71	.0799	60.8	88	487.1	1.219	795
9	8.61	.00736	6.57	49	88.02	.0846	64.0	89	506.1	1.373	894
10	9.21	.00788	7.13	50	92.51	.0895	67.3	90	525.8	1.559	1014
11	9.84	.00844	7.70	51	97.20	.0947	70.8	91	546.1	1.794	1164
12	10.52	.00902	8.30	52	102.1	.1003	74.6	92	567.0	2.092	1355
13	11.23	.00964	8.91	53	107.2	.1061	78.4	93	588.6	2.491	1610
14	11.99	.01030	9.56	54	112.5	.1123	82.6	94	610.9	3.05	1970
15	12.79	.01100	10.2	55	118.0	.1189	87.0	95	633.9	3.88	2500
16	13.63	.01174	10.9	56	123.8	.1259	91.9	96	657.6	5.25	3380
17	14.53	.01254	11.6	57	129.8	.1333	96.5	97	682.1	7.94	5100
18	15.48	.01337	12.4	58	136.1	.1412	101.7	98	707.3	15.60	10010
19	16.48	.01425	13.2	59	142.6	.1495	107.2	99	733.2	198.2	126900
20	17.54	.01519	14.0	60	149.4	.1585	113.0	100	760.0	—	—

29. 眞空中ニ於ケル多効式蒸發

多効式蒸發ニ於テハ第一容器中ニアル加熱蒸氣管ニ蒸氣ヲ送リテ容器中ノ液ヨリ水分ヲ蒸發セシメコノ蒸氣ヲ第二容器中ノ加熱蒸氣管ニ送リ第一容器中ヨリ導イタ液ヲ熱スル。以下逐ウテ斯ノ如ク且容器中ノ壓力ヲ大氣壓以下順次ニ下ゲ蒸發作用ヲ容易ナラシメル。

1. 蒸發量

M = 第一容器ニ導入セラル、液ノ重 kg,

M_1 = 第一容器内ノ液ヨリ蒸發セル水量 kg,

M_2, M_3, \dots = 第二容器, 第三容器, ... 内ノ液ヨリ蒸發セル水量 kg,

M_0 = 最後ノ容器ヨリ抽出セラル、液ノ重 kg,

G = 第一容器ニ導入セラル、水蒸氣ノ重 kg,

t_0 = 第一容器ニ入ル液ノ溫度 °C,

t_1, t_2, t_3, \dots = 第一容器, 第二容器, 第三容器, ... ニ於ケル液ノ沸騰溫度 °C,

i_1', i_2', i_3', \dots = 溫度 t_1, t_2, t_3, \dots ニ於ケル飽和水ノ全熱量 kcal/kg,

c_1, c_2, c_3, \dots = 第一容器, 第二容器, 第三容器, ... 内ノ液ノ比熱 kcal/kg-°C,

i = 第一容器ニ導入セラル、水蒸氣ノ有スル全熱量 kcal/kg,

L = 第一容器ニ導入セラル、水蒸氣ノ潜熱 kcal/kg,

i_1, i_2, i_3, \dots = 各容器内ニ於ケル蒸氣ノ全熱量 kcal/kg,

L_1, L_2, L_3, \dots = 各容器内ニ於ケル蒸氣ノ潜熱 kcal/kg.

容器ニ加エタル熱量ハ其受取リタルモノニ等シク, 容器中ニ於テ加熱用トシテ用イラレタル蒸氣ノ重ハ其容器中ニ於テ復水セシ重ニ等シト見ルトキハ次ノ關係ガアル。

第一容器ニ對シテハ $G(i - i_1') = M_1 L_1 + c_1 M(t_1 - t_0)$.

第二容器ニ對シテハ $M_1(i_1 - i_2') + c_2(M - M_1)(t_1 - t_2) = M_2 L_2$.

第三容器ニ對シテハ $M_2(i_2 - i_3') + c_3(M - M_1 - M_2)(t_2 - t_3) = M_3 L_3$.

Hausbrand = 依レバ第一容器ヨリ蒸發スル量ト全蒸發量トノ比ハ次ノ範圍内ニ在ル。

二段式 $M_1 / (M - M_0) = 0.434 \sim 0.484$

三段式 $M_1 / (M - M_0) = 0.2777 \sim 0.3152$

四段式 $M_1 / (M - M_0) = 0.1926 \sim 0.2335$

各容器内ニ於ケル蒸發量ノ割合ハ平均次ノ如シ。

	第一容器	第二容器	第三容器	第四容器
二段式	1	1.045		
三段式	1	1.01	1.04	
四段式	1	1.005	1.012	1.02

最後ノ容器ニ於ケル蒸發量ト全蒸發量トノ比ハ大體次ノ如シ。

二段式	三段式	四段式
0.534	0.3703	0.284

2. 傳熱面積 F = 傳熱面積 m^2 , θ = 蒸氣ト沸騰スル液トノ溫度ノ差 °C, K = 傳熱係數 kcal/ m^2 -h-°C トスレバ蒸氣ヨリ液ニ傳ワル熱量 Q kcal/h ハ次式ニヨリ得ラレル。

$Q = KF\theta$.

K ノ値ハ多効式ノ容器ノ各々ニ於テ異ナリ第一容器ニ於ケルモノト他ノ容器ニ於ケルモノトノ比ハ略次ノ如ク又最下列ニ砂糖液ノ蒸發ノ場合ニ普通用イラル、 K ノ値ヲ示ス。

	第一容器	第二容器	第三容器	第四容器
二段式	1	0.66		
三段式	1	0.70	0.33	
四段式	1	0.91	0.75	0.55
K	4700	3700	2500	1350

30. 壓縮シ得ル流體ノ流動ニ關スル基本方程式

流動スル流體ノ或斷面ニ於テ F = 斷面積 m^2 , M = 流量 kg/s, w = 平均速度 m/s, z = 水平基準面ヨリノ高さ m, u = 流體ノ内部エネルギー kg-m/kg, i = 流體ノ全熱量 kg-m/kg, P = 流體ノ壓力 kg/ m^2 , γ = 單位體積ノ流體ノ重 kg/ m^3 , v = 流體ノ單位重量當リノ體積 m^3 /kg, h_{1-2} = 斷面 F_1 及 F_2 ノ間ニ於テ流體ニ與エン熱量 kg-m/kg, R_{1-2} = 斷面 F_1 及 F_2 ノ間ニ於テ内部及外部摩擦ノタメニ失イシエネルギー kg-m/kg トスレバ定常流動ノトキハ

$M = F_1 w_1 \gamma_1 = F_2 w_2 \gamma_2 = F_1 \frac{w_1}{v_1} = F_2 \frac{w_2}{v_2} \dots (32)$

エネルギー不減ノ原理ニヨリ

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + u_2 - u_1 + P_2 v_2 - P_1 v_1 + z_2 - z_1 = h_{1-2}$$

若 $i = u + Pv$ ナル關係ヲ應用スルトキハ

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + i_2 - i_1 + z_2 - z_1 = h_{1-2} \dots (33)$$

摩擦ノ影響ヲ考エ=入ル、トキハ

$$h_{1-2} + R_{1-2} = i_2 - i_1 - \int_1^2 v dP \dots (34)$$

(33) 式ト (34) 式トヲ組合セテ

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + \int_1^2 v dP + R_{1-2} + z_2 - z_1 = 0 \dots (35)$$

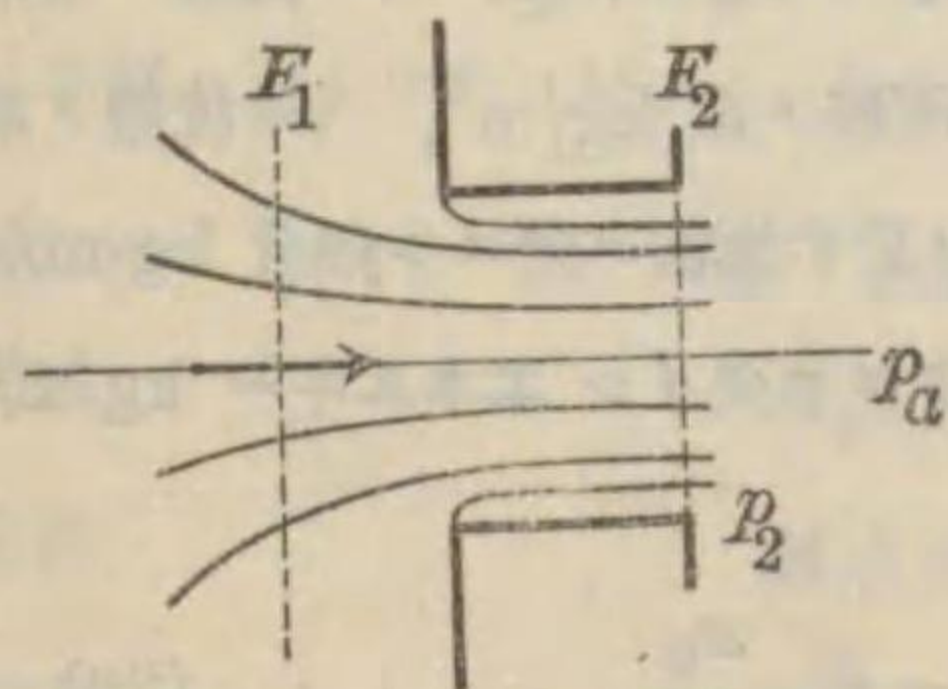
多クノ場合 $z_2 - z_1$ 及 h_{1-2} ノ値小ニシテ之ヲ捨テ、差支ナイ。故=

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = i_1 - i_2 = - \int_1^2 v dP - R_{1-2}$$

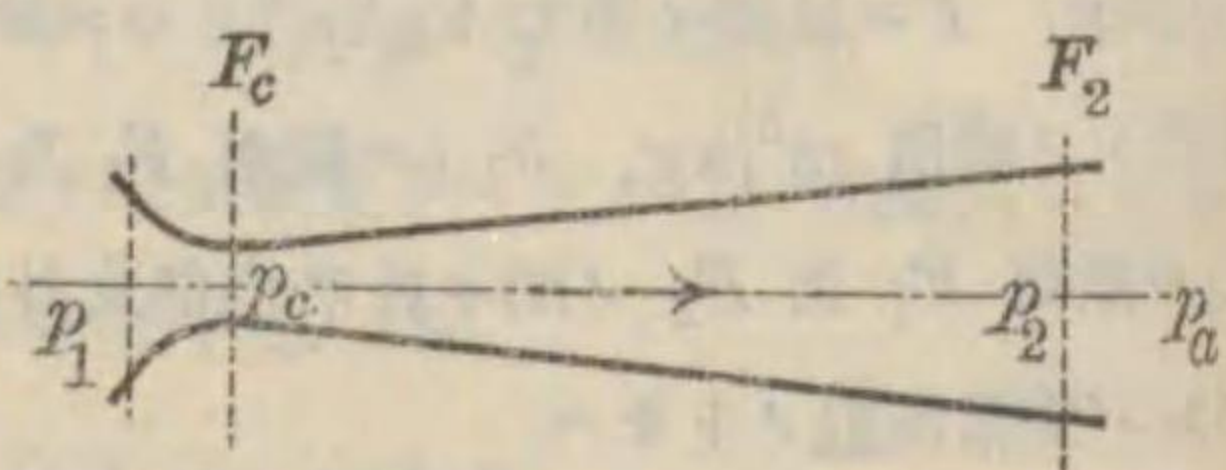
斷熱膨脹=於テハ $h_{1-2} = 0$ ナルニヨリ此場合=摩擦損失 R ヲ考エザルトキハ斷熱膨脹=於ケル P ト v トノ關係ヨリ i ト $\int v dP$ トノ間ノ關係ヲ求ムルコトヲ得。

31. オリフィス及ノズル

一ツノ容器ヨリ流體ガ流出スル場合コノ容器内=於テ P_1 =流體ノ一定壓力 kg/m^2 , p_1 =同上 kg/cm^2 , t_1 =溫度 $^{\circ}\text{C}$, T_1 =絶對溫度 $^{\circ}\text{K}$, v_1 =單位重量當リ體積 m^3/kg ,



第 9 圖



第 10 圖

w_1 =速度 m/s , 流體ノ流入スル室=於テ P_a =一定壓力 kg/m^2 , p_a =同上 kg/cm^2 , ノズル出口=於テ P_2 =流體ノ壓力 kg/m^2 , p_2 =同上 kg/cm^2 , t_2 =溫度 $^{\circ}\text{C}$, T_2 =絶對溫度 $^{\circ}\text{K}$, v_2 =單位重量當リ體積 m^3/kg , F_2 =斷面積 m^2 , w_2 =流出速度 m/s , φ =速度係數, ζ =摩擦係數, μ =流量係數, d =收縮係數, m =流出指數トスル。

オリフィス及ノズルヨリ流體ガ流出スル時ハ斷熱膨脹ヲ爲スモノト看做シテ差支無イ。從ツテ初ノ速度 w_1 ガ終ノ速度 w_2 =比シ小ニシテ摩擦抵抗ガ無視セラル、トキハ次ノ關係ガ得ラレル。

$$\frac{w_2^2}{2g} = i_1 - i_2 = - \int_{P_1}^{P_2} v dP$$

然シ流動=對スル摩擦ハ無視出來ヌ故=實際ノ値ヲ求メントスル場合=ハ速度係數 φ 之=乘ズル必要ガアル。

壓力ノ差ガ小ナル場合即チ $p_2/p_1 > 0.9$ ナルトキハ $v_2 = v_1$ トシテ

$$w_2 = \varphi \sqrt{2g v_1 (P_1 - P_2)}$$

1. 完全ガス $i_1 = K_p T_1 + K$, $i_2 = K_p T_2 + K$, ナルニヨリ

$$\frac{w_2^2}{2g} = K_p (T_1 - T_2)$$

而シテ斷熱膨脹ノ關係ヲ之=應用スルトキハ

$$w_2 = \varphi \sqrt{2g K_p T_1 \left\{ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}}$$

$$= \varphi \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma-1} P_1 v_1 \left\{ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}}$$

流出流體ノ溫度ハ

$$T_2 = T_1 - \frac{1}{K_p} \frac{w_2^2}{2g} = T_1 \left[1 - \varphi^2 \left\{ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\} \right]$$

2. 水蒸氣

$$w_2 = \varphi \sqrt{2g (i_1 - i_2)}$$

i_2 ハ摩擦ナキモノトシタル場合=出口=於テ水蒸氣ノ有スベキ全熱量デアル。從ツテ φ ノ値ガ知ラレテ居ル場合=ハ全熱量ノ差ヲ Mollier 線圖ヨリ求メ仕事單位=換算スレバ蒸氣ガ濕レル場合乾ケル場合過熱セラレタ場合何レモ容易=流出速度ガ求メラレル。

3. 流出指數 Zeuner = 依レバ摩擦ノ影響ヲ表ワス = 上式ノ φ ノ代リ = 適當ナル流出指數 m ヲ以テスル。即チ

$$w_2 = \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma-1} P_1 v_1 \left\{ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right\}}$$

而シテ m ト γ トノ關係ハ摩擦係數 ζ ノ値ガ定數デアルトスレバ

$$\zeta = 1/\varphi^2 - 1, \quad m = \gamma(1+\zeta)/(1+\gamma\zeta)$$

乾燥飽和水蒸氣 = 對シテハ $\gamma = 1.135$, 過熱水蒸氣 = 對シテハ $\gamma = 1.3$, 空氣 = 對シテハ $\gamma = 1.40$ ヲ取ル。速度係數 φ ト流出指數 m トノ關係ハ p_1/p_2 ノ値 = ヨツテ異ナル。

4. 臨界壓力 流出速度 w_2 = 關スル公式ハ流レノ末端 = 於テノミナラズツノ中途ノ斷面 = 於テモ成立スル = ヨリ, 之ヲ $M = wF/v$ ナル基礎式 = 應用スルトキハ次ノ關係ガ得ラレル。

$$\frac{M}{F} = \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{v_1} \left[\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{m}} - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{m+1}{m}} \right]}$$

一定ノ流量 M = 對シテ上式ノ p = 或適當ナル値ヲ與ウル時ハ F ノ値最小トナル。斯ル壓力ヲ臨界壓力ト云ウ。此臨界壓力ヲ p_c = テ表ワセバ

$$\frac{p_c}{p_1} = \left(\frac{2}{m+1} \right)^{\frac{m}{m-1}}$$

摩擦ヲ考慮 = 入レス場合 = ハコノ式ノ m ヲ γ ト置ケバヨイ。

第 26 表 m ト p_c/p_1 及 φ_c トノ關係

空	m	1.4	1.38	1.35	1.30	1.25
	p_c/p_1	.530	.533	.538	.546	.556
氣	φ_c	1	0.970	0.936	0.876	0.816
	m	1.135	1.128	1.120	1.105	1.090
飽和水蒸氣	p_c/p_1	.577	.579	.581	.583	.585
	φ_c	1	0.975	0.946	0.888	0.825

オリフィス及ノズルヨリノ流出ハ背壓 p_a ガ p_c ヨリ大ナルカ否カ = ヨツテ大 = 其趣ヲ

異ニスル。背壓ガ臨界壓力ヨリ大ナルトキ即チ $p_a > p_c$ ナルトキハ入口ヲ充分丸メラレタル圓筒形又ハ細マリノズル或ハ薄キ板 = 設ケラレタル孔 (第 9 圖) = ヨツテ最大速度ヲ以テ流出スル圓筒形ノゼットガ得ラレル。然シ $p_a < p_c$ ナルトキハ丸メラレタル入口ノ所 = 最小面積 F_c ヲ有シ出口 F_2 ノ方 = 次第 = 擴ガル形ヲ有スルノズル (第 10 圖) ヲ用ウル必要ガアル。此場合 = ハ

$$\frac{F_c}{F_2} = \left(\frac{m+1}{2} \right)^{\frac{1}{m-1}} \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} \sqrt{\frac{m+1}{m-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right]}$$

乾燥セル飽和蒸氣 = シテ摩擦ナキ場合 = ハ第 27 表 = 示ス如キ關係ガアル。

第 27 表 廣ガリノズル = ヨル速度増加

p_1/p_2	F_2/F_c	d_2/d_c	w_2/w_c	p_1/p_2	F_2/F_c	d_2/d_c	w_2/w_c
100	13.80	3.72	2.58	20	3.97	1.99	2.18
90	12.69	3.56	2.56	10	2.44	1.56	1.92
80	11.56	3.40	2.54	8	2.07	1.44	1.86
70	10.40	3.22	2.51	6	1.72	1.31	1.74
60	9.16	3.03	2.47	4	1.35	1.16	1.55
50	7.98	2.83	2.43	2	1.02	1.01	1.12

$p_a < p_c$ ナル場合 = 細マリ廣ガリノズルヲ用イズ圓筒型又ハ細マリノズルヲ用イテ流出セシムルトキハ出口 = 於ケル流出壓力ハ外壓迄下リ得ズ p_c トナル。此場合出口ノ流出速度 w_c ハ次式 = ヨリテ表ワサレル。

$$w_c = \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma-1} P_1 v_1 \frac{m-1}{m+1}} = \varphi_c \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma+1} P_1 v_1}$$

5. 流出量 $M = w_2 F_2 / v_2$ ナル故正シイ形ノノズルヲ用イタ場合 = 摩擦ナシトスレバ

$$M = F_2 \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{v_1} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}} \right\}}$$

實際ノ流出量ハ上式ノ値 = 流量係數 μ ヲ乘ジタモノトナル。流出指數 m ヲ利用スレバ

$$M = F_2 \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{v_1} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{m}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{m+1}{m}} \right\}}$$

然シ $p_2 < p_c$ ナル場合 = ハ最小斷面積 F_c ト臨界壓力 p_c ト = ヨツテ流出量ガ決定セラレルモノデアラカラ上式ノ代リ =

$$M = F_c \sqrt{g \frac{\gamma(m-1)}{\gamma-1} \left(\frac{2}{m+1}\right)^{\frac{m+1}{m-1}} \frac{P_1}{v_1}}$$

若摩擦損失ヲ無視スレバ

$$M = F_c \sqrt{g \gamma \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \frac{P_1}{v_1}} = a F_c \sqrt{\frac{P_1}{v_1}}$$

a ハ γ ノ函數デアルガ $g=9.80 \text{ m/s}^2$ トシタ時ノ
値ノ一例ヲ右表ニ示ス。

γ	1.4	1.3	1.135
a	2.144	2.089	1.990

6. 空気及飽和水蒸気ノ流出 壓縮シ得ル流體流出ニ關スル式ヲ空気及乾燥飽和水蒸気ニ對シテ用ウル場合ノ諸數値ヲ示セバ次ノ如シ。

i. 空気

a) $p_2 > p_c$ ナル場合及 $p_2 < p_c$ = 對シ正シイ細マリ廣ガリノzzleヲ用イタ場合

$$w_2 = 44.8 \varphi \sqrt{T_1 \left\{ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0.286} \right\}} = 44.8 \sqrt{T_1 \left\{ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{m-1}{m}} \right\}}$$

$$M = 1.53 \mu F_2 P_2 \sqrt{\frac{1}{T_1} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{0.286} \left\{ \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{0.286} - 1 \right\}}$$

$$= 1.53 \alpha F_2 P_2 \sqrt{\frac{1}{T_1} \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{m-1}{m}} \left\{ \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right\}}$$

第 28 表 $p_2/p_1 > 0.5$ ナル場合 [Weisbach 及 Grashof = ヨル]

流出孔又ハ管ノ 形狀及寸法	μ	α	φ	ζ	m	備 考
薄キ平面壁ニアル 圓形オリフィス 直徑 14 mm	0.64	0.65	0.981	0.04	1.388	
入口ニ丸味ナキ 短キ圓筒形管 直徑 14 mm	0.815	1	0.821	0.490	1.243	$p_1/p_2=1.08$ ノ時
	0.813	1	0.838	0.444	1.252	$p_1/p_2=1.41$ ノ時
	0.831	1	0.866	0.362	1.271	$p_1/p_2=1.70$ ノ時
短キ圓錐形管 出口直徑 10 mm	0.97	1	0.974	0.034	1.392	

b) $p_2 < p_c$ ナル場合

$$w_c = 18.3 \varphi \sqrt{T_1}, \quad M = 3970 \mu F_c p_1 / \sqrt{T_1}$$

Zeuner = ヨレバ入口ニ充分丸味ヲ付ケタルオリフィスニ對シテハ $\mu=0.96$.

c) p_1 ト p_2 トノ差小ナル場合

$$w_2 = 24 \varphi \sqrt{T_1 \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right)}, \quad M = 0.82 \alpha \varphi F_2 \sqrt{\frac{P_1}{T_1} (P_1 - P_2)}$$

ii. 乾燥飽和水蒸気 (壓力 25 kg/cm^2 ノ超エザル場合)

a) $p_2 > p_c$ ナル場合及 $p_2 < p_c$ = 對シ正シイ細マリ廣ガリノzzleヲ用イタ場合

$$w_2 = 1680 \varphi p_1^{0.03} \sqrt{1 - (p_2/p_1)^{0.12}}$$

b) $p_2 < p_c$ ナル場合

$$w_c = 422 \varphi p_1^{0.03}, \quad M = 153 \varphi F_c p_1^{0.97}$$

c) p_1 ト p_2 トノ差小ナル場合

$$w_2 = 579 \varphi p_1^{0.03} \sqrt{1 - (p_2/p_1)}$$

第 29 表 $p^{0.97}$ ノ値

p	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
$p^{0.97}$	1.48	1.96	2.43	2.90	3.37	3.83	4.30
p	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
$p^{0.97}$	4.76	5.22	5.68	6.14	6.60	7.05	7.51
p	8.5	9	9.5	10	10.5	11	12
$p^{0.97}$	7.96	8.42	8.87	9.32	9.77	10.22	11.12

第 30 表 自由外氣ニ流出セシムル場合ノ φ ノ値

P_1	2.4	3.8	5	8	12	15
薄キ壁ニアルオリフィス, $d_1=4.8 \text{ mm}$	0.90	0.87	0.86	0.86	0.86	0.85
細マリ廣ガリノzzle, $d_c=4.8 \text{ mm}$ $d_2=6.5 \text{ mm}, l=20 \text{ mm}$	—	0.79	0.84	0.93	0.96	0.96

32. 管内ニ於ケル流動

管内ニ於ケル流動ハ多ク渦運動ヲナスニヨリ (35) 式ニ於ケル R_{1-2} ヲ次ノ如ク置ク。

$$R_{1-2} = \beta l \frac{w^2}{D}$$

爰ニ β = 摩擦係數, l = 管ノ長 m, D = 管ノ内徑 mm, w = 速度 m/s デアル。

工業上普通ニ用イラル、導管ニ空氣又ハ其ノ他ノ瓦斯及蒸氣ヲ通ズル場合ニハ M ヲ流量 kg/h トスレバ β ハ近似的ニ次ノ關係式ニ依リテ與エラレル。

$$\beta = 2.86/M^{0.148}$$

第 31 表 β ノ 値

M	β	M	β	M	β	M	β
10	2.03	100	1.45	1000	1.03	10000	.73
15	1.92	150	1.36	1500	.97	15000	.69
25	1.78	250	1.26	2500	.90	25000	.64
40	1.66	400	1.18	4000	.84	40000	.595
65	1.54	650	1.10	6500	.78	65000	.555
100	1.45	1000	1.03	10000	.73	100000	.520

1. 壓力降下小ナル場合

壓力降下ガ最初ノ壓力ニ比シテ小ナルニヨリ體積變化ヲ無視シ、管徑同一ナルトキハ更ニ速度ノ變化ヲモ無視シ得ラレルカラ

$$P_1 - P_2 = \left(\frac{\beta w^2}{D} \pm \frac{z}{l} \right) \frac{l}{v}, \quad \text{又ハ} \quad \frac{P_1 - P_2}{p} = \left(\frac{\beta w^2}{D} \pm \frac{z}{l} \right) \frac{l}{Pv}$$

p, v, w ハ流動ノ最初ノ値, 最後ノ値, 又ハ平均ノ値何レヲ採用スルモ差支無イ。+ ハ上リ勾配, - ハ下リ勾配ノ場合ヲ示ス。

上式ハ $353.7M = wD^2/v$ ナル關係ニ依リ次ノ如クナル。

$$p_1 - p_2 = 12.5\beta \frac{vM^2 l}{D^5} \pm \frac{z}{10,000 \times v}$$

空氣其他ノ瓦斯ニ對シテハガス定數 R ヲ用イテ

$$\frac{p_1 - p_2}{p} = \left(\frac{\beta w^2}{D} \pm \frac{z}{l} \right) \frac{l}{RT}$$

25 kg/cm² ヲ超エザル乾燥飽和水蒸氣ニ對シテハ

$$\frac{p_1 - p_2}{p} = \left(\frac{\beta w^2}{D} \pm \frac{z}{l} \right) \frac{l}{17790 \times p^{0.0425}}$$

2. 壓力降下大ナル場合

pv = 定數 ト看做シテ差支ナキ場合が多い。此場合直管又ハ管ノ直徑一定ナル部分ニ對シテハ一般ニ次ノ式ガ成立スル。

$$\frac{2z}{P_1 v_1} = \log \frac{w_2^2}{w_1^2} - \left(1 + \frac{Dz/\beta l}{g P_1 v_1} \right) \log \frac{w_2^2 + Dz/\beta l}{w_1^2 + Dz/\beta l}$$

水平ノ管ニ對シテハ

$$\frac{P_1 v_1}{2} \left(1 - \frac{w_1^2}{w_2^2} \right) - \frac{w_1^2}{g} \log \frac{w_2}{w_1} = \frac{\beta w_1^2 l}{D}$$

又近似的ニハ

$$\frac{2z}{P_1 v_1} = \log \frac{1 + Dz/\beta w_1^2 l}{1 + Dz/\beta w_2^2 l}$$

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_2^2} = \left(\frac{\beta w_2^2}{D} \pm \frac{z}{l} \right) \frac{2l}{P_2 v_2}$$

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_1^2} = \left(\frac{\beta w_1^2}{D} \pm \frac{z}{l} \right) \frac{2l}{P_1 v_1}$$

速度 w ノ代リニ流量 M ヲ入ル、トキハ

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_2^2} = \left(125,000 \frac{\beta (v_2 M)^2}{D^5} \pm \frac{z}{l} \right) \frac{2l}{P_2 v_2}$$

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_1^2} = \left(125,000 \frac{\beta (v_1 M)^2}{D^5} \pm \frac{z}{l} \right) \frac{2l}{P_1 v_1}$$

33. 絞り膨脹

流體ガ高壓力ノ場所ヨリ弁其他狹キ通路ヲ通ジテ低壓力ノ場所ニ流出スルトキノ膨脹ヲ絞り膨脹ト稱スル。壁トノ間ニ熱ノ交換無キモノト考エタ場合ノ絞り膨脹ニ對スル一般方程式ハ次ノ如シ。絞り膨脹前ノ全熱量及速度ヲ i_1, w_1 , 其後ノモノヲ i_2, w_2 トスレバ

$$\frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} = i_1 - i_2.$$

實際ニ於テ速度 w_1, w_2 ハ相等シト看做ス事ガ出來ル。從ツテ $i_1 = i_2$, 即チ絞り膨脹ニ依リテ全熱量ハ變化セズ。

1. 完全ガスノ場合

完全ガスニテハ $i = K_p T + K$ ナルガ故ニ $T_1 = T_2$ トナリ絞り膨脹ニヨリテ溫度變ラズ。然シ實際ノガスハ完全ガスト其性質ヲ異ニスルニヨリ此際溫度ニ變化ヲ生ジ一般ニ溫度少シク降ル。

絞り膨脹ニ於テハ $di = 0$ ナルガ故ニ

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_i = \frac{1}{K_p} \left[T \left(\frac{dv}{dT}\right)_P - v \right] = \frac{T^2}{K_p} \left[\frac{d\left(\frac{v}{T}\right)}{dT} \right]_P.$$

Thomson 及 Joule ノ實驗ニヨレバ壓力 $1 \sim 4.5 \text{ kg/cm}^2$, 溫度 $14 \sim 100^\circ\text{C}$ ニ於テ

$$\left(\frac{\Delta T}{\Delta p}\right)_i = \alpha \left(\frac{273}{T}\right)^2$$

トナリ α ノ値ハ右表ニ示ス如シ。

2. 飽和蒸氣ノ場合

濕リ蒸氣ノ場合ハ $i = i' + xL$ トナルニヨリ絞り膨脹ニ於テハ次式ガ成立スル。

$$i_1 = i_1' + x_1 L_1 = i_2 = i_2' + x_2 L_2.$$

故ニ絞り膨脹後ノ蒸氣ノ性質ヲ之ニヨリテ求ムルコトガ出來ル。乾燥セル飽和水蒸氣ノ全熱量ハ 25 kg/cm^2 ノ時最大ナルガ故ニ此壓力以下ノ乾燥セル飽和水蒸氣ガ絞り膨脹ヲナストキハ過熱セラレ此壓力以上ノモノニ於テハ濕リ蒸氣トナル。過熱蒸氣ハ絞り膨脹ヲナス時ハ溫度下ル。

瓦斯	α
空 気	0.271
酸 素	0.333
炭酸ガス	1.35
水 素	負ノ少量

第 3 章 燃料及燃焼

34. 發熱量ノ高値ト低値, 蒸發力

單位重量ノ燃料ガ完全燃焼ヲ行ツタ場合發生スル熱量 kcal/kg フソノ燃料ノ發熱量ト云ウ。瓦斯燃料ノ場合ニハ $1 \text{ atm}, 0^\circ\text{C}$ ニ於ケル單位體積ノ發熱量 kcal/m³ ヲ用ウルコトガ多イ。

燃料ノ成分中ニ水素ガ含有セラル、トキハ之ガ燃焼ニヨリテ生ズル水ノ潛熱ヲモ算入セル發熱量ヲ高値ト稱シ、潛熱ヲ除去セル熱量ヲ低値ト稱スル。例エバ 1 atm ノ場合ニ燃焼前後ノ溫度ガ 100°C 以上ナルガ如キ場合ハ低値デアル。

1 kg ノ燃料ガ完全燃焼ヲ行ツタ場合ニ發生スル熱ニヨリ $1 \text{ atm}, 100^\circ\text{C}$ ニ於ケル水ヲ同溫同壓ノ蒸氣ニ化シ得ル重量 kg ヲコノ燃料ノ蒸發力ト云ウ。

35. 燃料ノ發熱量計算

燃料成分ヲ重量百分率ニテ表ワシ、炭素 C%, 水素 H%, 酸素 O%, 硫黄 S% (充分乾燥シタル状態ニ於テ) トスレバ燃料 1 kg ノ發熱量 kcal ハ次式ニテ算定スルコトガ出來ル。水素、炭素等各 1 kg ノ發熱量モ亦次式ヨリ算定シ得ラレル。

$$8,060 C + 29,020 \left(H - \frac{O}{8}\right) + 2,200 S \quad (\text{低値}),$$

$$8,060 C + 34,500 \left(H - \frac{O}{8}\right) + 2,200 S \quad (\text{高値}).$$

燃料 1 kg ノ完全燃焼ニ必要ナル酸素量 kg ハ

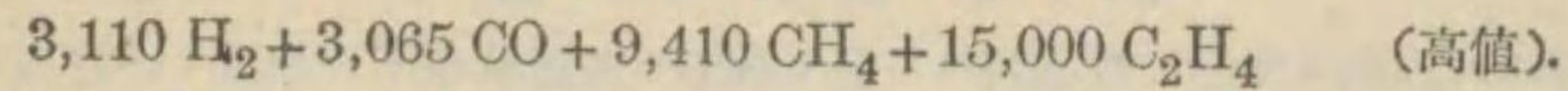
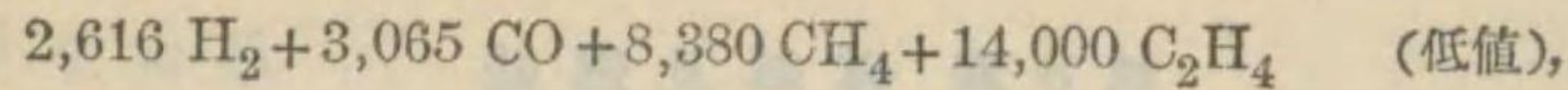
$$2.667C + 8H - O + 1.5 S.$$

同ジク空氣量 kg ハ上記計算ノ酸素量ノ 4.35 倍ナルヲ以テ

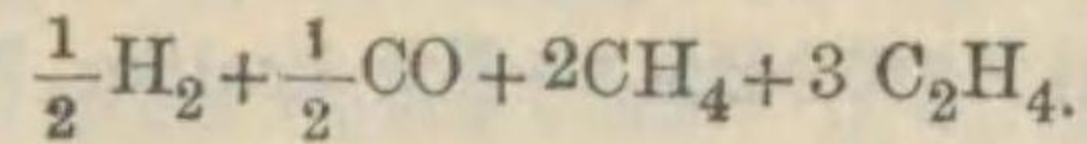
$$11.6C + 34.8H - 4.4O + 7.5 S.$$

燃焼後ノ二酸化炭素ハ $3.667 C \text{ kg}$, 水ハ $9 H \text{ kg}$, 窒素ハ上記計算ノ空氣量ノ 77% デアル。

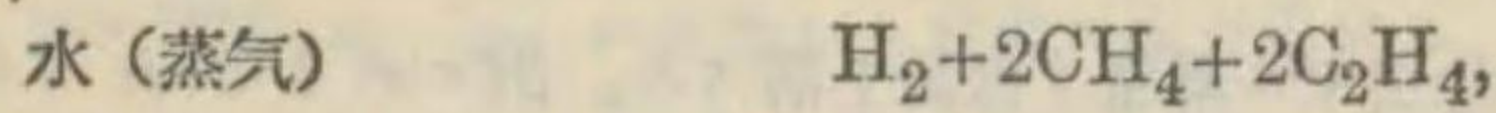
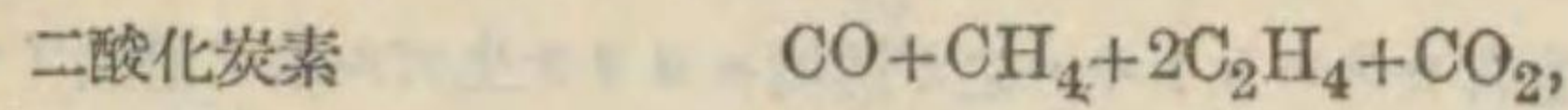
瓦斯燃料ノ成分ハ之ヲ體積百分率ニテ表ワスコト普通ニシテ水素 $\text{H}_2\%$, 一酸化炭素 $\text{CO}\%$, メタン $\text{CH}_4\%$, エチレン $\text{C}_2\text{H}_4\%$ トスレバ $1 \text{ atm}, 0^\circ\text{C}$ ニ於ケル 1 m^3 ノ發熱量 kcal ハ次式ニテ算定セラレル。水素、一酸化炭素、メタン、エチレン等各 1 m^3 ノ發熱量モ次式ヨリ算定スルコトガ出來ル。



瓦斯燃料 1 m³ ノ完全燃焼 = 必要ナル酸素量 m³ ハ同温同壓 = テ



同ジク空気量 m³ ハ上記計算ノ酸素量ノ 4.76 倍 = 當リ之ヲ空気當量ト稱スル。而シテ燃焼産物ハ二酸化炭素, 水, 殘留窒素 = シテ



但シ燃焼産物ハ燃焼前ノ瓦斯ト同温同壓ト考エテアル。又上式中不燃焼瓦斯 CO₂, N₂ ハ夫々燃料瓦斯中 = 存在スル體積 m³ ヲ表ワシケルモノデアル。コノ外特記スベキハ瓦斯燃料中 = 酸素 O₂ アリトスレバ空氣ガ 5 O₂ % 混合セルモノト解シテ差支ナキコトデアル。一般 = 工業上ノ燃焼 = ハ空氣當量以上 = 空氣ヲ使用スルヲ以テソノ過剩空氣ハ燃焼産物中 = 其ノ儘混在スル。

36. 瓦斯爆發ニ關スル實驗

內燃機關研究ノ一端トシテ一定容積ノシリンダー内 = 瓦斯燃料ト空氣或ハ酸素ヲ混合シテ電氣火花ニテ著火爆發セシメ以テ爆發ノ性質ヲ研究セシ例ハ甚多イ。其ノ二三重要ナル結果ヲ列記スレバ次ノ如シ。

1. 爆發ノ効果ハ空氣ガ當量以上 = 混在スル = 從イ次第 = 増加シ最高値 = 達シ, ソレ以後ハ次第 = 減少スル。
2. 混合スル空氣或ハ酸素ノ量ガ或範圍(上又ハ下何レモ)ヲ脱スルトキハ電氣火花ニテ著火スルコトガ出來ナイ。
3. 爆發ノ最高壓ハ爆發瓦斯ノ成分同一ナルトキハ爆發前ノ壓力 = 正比例スル。
4. 爆發瓦斯ノ成分同一ナルモノノ體積大ナル = 從イ壓力ガ増加スル。
5. 爆發ノ最高溫度ハ爆發瓦斯ノ成分及溫度同一ナルトキハ爆發前ノ壓力ノ大小 = 關セズ略一定デアル。
6. 容器ノ著火栓ノ位置及數ガ爆發ノ効果 = 關係スル。一般 = 短キ圓筒體ナレバソノ蓋ノ中央 = 近く著火スルノガ有効デアル。

37. 瓦斯燃料成分及發熱量

瓦斯燃料ノ成分及發熱量ヲ第 32 表 = 示ス。

第 32 表 瓦斯燃料成分及發熱量

名 稱	瓦斯成分體積 %						發 熱 量		完全燃焼 = 必要ナル 空氣ト 本瓦斯ト ノ體積比	
	水 素 H ₂	メ タ ン CH ₄	エ チ レ ン C ₂ H ₄	一 酸 化 炭 素 CO	窒 素 N ₂	酸 素 O ₂	二 酸 化 炭 素 CO ₂	溫度 0°C, 壓力 = 760 mm Hg = 於ケル 1 m ³ ノ 發 熱 量 kcal		低 值
天然瓦斯(米國ピッツバーグ)	3.0	92.0	3.0		2.0			8,200	9.73	8,200
オ イ ル 瓦 斯	32.0	48.0	16.5		3.0	0.5		7,170	8.07	7,170
石 炭 瓦 斯 (東京瓦斯會社)	29.1	24.1	3.4	7.9	27.6	2.9	5.0	3,500	7.69	3,500
コ ー ク ス 瓦 斯	50.0	36.0	4.0	6.0	2.0	0.5	1.5	5,060	5.60	5,060
増 熱 瓦 斯	40.0	25.0	8.5	19.0	4.0	0.5	3.0	4,910	5.25	4,910
水 發 生 器 瓦 斯 (堅炭ヨリ)	48.0	2.0		38.0	5.5	0.5	6.0	2,590	2.33	2,590
發 生 器 瓦 斯 (軟炭ヨリ)	20.0		0.5	25.0	49.5	0.5	5.0	1,290	1.07	1,290
發 生 器 瓦 斯 (コークスヨリ)	10.0	3.0		23.0	53.0	0.5	5.0	1,290	1.14	1,290
熔 鐵 瓦 斯	10.0			29.0	56.0	0.5	4.5	1,150	0.98	1,150
ワ ン ド 瓦 斯	1.0			27.5	60.0		11.5	869	0.72	869
モ 瓦 斯	27.0			8.2	44.8		18.0	1,130	1.03	1,130

38. 石 油

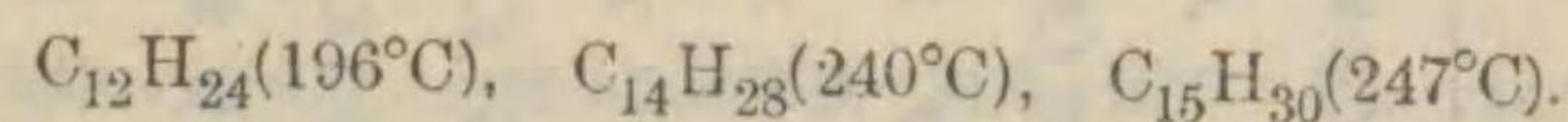
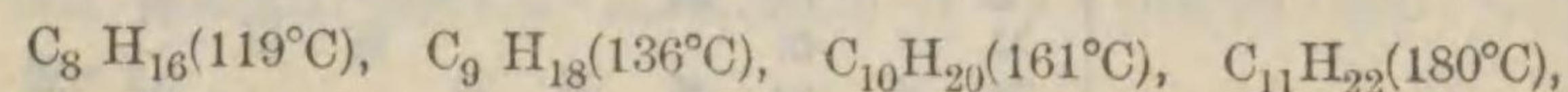
1. パラフィン属石油 化學式 $C_n H_{2n+2}$ = テ表ワサル、炭化水素デアル。

名 稱	化學式	比重 (16°C)	沸騰點 °C	名 稱	化學式	比重 (16°C)	沸騰點 °C
ペンテン	$C_5 H_{12}$	0.627	36	ドデケン	$C_{12} H_{26}$	0.757	214
ヘキセン	$C_6 H_{14}$	0.663	68	トデケン	$C_{13} H_{28}$	0.778	234
ヘプテン	$C_7 H_{16}$	0.688	98	テトラデケン	$C_{14} H_{30}$	0.796	252
オクテン	$C_8 H_{18}$	0.719	125	ペンタデケン	$C_{15} H_{32}$	0.809	270
ノーネン	$C_9 H_{20}$	0.723	130	ヘキサデケン	$C_{16} H_{34}$		287
デケン	$C_{10} H_{22}$	0.736	161	ヘフタデケン	$C_{17} H_{36}$		303
ウンデケン	$C_{11} H_{24}$	0.756	194	オクトデケン	$C_{18} H_{38}$		335

2. オレフィン属石油 化學式 $C_n H_{2n}$ = テ表ワサル、炭化水素デアル。同質異體デアルカラ重量ニテ何レモ炭素 85.7%, 水素 14.3% ヨリ成ル。ソノ 1 kg ガ完全燃焼ヲ爲スニ必要ナル酸素最小量ハ 3.43 kg デアル。即チ 14.85 kg (1 atm, 16°C =テ 11.50 m³) ノ空気ヲ要スル。而シテ完全燃焼ヲ爲シテ生ズル燃焼産物ハ CO₂ 3.142 kg, H₂O 1.287 kg, N₂ 11.420 kg 合計 15.85 kg デアル。

名 稱	化學式	比重 (16°C)	沸騰點 °C	名 稱	化學式	比重 (16°C)	沸騰點 °C
アミレーン	$C_5 H_{10}$		73	ダイヤモンド	$C_{10} H_{20}$	0.777	165
ヘキシレーン	$C_6 H_{12}$		81	トリヤミレーン	$C_{15} H_{30}$		192
ヘプチレーン	$C_7 H_{14}$	0.714	84	テトラミレーン	$C_{20} H_{40}$		390
オクチレーン	$C_8 H_{16}$		119				

3. ナフシン属石油 オレフィン属ト同質異體デアル。Redmond ガ露國石油ヨリ分離シタルナフシン属ノ化學式、沸騰點次ノ如シ。



而シテ $C_8 H_{16}$ ハ 0°C = 於テ其ノ比重 0.77, $C_{12} H_{24}$ ハ 17°C = テ 0.80 デアル。

4. 原油 油井ヨリ採取セン儘ノ石油ヲ原油ト稱シ産地ニヨリテ物理的性質ヲ異ニスル。普通之ヲ分溜シテ揮發油、燈油、輕油、重油ノ四種ニ分ツ。

5. 揮發油 150°C 以下ノ蒸溜液デアル。コレヲ石油エーテル(沸騰點 40~70°C), ガソリン(沸騰點 70~80°C), ナフサ又ハベンジン(沸騰點 80~150°C) ノ三種ニ大別スル。何レモ 0°C = テ引火スル。比重ハボーマ 70~90 度デアル。ガソリンハ 1 atm, 15.6°C = 於テ 160 倍ノ體積ニ氣化スル。比熱 0.45, 氣化ノ潜熱ハ 1 kg = ツキ 78 kcal, 發熱量ハ 1 kg = ツキ高値 10,600 kcal, 低値 9,800 kcal デアル。

6. 燈油 150~300°C ノ蒸溜液ニシテ比重ハボーマ 38~56 度デアル。

7. 輕油 我國ニテハ比重ボーマ 38~56 度ヲ燈油ト稱シ、比重 27~37 度ヲ輕油ト稱スル。コノ外未洗油、クラッキング油等輕油ヨリ劣等ノ油ヲ發動機油トシテ使用スル。

8. 重油 燈油ヲ蒸溜シタル殘滓ヲ重油ト稱スル。

9. 未洗油、クラッキング油 未洗油ハ性質輕油ニ類シ硫酸ニテ洗淨精製セザル油デアツテ有機酸ガ残留セルモノデアル。又クラッキング油ハ重油ヨリクラッキング法ニテ製造セルモノデアツテ兩者共ニ褐色ヲ帶ビ惡臭ガアル。

油ノ檢定ニ關シテハ次ノ各項ニヨリテ良否ヲ判定スル。

分溜試験、灰分、固形不純物、發熱量、水分、コークス含有量、アスファルト含有量、パラフィン含有量、硫黃含有量、酸含有量、分子組織、粘度、引火點、發火點、比重等。

39. 本邦産石油

本邦産石油ノ比重、發熱量ハ大約次ノ如ク看做シテ差支無イ(第 33 表參照)。

種 類	燈 油	輕 油	重 油
比 重(ボーマ)	42	30	22
發熱量(kcal/kg)	10,300	10,200	10,100

40. 石油以外ノ液體燃料

1. コールタール ソノ性質ハ瓦斯製造ニ使用シタル窯及爐ノ型式ニヨリテ差異ガアル。例エバ横レトルトヨリ採取セラレルコールタールハディーゼル機關ニ不適當デアルガ多量ノピッチ、水分、塵埃ヲ含ムモノハ之ヲ蒸溜或ハ精製シテディーゼル機關ニ使用スル事ガ出來ル。其平均成分ハ水素 6%, 炭素 89.5%, 酸素及窒素 4%, 硫黃 0.5% デアル。發火點 204°C 以上、自然發火點 600~650°C, 低値發熱量 8,900 kcal/kg デアル。

2. タール油 コールタールノ蒸溜ニヨリテ得ラレル。ナフタリン及アンスラセンノ

混合デアツテディーゼル機関ノ好燃料デアル。水ヨリ重クシテ引火點 60~121°C, 發火點 84~160°C, 低值發熱量 8,845~9,125 kcal/kg デアル。

3. **ベンゾール** **コールタール**ノ精製ニヨリ得ラル、油デアツテ化學記號 C_6H_6 , 沸騰點 80°C デアル。揮發油ニ類似セルヲ以テ自動車用ノ燃料ニ適スル。気化セルモノハ同温同壓同體積ノ空気ニ比シテ 2.7 倍ノ重ヲ有スル。

4. **動植物油** 落花生油, 棕櫚油, 綿種油等アレドモディーゼル機関燃料トシテ不經濟デアル。魚油ハ内燃機関ノ燃料トシテ使用スルコトガ出來ル。

5. **アルコール** 工業用アルコールハ 5~10% ノ水ヲ含ム, コレヲ夫々 95~90% ノ

第 33 表 本邦産石油成分及發熱量一覽表

油 名	比 重 ボ-メ	炭 素 %	水 素 %	酸素其他 %	發熱量 kcal/kg
遠州原油	45.0	85.95	14.05	—	10,332
石狩原油	44.1	86.07	13.75	0.18	10,300
頸城原油	41.1	85.58	13.92	0.50	10,258
西山原油	38.0	85.81	13.64	0.55	10,244
同上上	30.8	86.30	12.90	0.30	10,103
東山原油	28.6	86.07	13.06	0.87	10,176
内地燈油	42.7	85.78	14.22	—	10,369
同上上	42.5	85.97	14.03	—	10,317
同上上	42.5	85.98	14.02	—	10,314
同上上	41.0	86.05	13.95	—	10,299
内地輕油	33.0	86.46	13.54	—	10,228
同上上	30.6	86.58	13.42	—	10,182
同上上	29.0	86.58	13.42	—	10,174
同上上	28.8	86.60	13.40	—	10,164
同上上	27.9	86.65	13.35	—	10,161
西山重油	22.9	87.00	12.61	0.39	10,096
同上上	22.8	87.08	12.53	0.39	10,099
同上上	19.5	85.40	12.48	2.12	10,018
頸城重油	22.9	87.14	12.51	0.29	10,118
同上上	20.2	85.48	12.51	2.01	10,065
七日市重油	20.4	87.01	12.45	0.54	10,009
同上上	19.3	86.20	12.84	0.96	10,044
黒川重油	21.0	87.09	12.46	0.45	10,077

アルコールト稱スル。エチル・アルコール (C_2H_5OH) トメチル・アルコール (CH_3OH) ノ別ガアル。エチル・アルコールハ澱粉, 糖蜜, 甘藷等ヨリ製造セラレメチル・アルコールハ木材乾溜等ニヨリ造ラレル。又合成的ニモアルコールヲ造ルコトガ出來ル。將來油ガ缺乏シタ場合ニコレニ代用セラルベキ重要ナル液體燃料デアル。90% ノエチル・アルコールノ低值發熱量ハ毎リットル 4,700 kcal, 99% ノメチル・アルコールハ 3,300 kcal デアル。之ヲ重油毎リットルノ低值發熱量 9,000 kcal, タール油ノ 9,400 kcal, 植物油ノ 8,200 kcal ニ比スレバ同體積ニテ約半分ノ發熱量ヲ有スル。

6. **頁岩油(シェール油)** 頁岩ヲ乾溜シテ造ラレ其ノ性質ハ重油ニ酷似シテ居ル。

41. 石 炭

1. **アソプス熱算式** C, T, G, W ヲ夫々固定炭素, タール, 瓦斯, 水ノ百分率, a ヲ $C/(T+G+W)$ ノ値ニヨリテ變ズル係數トスレバ

$$\text{發熱量} = 81 C + 95 T + aG - 12 W \text{ kcal/kg.}$$

$C/(T+G+W)$	1.3 未満	1.3~2.5	2.5~5.0	5.0 以上
a	100	110	140	160

2. **本邦産石炭** アソプス法ニヨル分析結果及發熱量ヲ第 34 表ニ示ス。

42. 固體燃料ノ體積ト重量

含有水分ノ多少, 炭質, 炭塊ノ大サ等ニヨツテ異ナルガ乾燥セル燃料ノ 1 ton 當リノ體積 m^3 概數ハ下ノ如クデアル。石炭ハ 5%, コークスハ 10% ノ水分ヲ容易ニ含有シ又乾燥セル薪材ノ重量ガ生木ノ半分位トナル等水分含有量ガ燃料ノ重量ニ著シク影響スル。

有煙炭	無煙炭	コ-クス	木炭	薪材
1.14~1.25	0.95~1.14	2.00	3.43	2.8~3.9

43. 固體燃料ノ成分

種 類	無煙炭	有煙炭	ガス・コ-クス	コーライト
炭 素 %	92	70	85	72
揮 發 分 %	6	20	6	17
灰 分 %	1.5	8	9	12

第 34 表 本 邦 産 石 炭 分 析 表

石炭種類	名 稱	成 分							發熱量 kcal/kg	
		全水分 %	化合水 %	瓦斯 %	タール %	揮發分 %	固定炭素 %	灰分 %	ボンブ熱量計	アソブス公式
有煙炭	岩谷	8.20	5.29	18.50	14.50	38.29	54.39	4.41	7,485	7,907
	鯉田	7.00	4.77	19.90	19.50	44.17	51.45	2.15	7,823	7,926
	芳谷	6.30	3.77	21.22	14.50	39.49	53.53	4.45	7,751	7,759
	方城	10.54	7.46	18.24	12.00	37.70	53.64	5.58	7,464	7,547
	大ノ浦	7.15	4.21	18.68	15.50	38.39	53.12	5.55	7,335	7,557
	大金	13.04	9.57	19.24	10.50	39.31	52.20	5.02	6,867	6,993
	崎田	10.15	6.23	20.95	10.50	37.68	54.75	3.65	7,671	7,825
	茨戸	5.90	4.85	19.05	12.50	36.40	51.55	11.00	7,584	7,578
	芳城	28.50	9.00	21.55	9.00	39.55	35.52	5.43	5,221	5,545
	吉雄	8.86	6.68	15.09	18.50	40.27	44.13	13.42	7,018	6,735
	赤隈	8.90	6.65	17.70	18.50	42.85	48.88	6.02	7,616	7,380
	湯坂	11.80	8.95	15.63	15.50	40.08	49.92	7.15	7,377	6,938
	湯本	18.65	4.82	22.30	14.00	41.12	34.70	10.35	5,704	6,147
	入山	20.04	7.01	14.89	14.50	36.40	40.75	9.82	5,943	5,927
	上山	15.04	8.26	18.31	15.50	42.07	33.27	17.88	5,943	5,818
	上山	6.86	4.44	17.54	15.50	37.48	52.31	7.79	7,690	7,732
	上山	6.93	3.80	11.15	10.50	25.45	56.04	14.88	7,018	6,852
	上山	8.36	5.96	17.69	12.00	35.65	52.08	8.97	7,464	7,438
	上山	7.50	4.90	17.75	13.00	35.65	51.58	10.17	6,979	7,453
	上山	6.77	4.79	17.08	12.50	34.37	57.06	6.59	7,676	7,778
相山	8.40	5.45	16.91	16.00	38.36	50.52	8.17	7,377	7,202	
相知	6.93	3.81	18.42	18.50	40.73	44.54	11.61	7,138	7,125	
峰地	8.36	4.56	15.57	16.00	36.13	53.02	7.05	7,377	7,583	
大峰	9.93	6.28	16.09	13.50	35.87	47.03	13.45	7,128	7,100	

石炭種類	名 稱	成 分							發熱量 kcal/kg	
		全水分 %	化合水 %	瓦斯 %	タール %	揮發分 %	固定炭素 %	灰分 %	ボンブ熱量計	アソブス公式
有煙炭	本洞	7.93	5.19	17.42	17.50	40.11	51.79	5.36	7,377	7,504
	本洞	11.86	5.24	13.62	16.50	35.36	50.26	7.76	7,237	6,858
	田川	9.40	6.15	17.32	13.00	36.47	44.12	16.16	6,540	6,428
	伊田	13.00	10.00	16.55	16.50	43.05	45.20	8.75	7,128	6,676
	三池	5.60	4.95	21.73	11.00	37.68	52.98	8.69	7,974	7,442
	三池	6.52	5.99	17.32	14.50	37.81	52.90	8.76	8,014	7,662
	新夕張	6.31	4.37	16.38	19.80	40.55	53.38	4.13	7,855	7,767
	登川	11.29	7.04	22.06	12.67	41.77	51.75	2.23	7,616	7,466
	田川	11.58	8.28	25.30	10.00	43.58	45.59	7.53	7,077	7,003
	田川	10.04	7.26	18.06	11.00	36.32	50.46	10.44	6,779	7,218
	新入	11.56	8.31	19.79	11.00	39.10	52.05	5.60	7,496	7,101
	砂川	6.70	4.83	18.85	15.00	38.68	54.75	4.70	7,855	7,664
	松島洗粉	7.50	5.35	18.60	15.50	39.45	50.63	17.72	7,616	7,314
	松島中塊	6.91	4.71	19.92	13.50	38.13	48.07	11.60	7,377	7,063
	明治	9.17	6.29	21.83	13.00	41.12	52.03	3.97	7,735	7,522
	豐國	11.15	8.90	22.35	9.50	40.75	49.47	7.53	7,162	7,011
	多久	8.04	5.92	21.91	17.00	44.83	43.39	9.66	7,496	7,223
	高田	13.00	10.30	18.55	12.00	40.85	46.24	10.21	6,510	6,584
	赤池	11.61	8.54	19.04	11.50	39.08	51.13	6.72	7,079	6,999
	山野本坑	11.15	8.75	22.55	9.50	40.80	49.33	7.47	7,234	7,019
山野三坑	12.93	9.58	16.82	12.50	38.90	50.35	7.40	7,341	6,802	
山野四坑	11.04	7.79	18.36	15.50	41.65	50.31	4.79	7,043	7,251	
美唄	9.78	6.73	22.59	16.50	45.82	47.08	4.05	7,267	7,523	
釧路	17.10	11.60	21.00	10.00	42.60	45.65	6.25	6,373	6,542	
釧路	17.00	10.70	16.03	10.50	37.23	42.05	14.42	5,656	5,803	
釧路	13.80	8.19	24.25	7.00	39.44	34.03	20.92	5,335	5,681	
釧路	17.60	11.34	21.23	11.50	44.07	43.87	5.80	6,545	6,558	

石炭種類	名 稱	成 分							發熱量 kcal/kg	
		全水分 %	化合水 %	瓦斯 %	タール %	揮發分 %	固定炭素 %	灰分 %	ボンブ熱量計	アソブス公式
有煙炭	釧路 _五	14.36	9.51	9.57	7.50	26.58	31.30	37.27	4,103	4,032
	釧路 _六	18.95	12.50	15.43	8.50	36.43	33.37	23.75	4,687	4,827
	釧路 _七	17.30	9.58	16.34	8.50	34.42	39.63	18.23	5,430	5,444
	釧路 _八	15.46	8.23	15.49	11.50	35.22	38.95	18.60	5,608	5,608
	田川	13.15	5.77	9.20	11.50	26.47	46.00	20.15	5,698	5,765
無煙炭	田川	12.81	7.06	10.32	9.73	27.11	46.71	20.43	5,787	5,793
	高島煽石	5.50	3.85	5.50	5.50	9.85	85.20	3.30	7,783	7,763
	高島煽石	5.50	2.96	4.00	1.00	7.96	84.40	5.10	7,855	7,505
	高島煽石	4.50	3.11	5.50	1.00	9.61	82.04	6.96	7,707	7,566
	上山田煽石	4.00	2.05	4.50	2.50	9.05	77.30	11.70	6,737	7,171
亞炭	天草無煙	3.50	1.20	4.50	—	5.70	75.50	16.50	6,750	6,794
		28.70	10.48	19.00	0.80	30.28	26.15	25.35	3,556	3,750
		34.80	15.80	22.50	1.20	39.50	20.32	21.18	3,314	3,592
		39.95	13.45	9.75	10.55	33.75	25.05	14.70	3,698	3,527
		30.40	—	24.10	2.50	26.60	17.35	25.65	3,651	3,689
朝鮮炭		23.83	—	21.17	2.50	—	37.10	15.40	4,835	5,074
	亞炭	9.16	—	4.84	—	—	84.00	2.00	7,355	7,472
	咸興	21.97	—	15.03	11.00	—	35.20	16.80	—	5,136
	會寧	24.54	—	11.96	13.50	—	35.59	14.41	—	5,067
	羅南	25.06	—	16.94	14.00	—	27.77	16.23	—	4,972
	竹浦	23.10	—	18.14	15.26	—	31.88	21.62	—	4,127
	花豐	21.93	—	11.57	14.00	—	43.10	9.40	—	5,805
	鳳山	27.55	—	15.45	5.00	—	38.79	13.21	—	4,831
	鳳儀	23.56	—	16.94	11.50	—	38.74	9.26	—	5,541
	安州	26.50	—	13.50	7.50	—	36.99	15.51	—	4,731
生炭	雞林	24.54	—	14.46	8.50	—	41.93	10.57	—	5,355
	氣嶺	26.05	—	13.45	15.00	—	39.69	5.81	—	5,666

第 4 章 蒸 気 罐

4. 標準状態ニ於ケル蒸發, 蒸發係數

100°C ノ水ヨリ同温度ノ蒸気ヲ發生スル蒸發ヲ標準状態ニ於ケル蒸發ト稱スル。實際ノ状態ニ於テ 1 kg ノ蒸気ヲ發生スルニ要スル熱量ト, 100°C ノ水 1 kg ヲ同温度ノ蒸気ニ變ズルニ要スル熱量トノ比ヲ蒸發係數ト云ウ。以下表中ノ蒸發量ハ標準状態ニ於ケルモノデアル。故ニ標準状態ニ於ケル蒸發量ヲ W_0 kg/h, 蒸發係數ヲ k トスレバ實際ノ状態ニ於ケル蒸發量 W kg/h ハ

$$W = \frac{W_0}{k}$$

45. 蒸気罐ノ種類及大サ

1. コルニシ罐

胴ノ直徑 cm	胴ノ長 cm	爐管直徑 cm	圓錐管數	傳熱面積 m ²	蒸發量 kg/h	胴ノ直徑 cm	胴ノ長 cm	爐管直徑 cm	圓錐管數	傳熱面積 m ²	蒸發量 kg/h
120	300	65	2	13	350	170	610	84	4	35	900
120	370	65	2	16	450	170	670	84	5	39	1000
120	430	65	2	18	550	180	550	92	4	34	900
140	300	72	2	15	400	180	610	92	4	38	1000
140	370	72	2	17	500	180	670	92	5	42	1100
140	436	72	2	20	600	180	730	92	5	45	1200
150	370	80	2	19	600	200	670	99	5	46	1200
150	430	80	3	23	650	200	730	99	5	50	1300
150	490	80	3	26	700	200	790	99	6	54	1400
150	550	80	4	29	750	210	730	110	5	53	1300
150	610	80	4	33	850	210	790	110	6	58	1400
170	490	84	3	28	750	210	850	110	6	62	1500
170	550	84	4	31	850	210	910	110	7	67	1600

2. ランカン罐

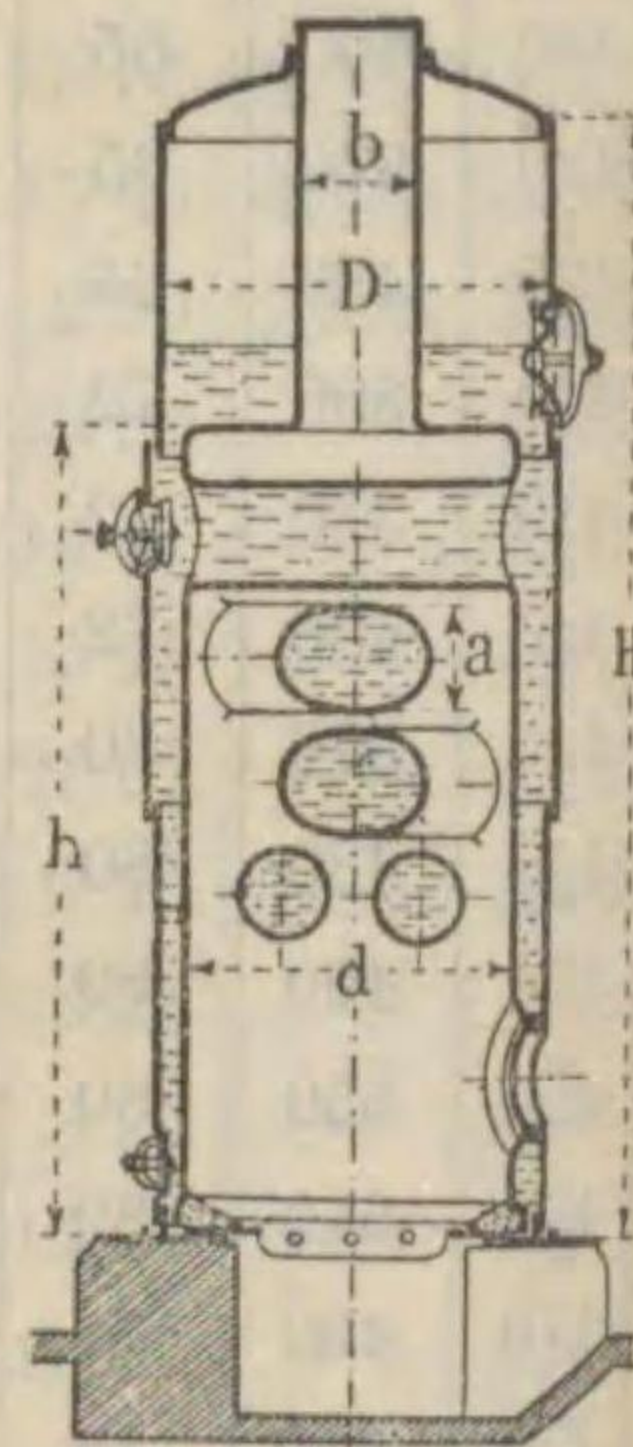
胴ノ直徑 cm	胴ノ長 cm	爐管直徑 cm	圓錐管數	傳熱面積 m ²	蒸發量 kg/h	胴ノ直徑 cm	胴ノ長 cm	爐管直徑 cm	圓錐管數	傳熱面積 m ²	蒸發量 kg/h
170	430	65	2	29	750	200	790	80	8	69	1900
170	490	65	2	33	800	210	730	85	6	67	1900
170	550	65	4	38	900	210	790	85	8	73	2100
180	490	72	2	37	950	210	850	85	8	78	2250
180	550	72	4	42	1100	210	910	85	10	85	2500
180	610	72	4	47	1250	230	850	92	8	85	2500
180	670	72	4	51	1350	230	910	92	10	92	2700
200	610	80	4	51	1350	240	910	99	10	99	3050
200	670	80	4	57	1550	240	970	99	12	106	3250
200	730	80	6	63	1750	260	910	106	10	106	3550

3. 横管入り堅罐

S m ²	D cm	H cm	d cm	h cm	a cm	N	b cm	蒸發量 kg/h
2	65	170	50	98	20	1	18	50
4	85	210	70	150	24	2	24	90
6	90	260	75	175	28	3	28	150
8	105	300	85	200	30	3	32	200
12	120	340	100	240	32	5	35	300
15	130	400	110	275	35	5	38	350
20	150	425	130	290	38	6	42	500

S=傳熱面積, N=横管ノ數

上表中初メノ二ツハ傳熱面=對シ 23kg/m²-h, 他ハ 25kg/m²-h ノ標準蒸發アルモノトシテ計算シタモノデアル。



第 11 圖

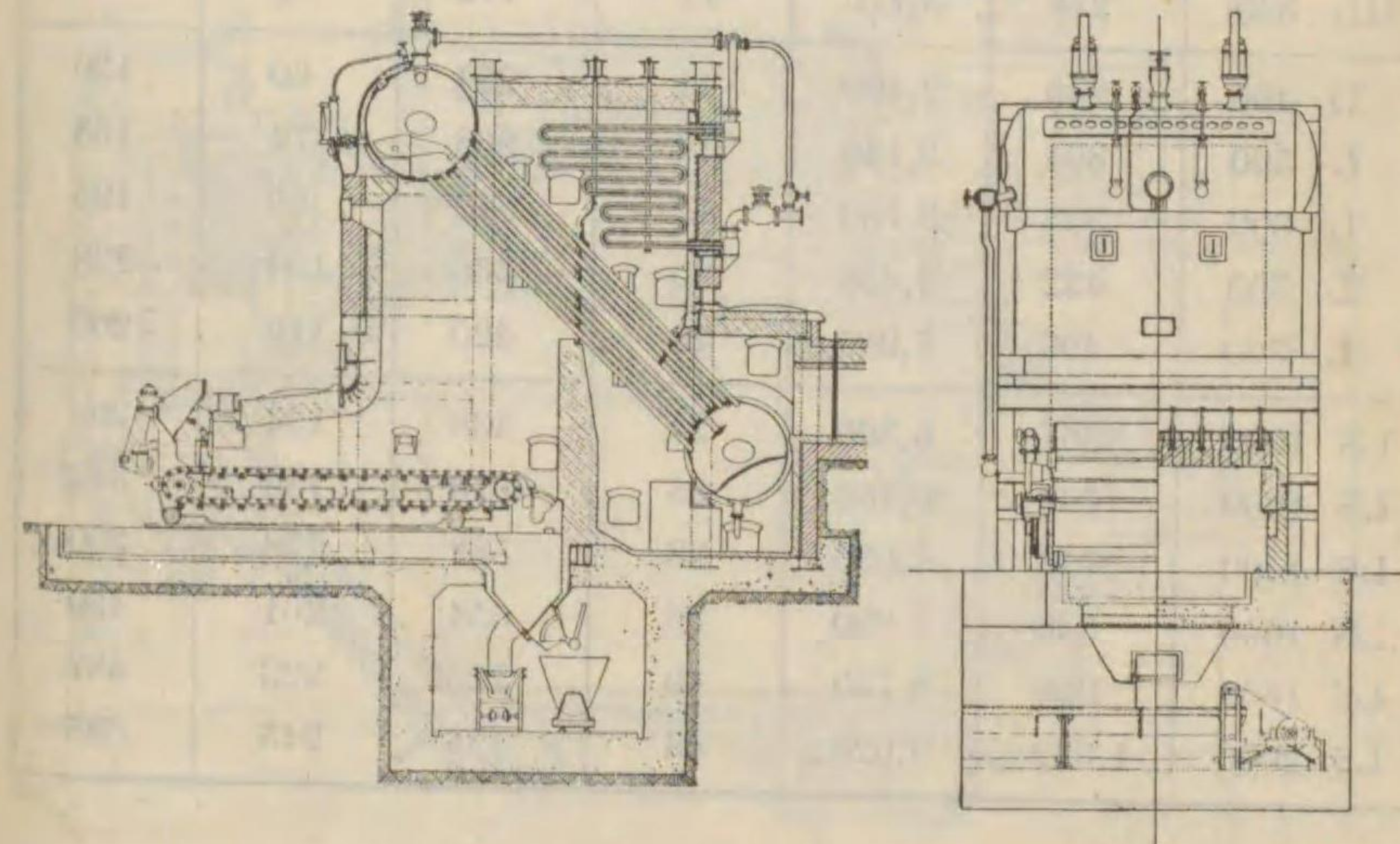
4. 船用圓罐

傳熱面積 m ²	胴ノ直徑 cm	胴ノ長 cm	爐管			燃燒室		煙管			蒸發量 kg/h
			直徑 cm	長 cm	數	高 cm	長 cm	直徑 cm	全數	控管數	
10	120	180	50	130	1	72	35	4.45	46	12	250
25	170	248	75	180	1	108	48	6.35	62	14	700
50	220	295	100	210	1	150	60	7.0	98	20	1350
50	220	260	60	190	2	150	45	7.6	100	22	1350
90	300	290	90	205	2	217	55	8.3	152	36	2400
130	360	305	120	205	2	250	70	8.3	222	48	3500
135	360	295	90	205	3	256	60	8.3	224	53	3600
160	390	310	100	220	3	280	60	8.9	236	57	4300
200	430	310	115	220	3	315	65	8.9	295	66	5400

上表ノ蒸發量ハ傳熱面ノ標準蒸發 27kg/m²-h トシテ計算シタモノデアル。

5. タクマ式蒸気罐

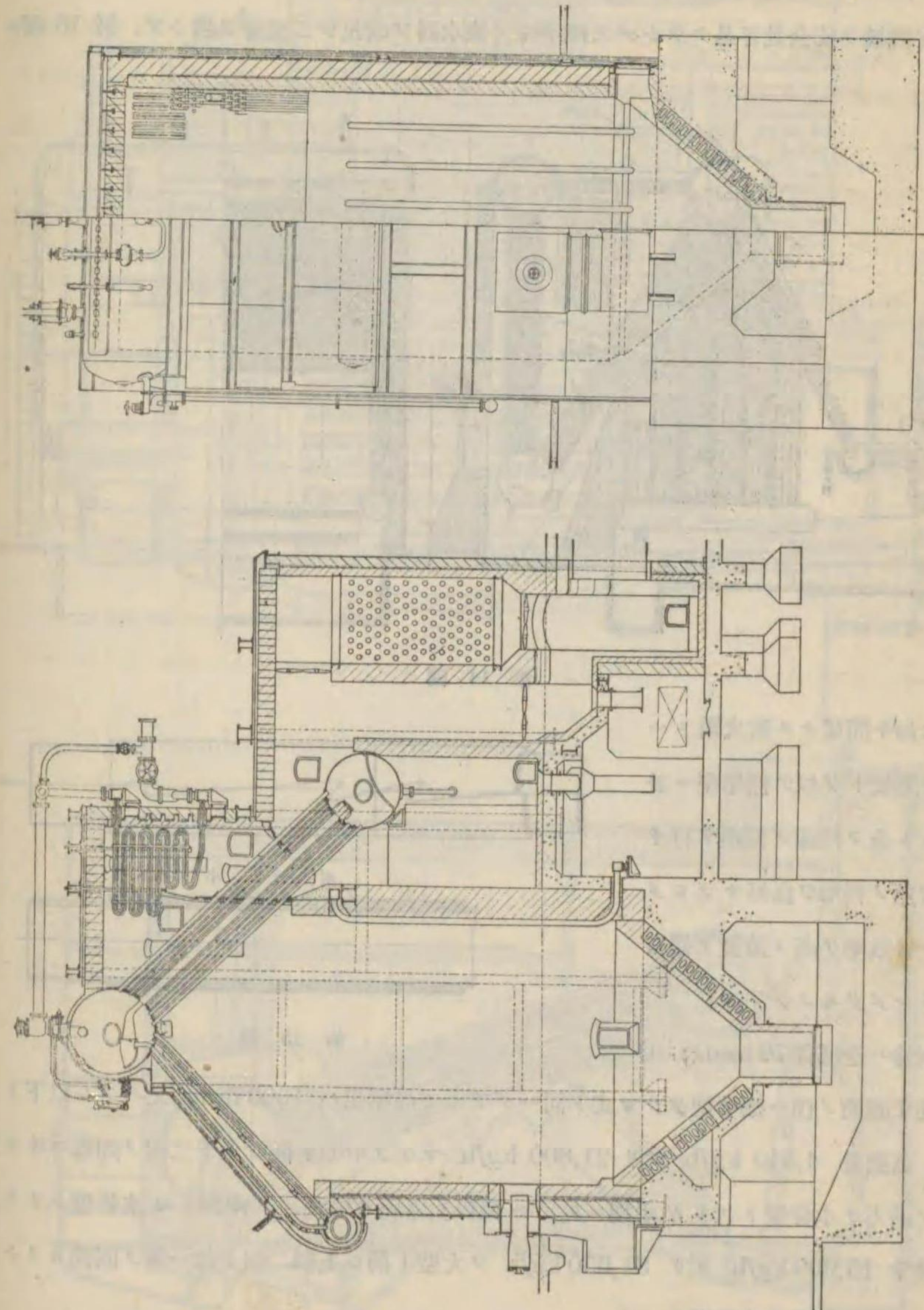
i. 標準型タクマ式蒸気罐 上下二個ノ圓筒ト徑 62 mm (2 1/2 in) 及 133 mm



第 12 圖

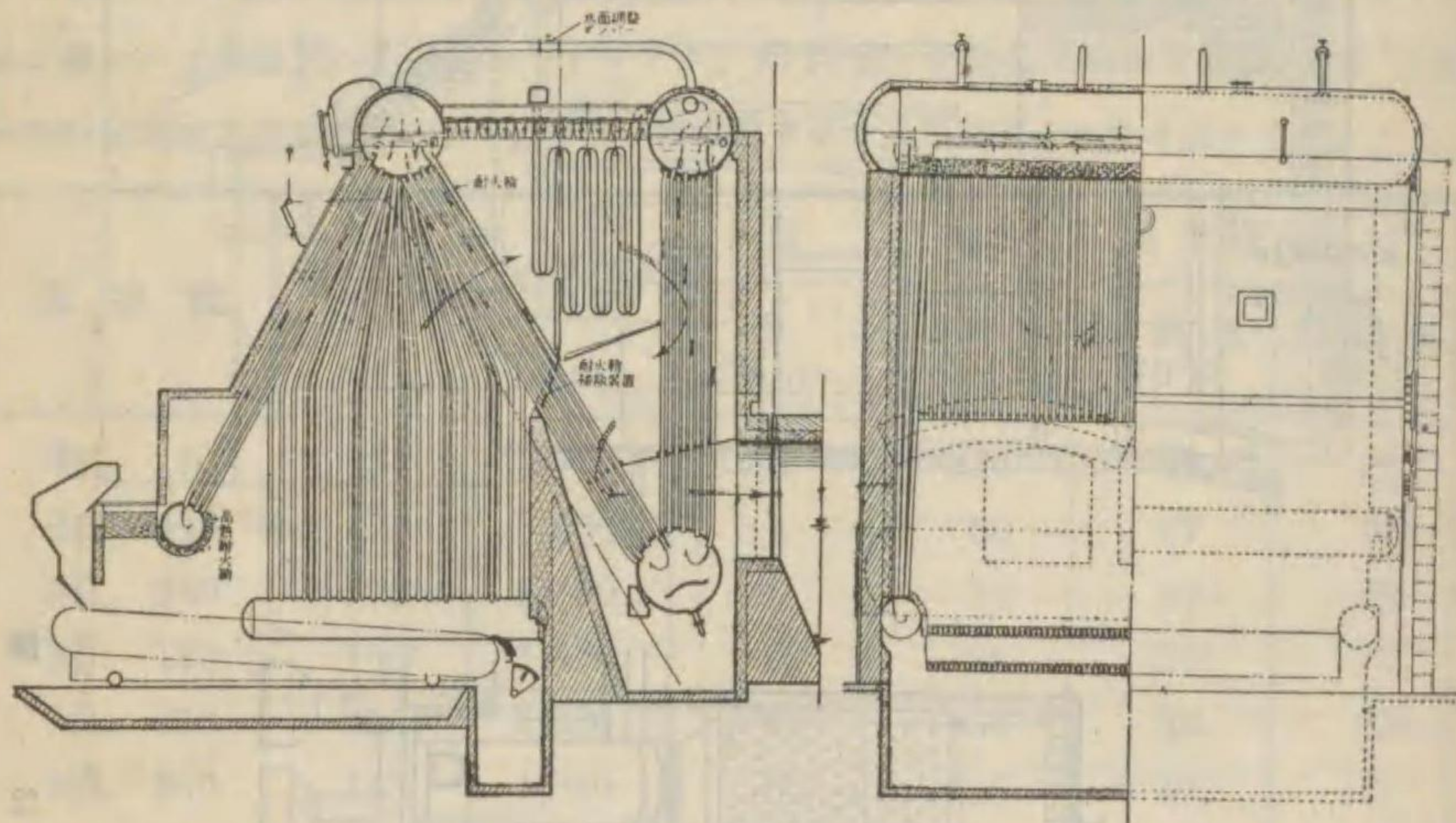
(5 1/4 in) ノ水管ニテ組立テラレ、爐ハ煉瓦ニテ包圍セラレル。特徴ハ上部圓筒内ニ集水器ヲ設ケテ気泡ナキ罐水ヲ作り、徑 133 mm 管内ニ徑 87 mm (3 1/2 in) 管ヲ挿入シテ降水路トナシ気泡對水ノ比重ノ差ニヨル規則正シキ循環ヲ行ワシメテ蒸氣發生ノ効率ヲ高クシク點ニアル。單位傳熱面積當リ蒸發量ハ燃燒ノ方法、燃料ノ種類、通風ノ強弱等ニヨリテ異ナルガ普通 32~73 kg/m²·h デアル。第 12 圖ハ自動給炭機裝備ノ場合、第 13 圖ハ微粉炭燃燒方式ノ場合ヲ示ス。下表ハ標準型タクマ式蒸氣罐ノ主要寸法デアル。

罐 番 號	傳熱面積 m ²	火爐ノ幅 mm	管 數		過熱面積 m ²	
			徑 133 mm	徑 63.5 mm	過熱度 70°C	過熱度 170°C
ML 80	55	760	3	46	12	26
ML 110	73	980	4	60	17	37
ML 140	90	1,190	5	74	22	49
ML 170	108	1,410	6	88	26	57
ML 210	125	1,630	7	102	30	65
ML 240	143	1,840	8	116	37	81
ML 290	178	2,270	10	144	45	98
ML 340	214	2,710	12	172	52	114
L 400	240	2,490	11	204	60	130
L 500	304	3,140	14	258	74	163
L 600	368	3,780	17	312	89	195
L 700	432	4,430	20	366	104	228
L 800	496	5,080	23	420	119	260
LS 1000	567	5,300	24	438	134	294
LS 1200	660	6,160	28	510	156	342
LS 1400	753	7,030	32	582	178	390
LS 1600	846	7,890	36	654	201	439
LS 1800	939	8,750	40	726	223	487
LS 2000	1,032	9,620	44	798	245	535



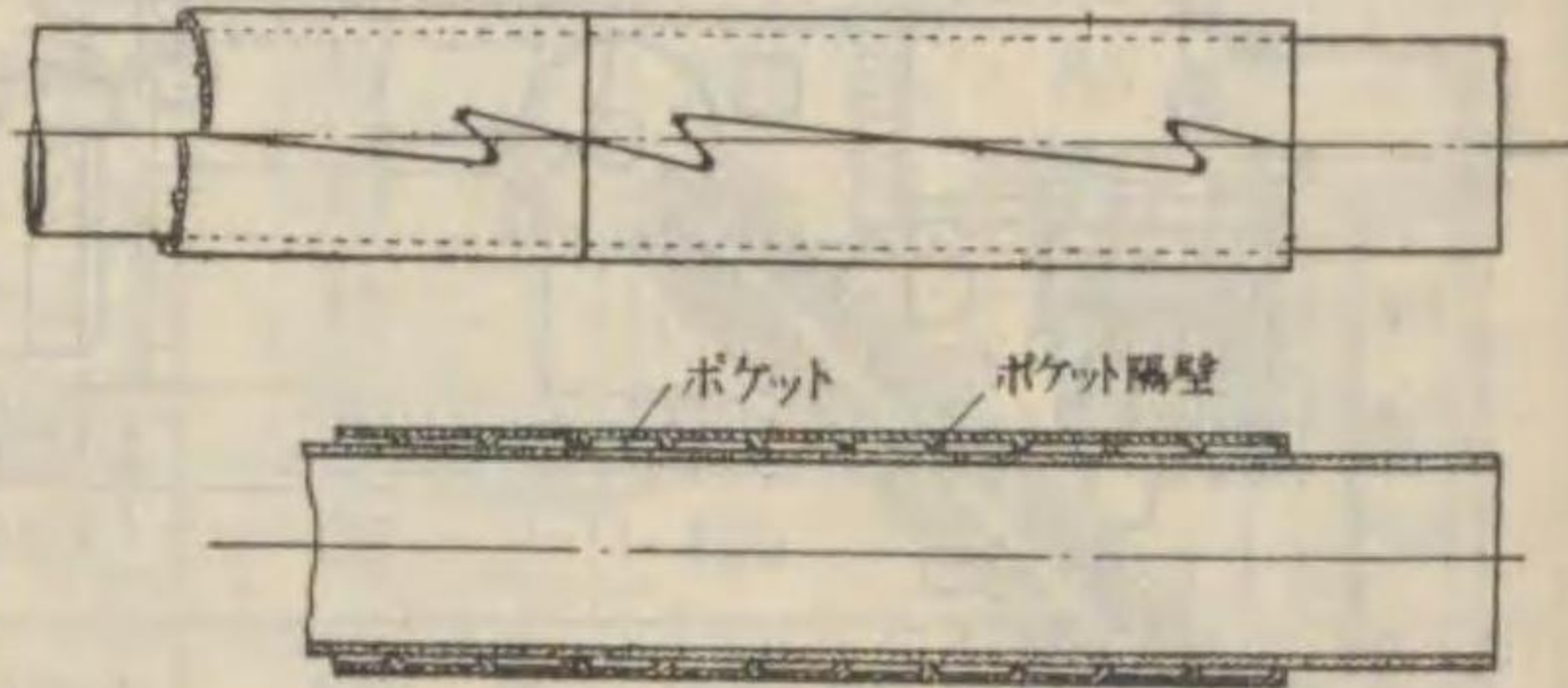
第 13 圖

ii. 大型タクマ式蒸気罐 第 14 圖 = 示ス如ク罐自體ヲ以テ火爐ヲ包围シテ、水管ノ配列、煤及灰ノ掃除、燃滓及スラッグノ附着防止並ニ煉瓦積等ニ就テ特徴アル構造トナシテ高度ノ燃燒ヲ安全且容易ナラシメ又標準型ノ集水器ヲ改良シ二重管ヲ廢シテ、第 15 圖 =



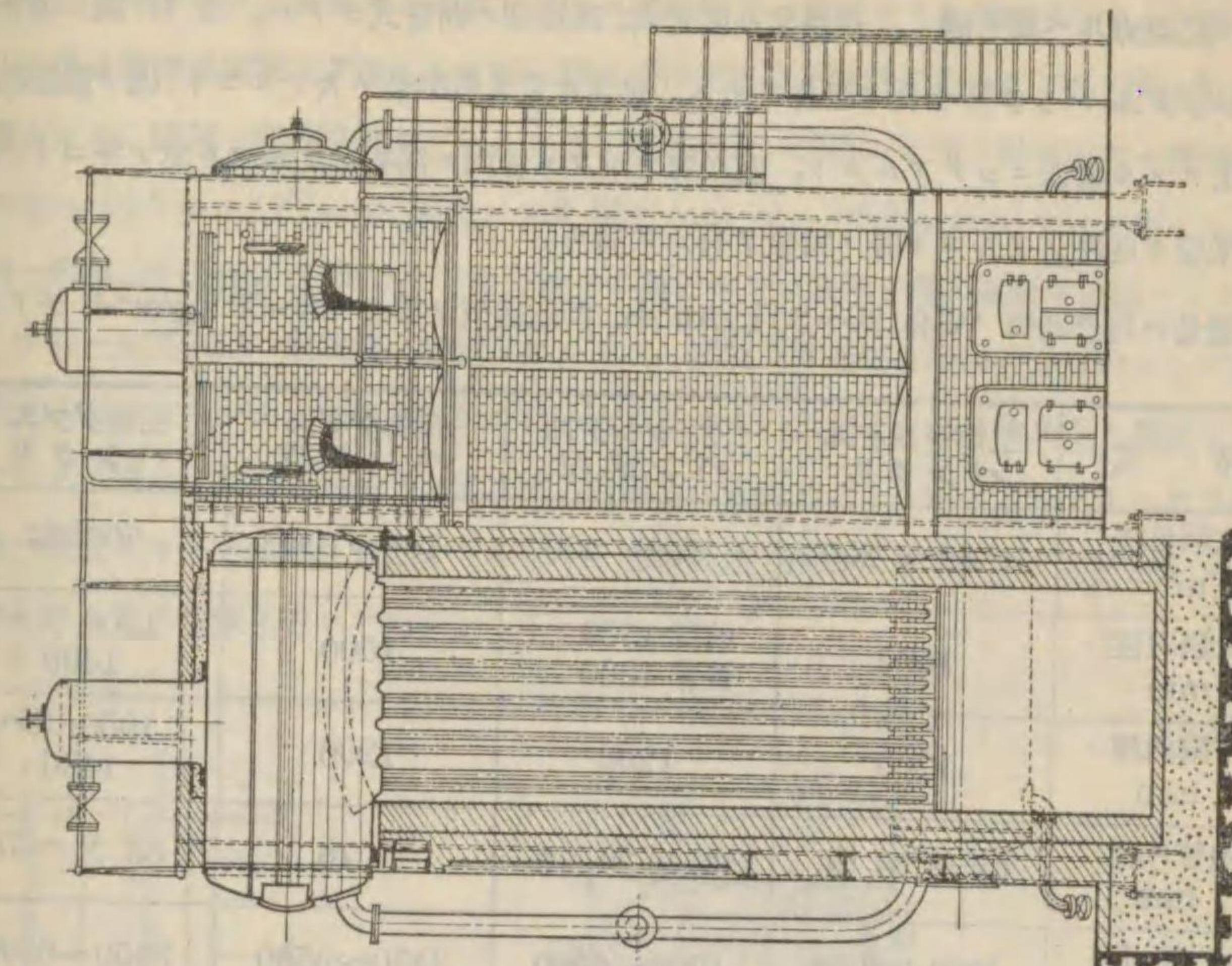
第 14 圖

示ス如キ簡單ナル耐火鞘ト一枚ノ隔板トヲ以テ標準型ニ於ケルト全ク同様ノ循環ヲ行イ輻射熱ノ利用ヲ良好ナラシメテ一層効率ヲ高メ蒸發ヲ豊富ナラシメタモノデアル。

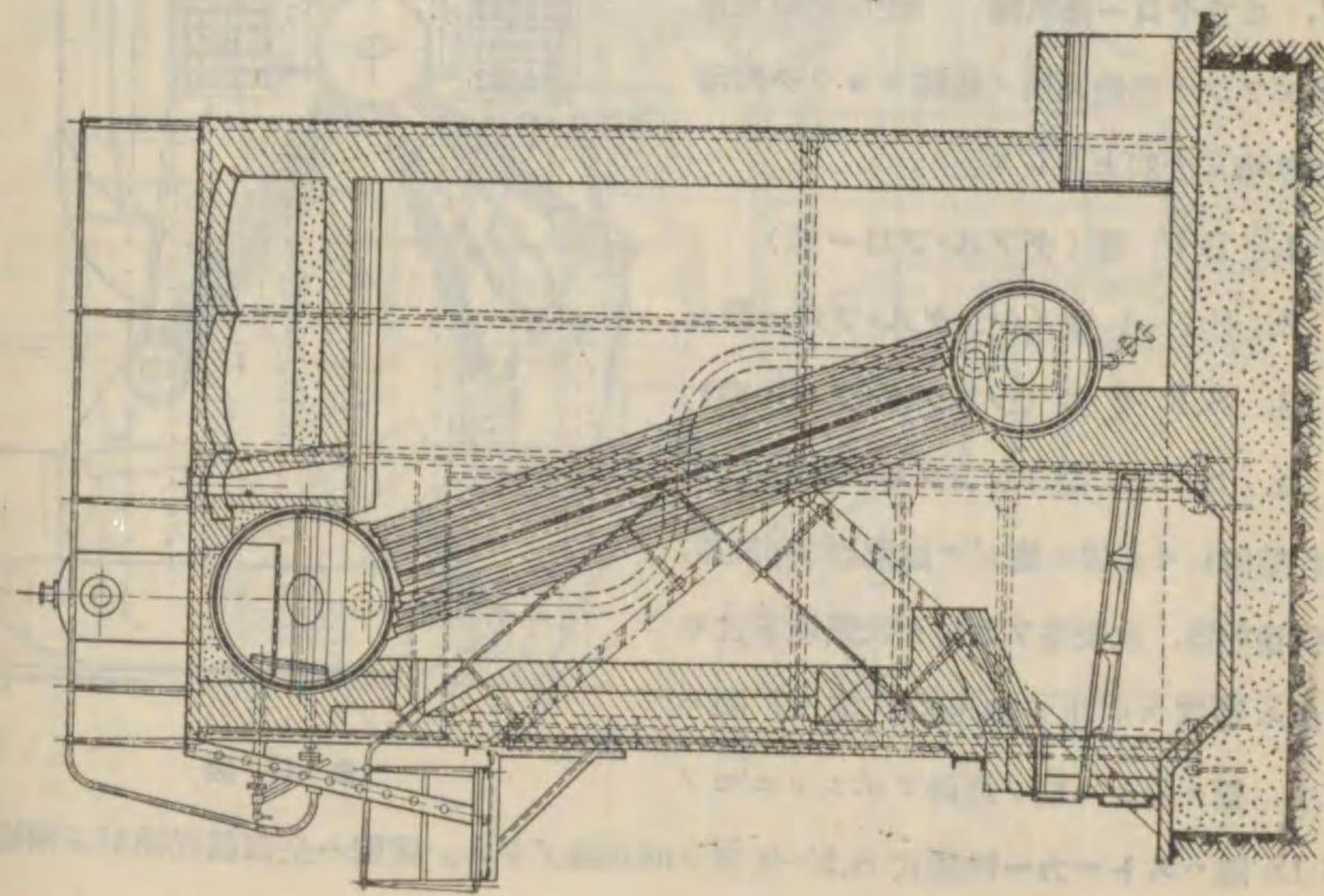


第 15 圖

水管ハ全部徑 76 mm (3 in) ヲ用イ圓筒ノ徑ハ標準型タクマ式ト同一デアルガ高壓用ハ 1000 mm 又ハソレ以下トスル。蒸發量 4,540 kg/h ヨリ 21,800 kg/h マデヲ中型ト稱シ上下二個ノ圓筒ヨリナリ爐ノ前方ヲ水管壁トスルガ中型ニ於テモ微粉炭燃燒ノ場合ニハ兩側トモ水管壁トナス。蒸發量 15,900 kg/h ヨリ 81,650 kg/h ヲ大型ト稱シ上部二個下部一個ノ圓筒ヨリナリ爐ノ前方及兩側ヲ水管壁トスル。



第 16 圖



6. 三菱ガルベ蒸気罐 普通型ハ直管式、高壓型ハ曲管式デアル。第 16 圖ハ直管式二筒シングル・バンク型手焚ノ場合ヲ示ス。包含水量及蒸気量ノ大ナルコト、罐ノ膨脹收縮ヲ自由ニスル構造ニシテアルコト、直立管ナルタメ管内ニ湯垢ノ沈澱スル處ナキコト、罐水ノ循環ガ良好デアアルコト等ノ特徴ヲ有シテ居ル。

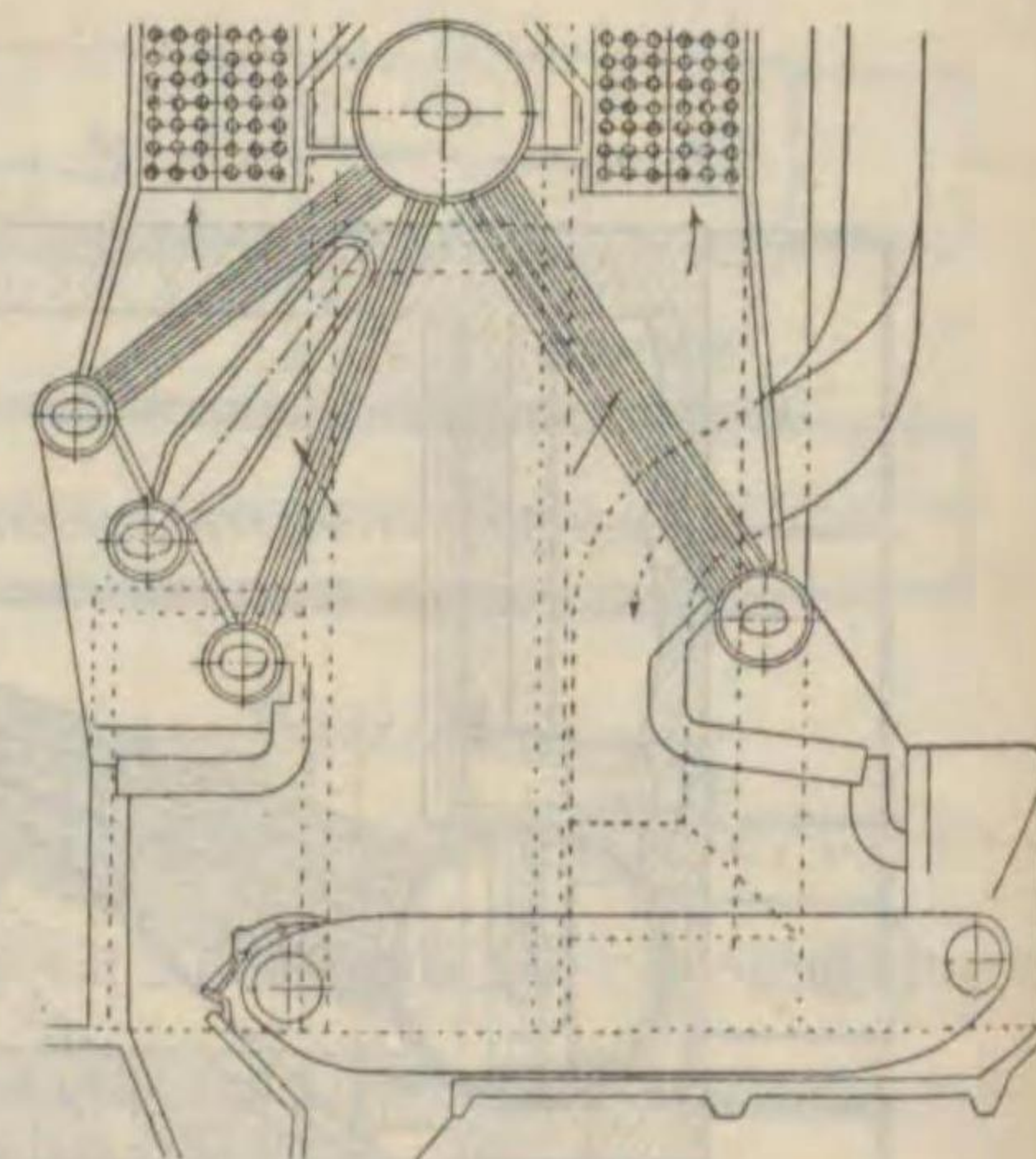
蒸發量ハ自然通気ノ場合 20~35 kg/m²-h、押込通気ノ場合 25~50 kg/m²-h デアル。

型 式	二筒シングル バンク型	三筒シングル バンク型	四筒ダブル バンク型	三筒ダブル バンク型
傳熱面積 m ²	50~200	50~200	150~1000	2000迄
上胴内徑 mm	1500	前部 1500 後部 1200	1500	1300 又ハ 1400
下胴内徑 mm	1200	1200	1200	1300 又ハ 1400
水管外徑 mm	63.5, 70, 76	63.5, 70, 76	76	83 又ハ 76
水管長 mm	4000~6000	4000~6000	3450~6500	3450~6500

7. 日立ヤロー蒸気罐 陸用堅型水管式罐デアツテ燃燒瓦斯ノ通路ニヨツテ四種ノ標準型ニ大別セラレル。

1. D.F. 型 (ダブル・フロー型)
2. S.F.-1 型 (シングル・フロー型)
3. S.F.-2 型 (シングル・フロー型)
4. S.F.-3 型 (シングル・フロー型)

各型何レモ必要ニ應ジテ過熱器、節炭器、空氣豫熱器、水壁等ヲ取付ケ又燃燒方式モ自由ニ選擇スル事ガ出來ル。第 17 圖ハ D.F. 型ニ於ケル焰ノ通路ヲ示シタルモノ

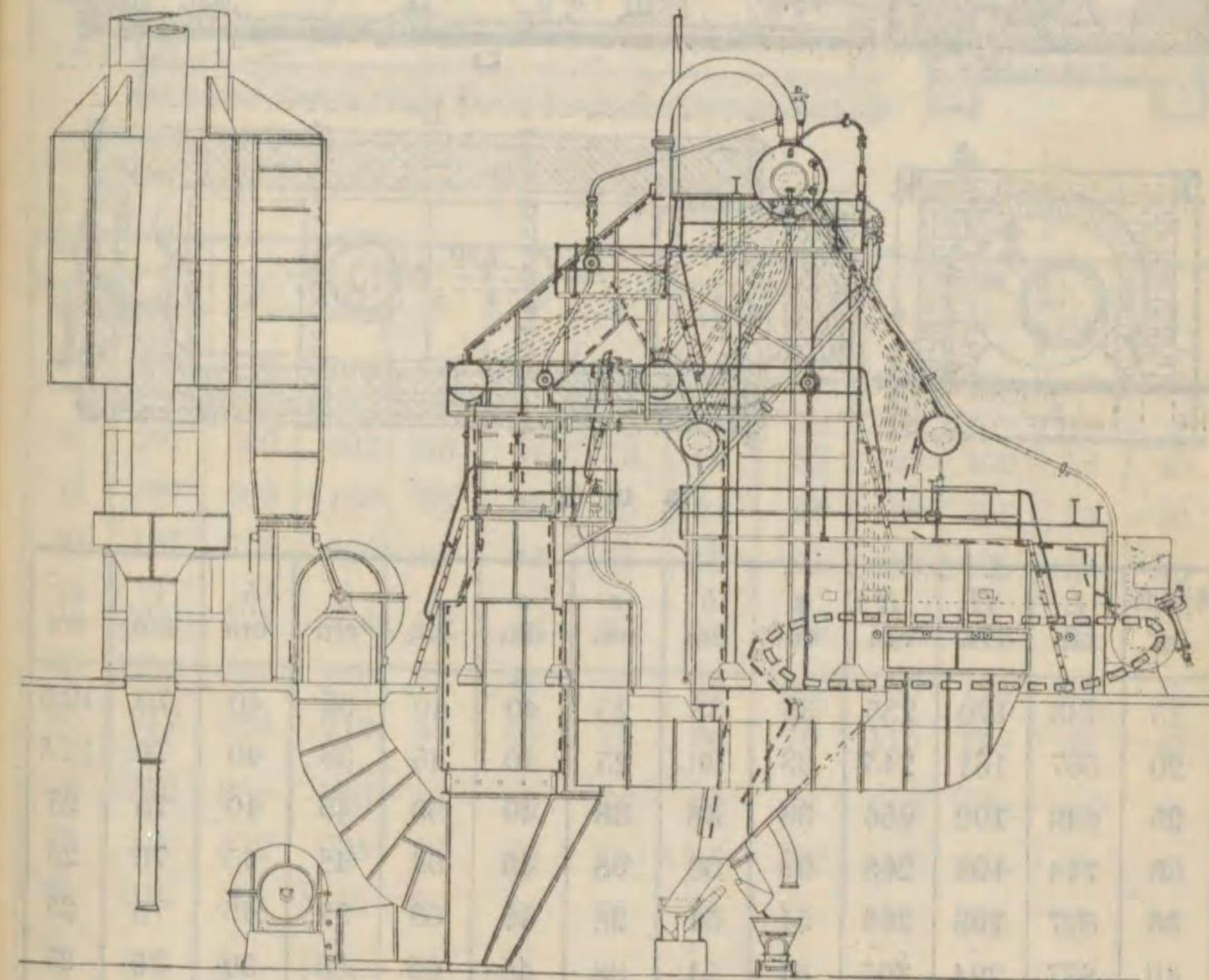


第 17 圖

第 18 圖ハストーカ-燃燒式 S.F.-2 型ノ側面圖デアル。罐胴ハ全部眞圓筒形デ兩端鏡板

ハ略半球形ヲナス。低壓用ハ銲綴デアアルガ超高壓用ハ銲接手ヲ全然用イナイ。三個ノ水胴ト一個ノ頂部蒸気胴トヲ連スル水管ハ總テ直管デアツテ燃燒瓦斯ハ常ニ略直角ニ當ル様ニ導カレル。罐胴ニ直接取付ケラレルタメ比較的小管ヲ密接シテ用イ得ルガ故ニ標準水管ノ外徑ハ 44.5 mm (1³/₄ in)、場合ニヨリ 50.8 mm 又ハ 88.9 mm ノモノヲ用イル。過熱器ハ外徑 28.6 mm (1¹/₈ in) ノ曲管群ヨリ組立テラレ水滴ノ溜ル處無キ構造トシテアル。

ヤロー型蒸気罐ハ燃燒室ノ容積大ナルコト、燃燒瓦斯通路ガ簡單且合理的ニシテ通気ニ對スル抵抗少キコト、輻射熱吸收面積ノ大ナルコト、蒸發管ハ總テ急角度ニ傾斜シテ直管ナルタメ罐水ノ循環ガ容易ニシテ水垢ノ附着スル處少キコト、總テ直管デアアルカラ豫備水管ハ最長ノモノ一種類ニテ充分ナルコト、圓胴及管ノ組合セデアアルカラ高壓用トシテ適當ナルコト等ノ特徴ヲ有シテ居ル。

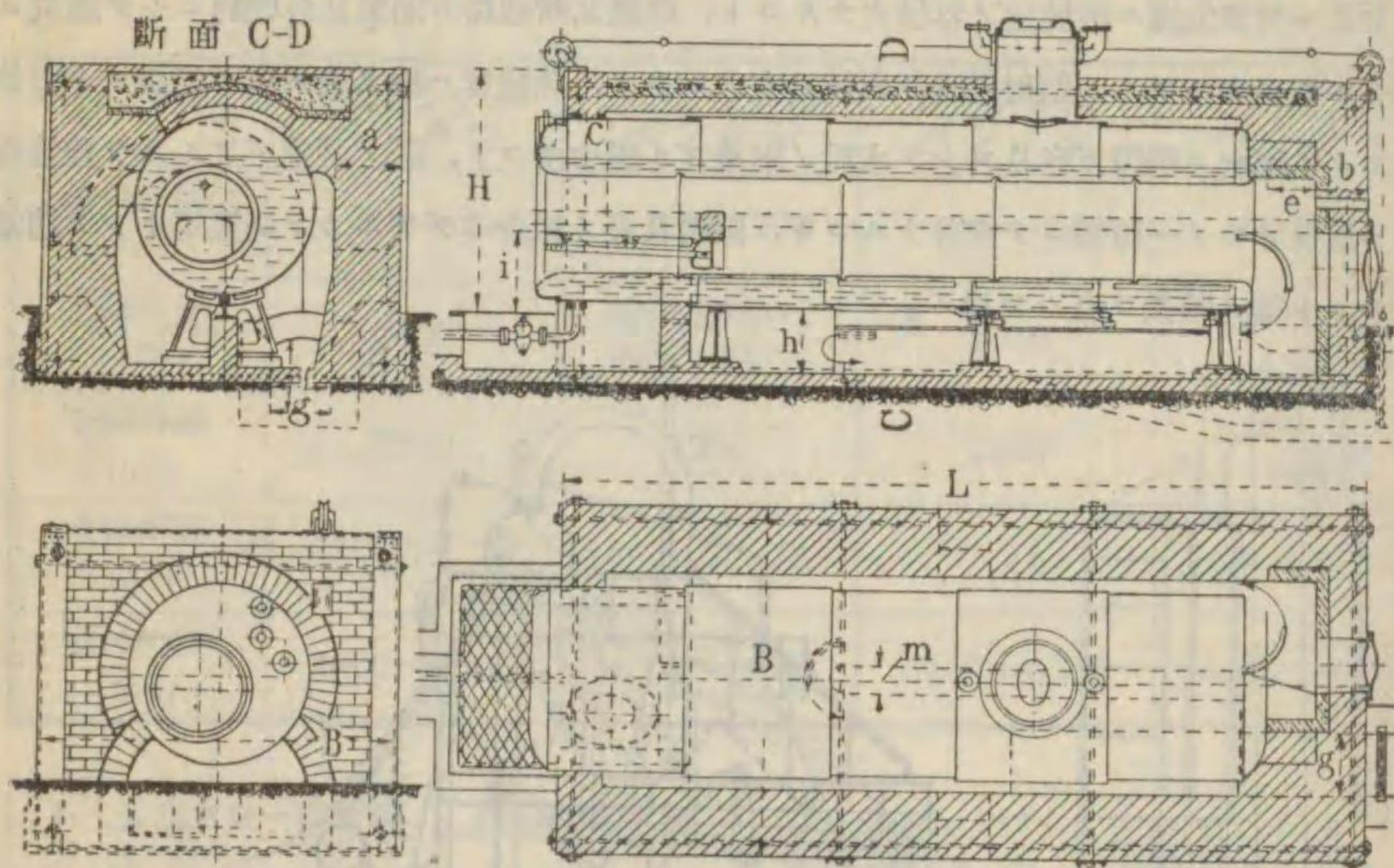


第 18 圖

46. 圓罐ノ据付

焰管式圓罐ニ於テハ焰管ヲ出デタル熱瓦斯ガ罐胴ノ下部及兩側面ヲ通過シタル後煙道ニ出ル様ニ導カレルカラスノ如キ通路ヲ作り且罐ヲ支エルタメニ煉瓦積ヲナス。其形及各部ノ大體ノ寸法ヲ次ニ示ス。

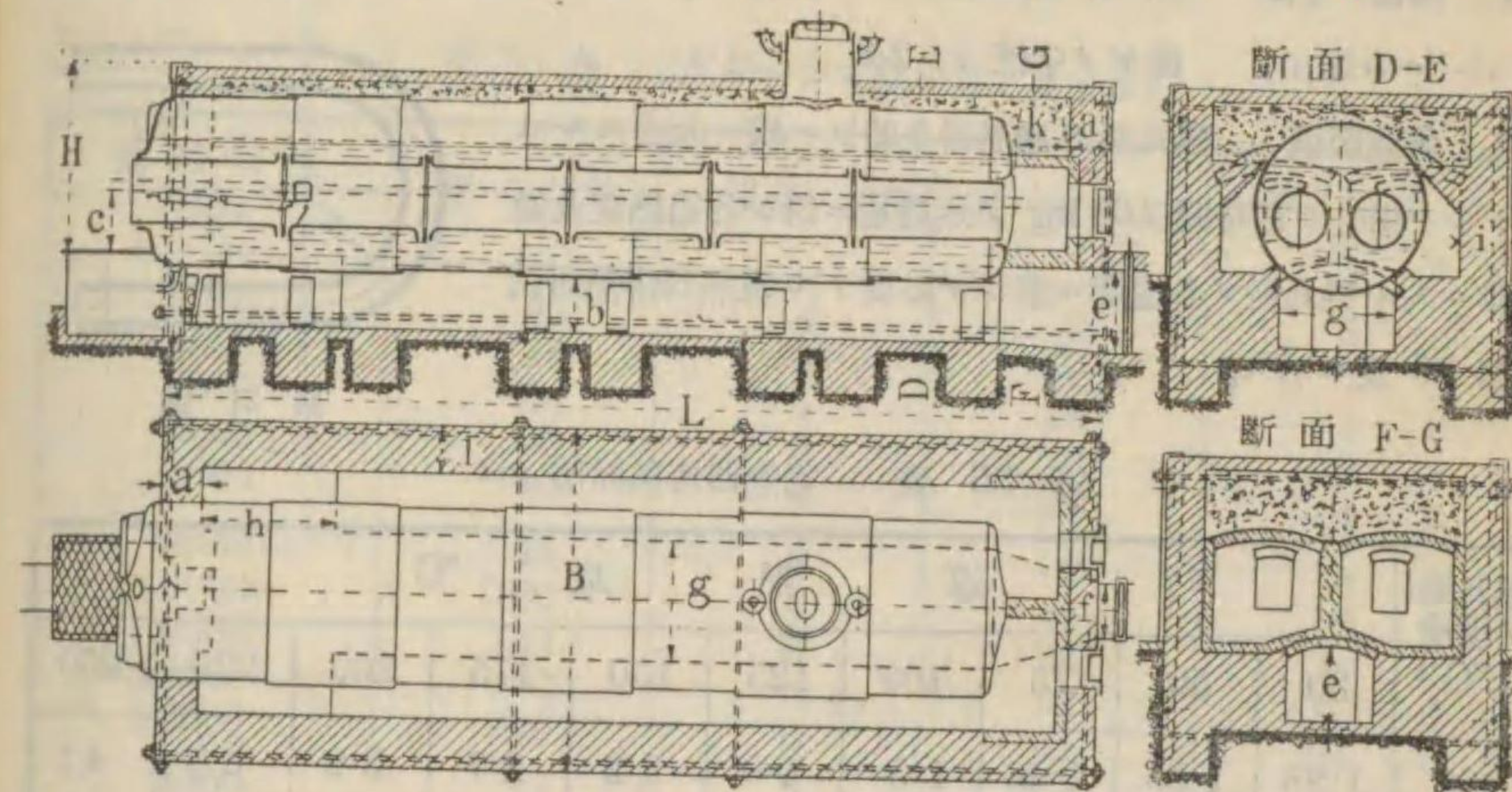
1. コルニシ罐



第 19 圖

傳熱面 m ²	L cm	H cm	B cm	a cm	b cm	c cm	e cm	f cm	g cm	h cm	i cm	m cm
15	483	170	235	38	38	25	40	40	35	40	70	12.5
20	567	181	245	38	38	25	40	45	38	40	70	12.5
25	648	192	256	38	38	38	40	50	45	40	75	25
30	714	198	268	38	38	38	45	54	48	45	75	25
35	827	198	294	51	51	38	45	58	52	45	75	25
40	877	224	305	51	51	38	45	62	55	50	75	25
45	972	224	305	51	51	38	50	65	60	50	75	25
50	1022	215	314	51	51	38	50	68	64	50	75	25

2. ランカシ罐



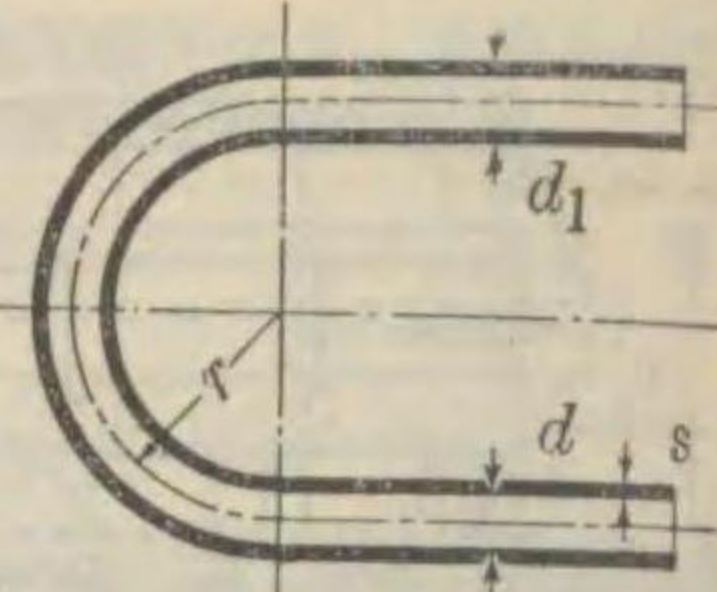
第 20 圖

傳熱面 m ²	H cm	B cm	L cm	a cm	b cm	c cm	e cm	f cm	g cm	h cm	i cm	k cm
40	197	309	683	38	40	75	65	55	95	100	38	40
45	197	309	758	38	40	75	68	58	100	105	38	40
50	197	309	828	38	42	75	70	60	100	105	38	40
55	204	321	824	38	45	75	75	65	105	110	38	40
60	204	321	889	38	48	75	78	68	105	110	38	40
65	212	334	915	38	50	75	80	70	110	115	38	45
70	212	334	980	38	53	75	83	73	110	120	38	45
75	219	372	995	38	55	75	85	75	115	125	51	45
80	219	372	1055	38	58	75	88	78	115	130	51	45
90	231	384	1120	51	63	80	92	82	120	135	51	45
100	231	384	1245	51	65	80	98	88	125	140	51	50
110	236	397	1258	51	70	80	103	90	130	145	51	50

47. 過 熱 器

1. 鋼管ノ寸法 第 21 圖ニ於テ 外徑 $d_1=35\sim 51$ mm, 内徑 $d=d_1-2s$, 厚 $s=3\sim 5$ mm, 曲ゲノ半徑 $r=2d_1$.

2. 傳熱面積 熱瓦斯ガ過熱器全體ヲ一様ニ通過スルモノトシタ場合ニ毎時間 100 kg ノ蒸發量ニ對シ各過熱度及過熱器ニ入ル熱瓦斯ノ各溫度ニ應ジテ必要ナル過熱器傳熱面積ヲ第 35 表ニ示ス。



第 21 圖

第 35 表 過熱器傳熱面積 m²

熱瓦斯ノ溫度 °C	過 熱 度 °C									
	30	50	75	100	125	150	175	200	225	250
400	1.28	1.36	1.46	1.6	1.9	2.2	2.7	3.2	3.6	4.1
450	1.12	1.2	1.28	1.4	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6
500	1.0	1.06	1.14	1.25	1.4	1.8	2.1	2.5	2.8	3.2
550	0.9	0.95	1.0	1.1	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8
600	0.8	0.85	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6
650	0.7	0.75	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3
700	0.64	0.68	0.73	0.8	1.0	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0
750	0.58	0.60	0.66	0.72	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
800	0.52	0.55	0.60	0.65	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7
850	0.48	0.5	0.55	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.0	1.6

48. 節 炭 器

H = 節炭器ノ傳熱面積 m², t_1, t_2 = 煙道瓦斯ノ最初及最終溫度 °C, D = 給水量 kg/h, t_w, t'_w = 給水ノ最初及最終溫度 °C トスレバ

$$\frac{H}{D} = \frac{2(t'_w - t_w)}{k(t_2 - t'_w + t_1 - t_w)}$$

k ハ定數ニシテ自働スクレーパーヲ備ウル場合ハ 10~15, 備エザル場合ハ 5 デアル。節炭器ニ依リ給水ヲ 130°C 迄温ムルコトガ出來ル。

長サ 2745 mm (9 ft) ノ管ヲ使用スルグリーン式節炭器ノ主要寸法其他ヲ第 36 表ニ示ス。

第 36 表 グリーン式節炭器主要寸法表

罐蒸發量 lb/h	管ノ全數	一横列ノ管數	横列ノ數	節炭器長 ft in
2000	32	4	8	4 10
3000	48	4	12	7 3
4000	64	4	16	9 8
5000	80	4	20	12 1
6000	96	4	24	14 6
3000	48	6	8	4 10
6000	96	6	16	9 8
9000	144	6	24	14 6
12000	192	6	32	19 4
15000	240	6	40	24 2
4000	64	8	8	4 10
8000	128	8	16	9 8
12000	192	8	24	14 6
16000	256	8	32	19 4
20000	320	8	40	24 2
24000	384	8	48	29 0
28000	448	8	56	33 10
36000	576	8	72	43 6
5000	80	10	8	4 10
10000	160	10	16	9 8
15000	240	10	24	14 6
20000	320	10	32	19 4
25000	400	10	40	24 2
30000	480	10	48	29 0
45000	720	10	72	43 6

49. 給 水 ノ 處 理

1. 機械的處理 水ニ含マル、泥土粘土等ノ粗キ機械的挾雜物ハ濾過器ニ依リ分雜スル。濾過器ニハ種々ノ大キサノ砂礫又ハ骸炭ノ粒ヲ層狀ニ配置セルモノヲ用イ、其ノ間ヲ通ル水ノ速度ハ約 1 mm/s トスル。

2. 化學的處理
i. 石灰法 水ガカルシウム及マグネシウムノ重炭酸鹽ヲ含ム時ハ消石灰ノ水溶液(石灰水)ヲ之ニ加エ溶存スル鹽類ヲ沈澱セシメテ之ヲ除去スル。

ii. 曹達法 水ガカルシウム及マグネシウムノ硫酸鹽ヲ含ム時ハ炭酸曹達及苛性曹達ノ何レカ又ハ兩者ヲ同時ニ反應劑トシテ用イル。

iii. 石灰及曹達法 水ガカルシウム及マグネシウムノ硫酸鹽及反應劑トシテコレニ加ウル曹達ノ働キヲ害スル程度ニ炭酸又ハ重炭酸鹽ヲ含ム場合ニ用イラレル。カルシウム及マグネシウムノ硫酸鹽ヲ分解スルニ充分ナル曹達ト炭酸ヲ吸收スルニ必要ナル分量ノ石灰トヲ水ニ加エテ溶存スル鹽類ヲ沈澱セシメル。

50. 配 管

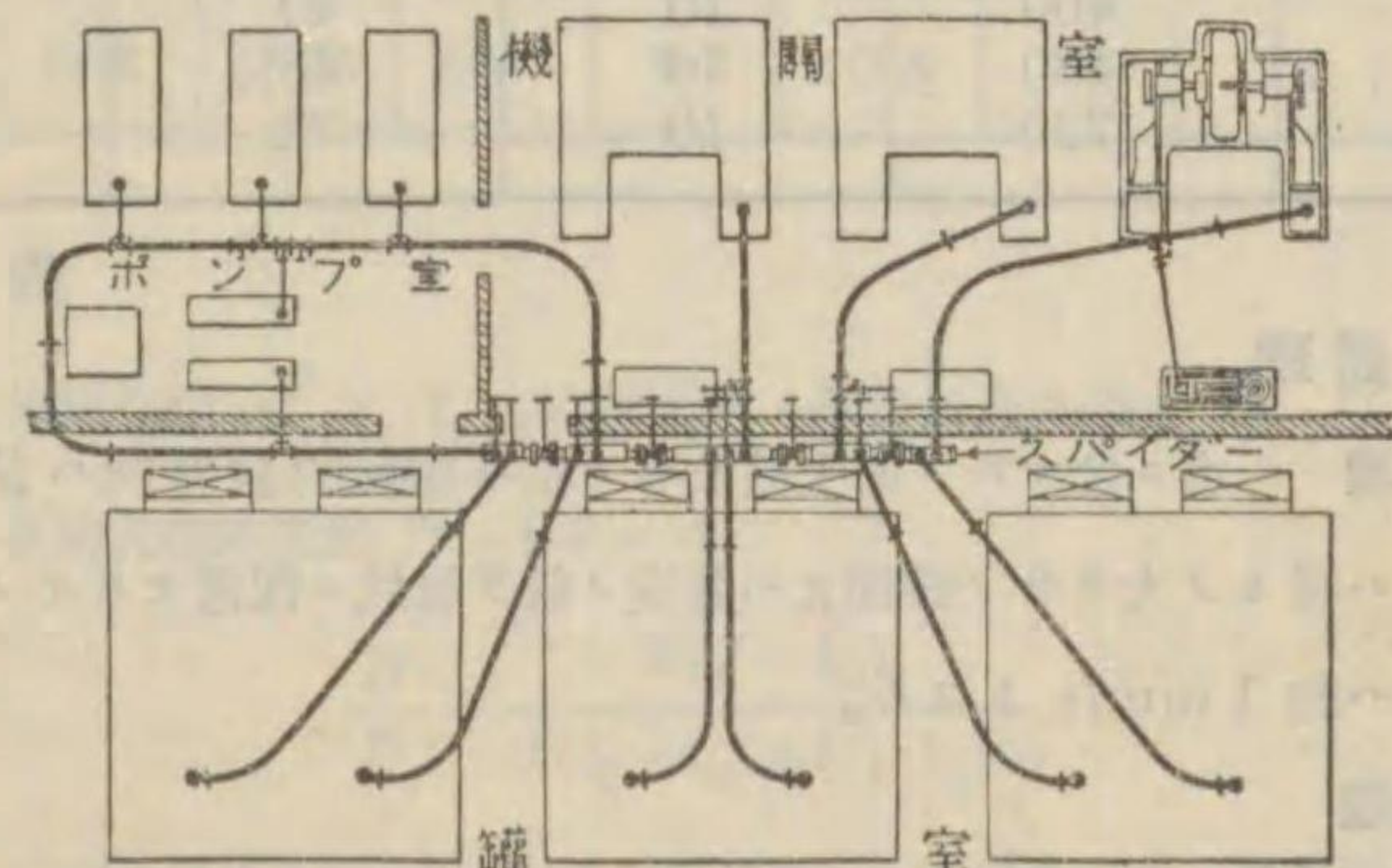
1. スパイダー式 (第 22 圖) 小規模ノ場合ニ屢々用イラレル。總テノ枝管ヲ中央親管ニ集メ此親管ヲ出來得ル限り短クスル。親管短キタメ其破損ニ依ル危險ガ少クナリ亦主要止メ弁ヲ一箇所ニ集メ得ル便宜ガアル。

2. 單親管式 (第 23 圖) 最モ普通ニ用イラル、配管デアル。簡單ニシテ設置費小且擴張ニ對シ便利デアル。

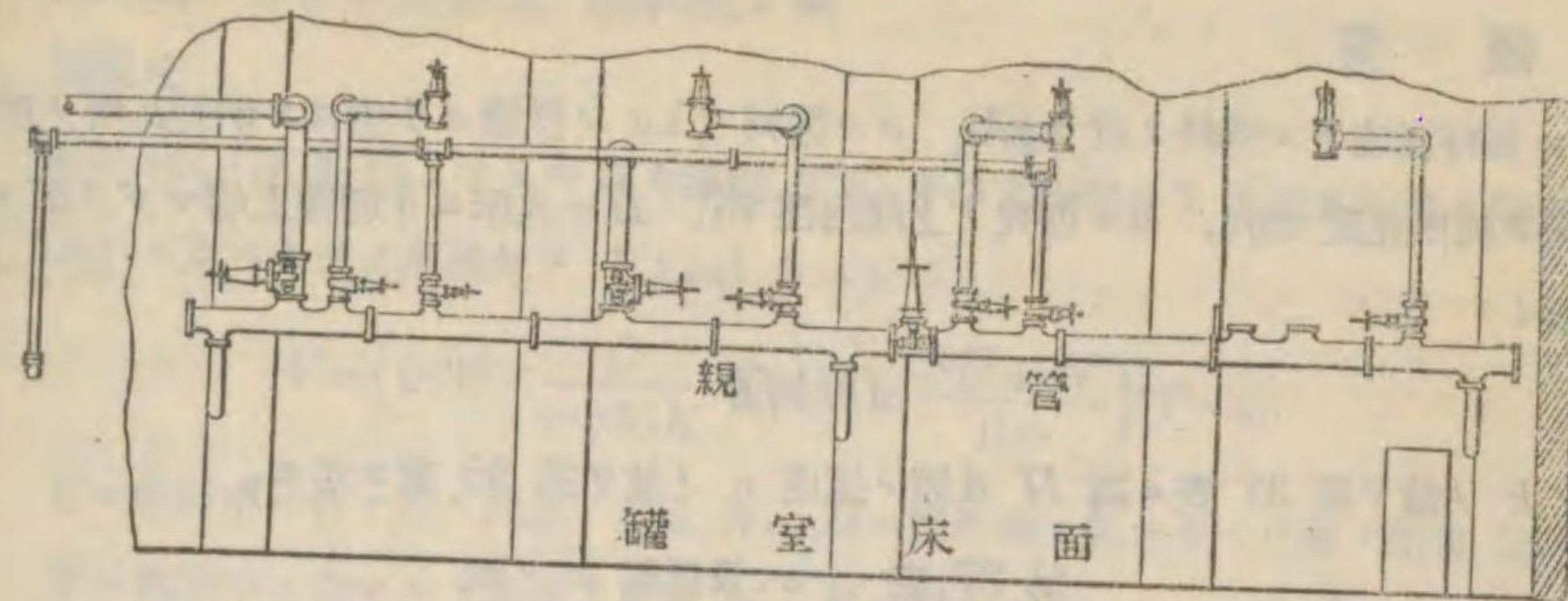
3. 複親管式 (第 24 圖) 二本ノ親管ヲ備エ一方ガ破損シタ時ハ他方ヨリ蒸氣ヲ供給スルコトガ出來ル。

4. 環狀親管式 (第 25 圖) 此式ハ高サ大ニシテ面積比較的小ナル場所ニ配置セラレタ數多ノ蒸氣機關ニ蒸氣ヲ供給スル場合ニ適スル。

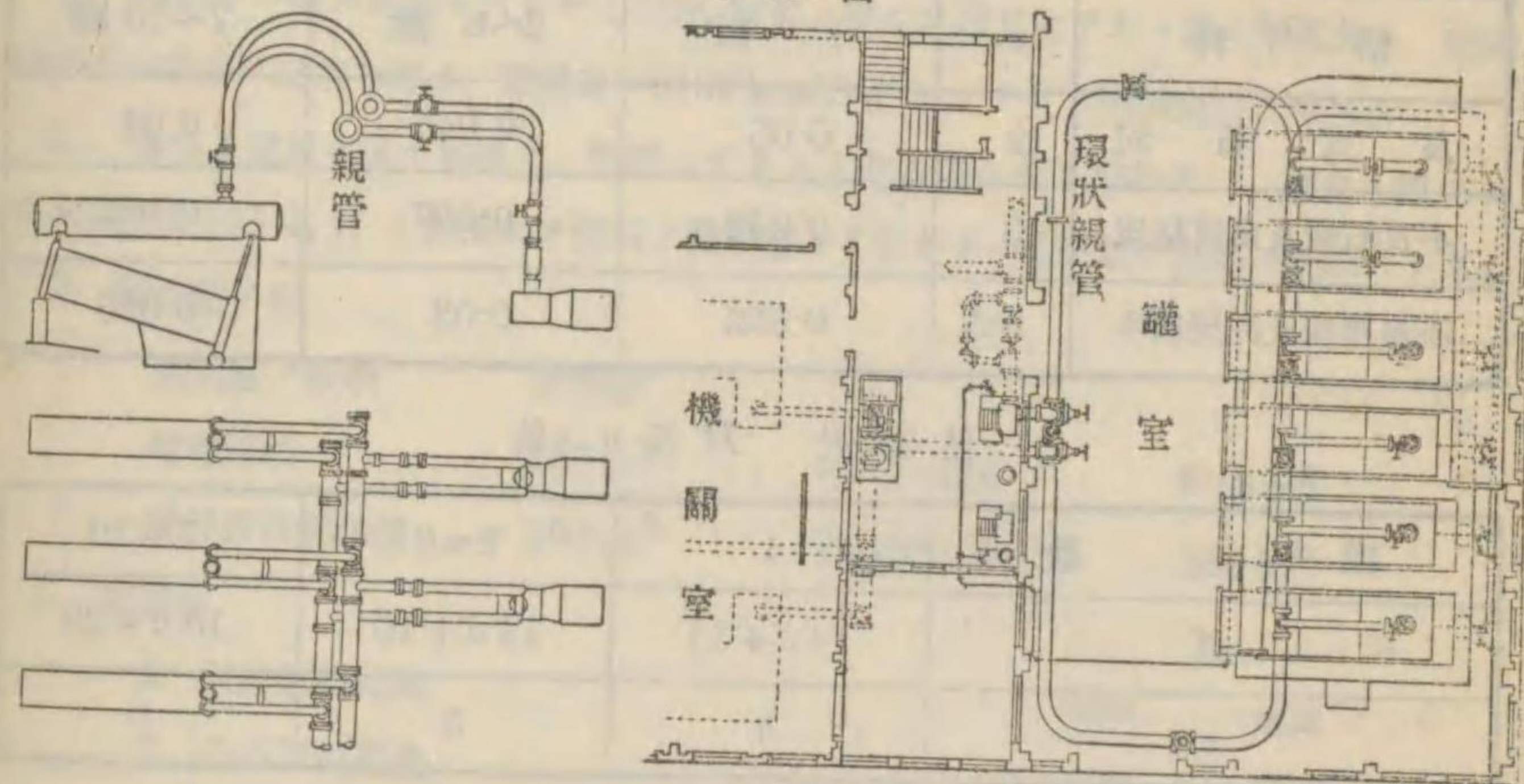
5. 孤立式 (第 26 圖) 各蒸氣機關ニ對シ他トハ獨立ニ一組ノ蒸氣罐ヲ連結スル式デアル。但シ故障ノ場合ニハ直チニ他ノ罐ヨリ蒸氣ヲ供給シ得ル如ク設備シテ置ク。



第 22 圖

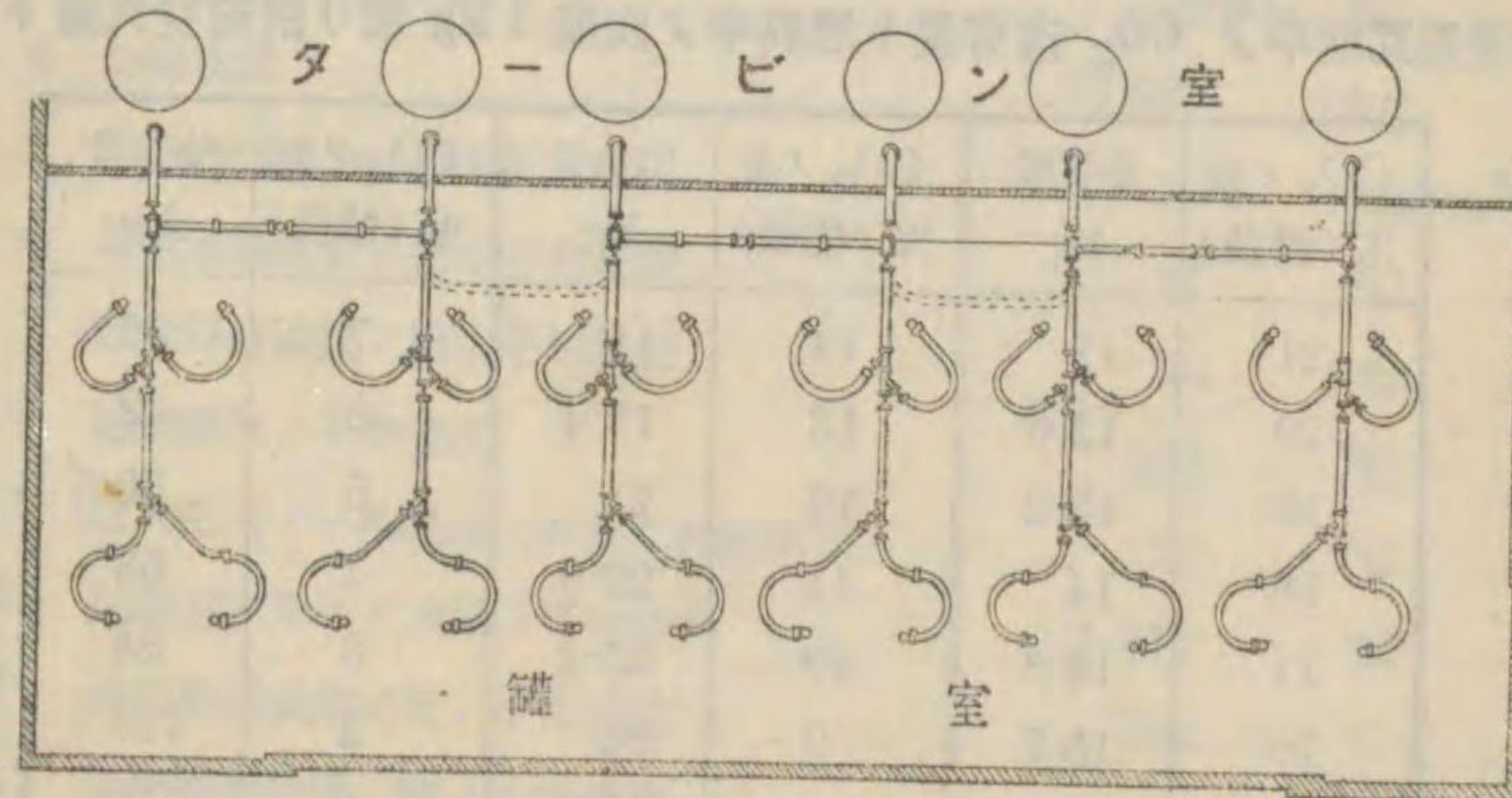


第 23 圖



第 24 圖

第 25 圖



第 26 圖

51. 煙 突

B = 毎時燃焼スル燃料ノ重 kg/h, σ = 燃料 1 kg ノ燃焼ヨリ生ズル燃焼瓦斯ノ重 kg,
 v = 煙ノ流出速度 m/s, d = 煙突ノ上端内徑 m, H = 火床ヨリ煙突上端マデノ高 m ト
 スレバ

$$d = k\sqrt{B}$$

係數 k ノ値ヲ第 37 表 = 高 H 及煙ノ速度 v ノ値ヲ第 38 表 = 示ス。

第 37 表 σ 及係數 k ノ値

燃 料	σ	1 罐	2~6 罐	7~10 罐
良 質 石 炭	19	0.05	0.045	0.04
不良石炭及良質褐炭	13	0.042	0.037	0.032
不良褐炭及泥炭廢木	8.5	0.032	0.03	0.026

第 38 表 H 及 v ノ値

罐 數	1	2~6	7~10
H	$14d + 11$	$14d + 15$	$15d + 20$
v	4	5	6

52. 煙道瓦斯中ノ CO_2 含有量ト燃料中ノ炭素 1 kg 當リ供給空気量トノ關係

CO_2 ノ量 % (體積)	空気量 kg	CO_2 ノ量 % (體積)	空気量 kg	CO_2 ノ量 % (體積)	空気量 kg
21	12	14	18	7	36
20	12.6	13	19.4	6	42
19	13.3	12	21	5	50.5
18	14	11	22.9	4	63
17	14.8	10	25.2	3	84
16	15.7	9	28	2	126
15	16.8	8	31.5	1	210

53. 蒸気罐ニ於ケル諸損失, 罐試驗ノ例

1. 諸損失

i. 煙ガ外氣ノ溫度 $t^\circ C$ ヨリモ 高キ溫度 $T^\circ C$ ヲ以テ煙突ヨリ 逸出スル爲ノ熱損失
 燃料 1 kg = 對スル此ノ熱損失ヲ V kcal トスレバ

$$V = \left(0.32 \times \frac{C}{0.536K} + 0.48 \times \frac{8H+W}{100} \right) (T-t).$$

茲ニ C = 燃料中ニ含マル、炭素ノ重量 %, H = 燃料中ニ含マル、水素ノ重量 %, W = 燃料中ニ含マル、水分ノ重量 %, K = 煙中ニ含マル、炭酸瓦斯ノ體積 %.

ii. 燃料ノ一部ガ燃焼セズシテ石炭殼, 灰等ニ混ジテ運ビ去ラル、爲ノ熱損失 燃焼セザリシ部分ヲ炭素ト考エ, 發熱量 = 8100 kcal/kg トシテコノ熱損失ヲ計算ス。

iii. 傳導及輻射ニ依ル熱損失, 燃焼セザリシ瓦斯及煤ニ依ル熱損失 罐水ニ傳ワリタル熱量及上記 i, ii ノ熱損失ヲ燃料ノ發熱量ヨリ引キタル差ヲ以テ此等ノ熱損失トス。

2. 罐試驗ノ例

蒸気罐ノ種類	水管罐	火格子面積	8.16 m ²
傳熱面積	305 m ²	節炭器傳熱面積	185 m ²
過熱器傳熱面積	100 m ²		

i. 實測値

1 試驗繼續時間	593	mn
2 全石炭消費量	11,230	kg
3 灰, 石炭殼等ノ殘滓	9.50	%
4 全給水量	77,000	kg
5 平均蒸気壓力 (壓力計ニテ)	12.5	kg/cm ²
6 節炭器通過前ノ給水平均溫度	11	°C
7 節炭器通過後ノ給水平均溫度	88	°C
8 過熱蒸気ノ平均溫度	304	°C
9 送入空氣ノ平均溫度 (罐室平均溫度)	20	°C
10 燃焼室ニ於ケル火焰ノ平均溫度	1,150	°C
11 過熱器通過前ノ煙ノ平均溫度	582	°C
12 過熱器通過後ノ煙ノ平均溫度	487	°C

13	節炭器通過前ノ煙ノ平均溫度	352	°C
14	節炭器通過後ノ煙ノ平均溫度	245	°C
15	節炭器=於ケル瓦斯ノ平均 CO ₂ 含有量	12.6	%
16	節炭器=於ケル瓦斯ノ平均 O ₂ 含有量	6.8	%
17	火格子上=於ケル通風力	5	mmAq
18	火格子=於ケル通風力	18	mmAq

ii. 單位當リ諸量

1	每時石炭消費量	1,135	kg
2	火格子 1 m ² = 對スル每時石炭消費量	139	kg
3	每時蒸發量	7,791	kg
4	傳熱面 1 m ² = 對スル每時蒸發量	25.26	kg
5	石炭 1 kg = 對スル蒸發量	6.86	kg
6	飽和蒸氣 1 kg ノ全熱量	669	kcal
7	飽和蒸氣ノ溫度	192	°C
8	過熱度	112	°C
9	蒸氣ノ定壓比熱	0.54	kcal/kg-°C
10	過熱蒸氣 1 kg ノ全熱量	729	kcal
11	節炭器=ヨリ過熱蒸氣 1 kg = 與エラレタル熱量	77	kcal
12	罐=ヨリ過熱蒸氣 1 kg = 與エラレタル熱量	581	kcal
13	過熱器=ヨリ過熱蒸氣 1 kg = 與エラレタル熱量	60	kcal
14	過熱蒸氣 1 kg = 與エラレタル總計熱量	718	kcal
15	石炭 1 kg 當リノ有效熱量	4,925	kcal
16	熱量計=依ル石炭 1 kg ノ發熱量	6,121	kcal
17	罐效率	80.5	%

iii. 上記試験ノ熱平衡表

1	石炭 1 kg 當リ蒸氣=與エラレタル熱量	4,925 kcal	80.5 %
2	石炭 1 kg 當リ煙突ヨリノ熱損失	722 kcal	11.8 %
3	石炭 1 kg 當リ其他ノ熱損失	474 kcal	7.7 %
4	石炭 1 kg 當リ發熱量	6,121 kcal	100 %

第 5 章 蒸 氣 機 關

54. 平均有効壓力, 線圖係數

インデケータ線圖ノ平均高ヨリ算出セル平均壓力ヲ平均有効壓力ト云ウ。第 27 圖 = 於ケル ABCDE ハ理論的インデケータ線圖デアル。

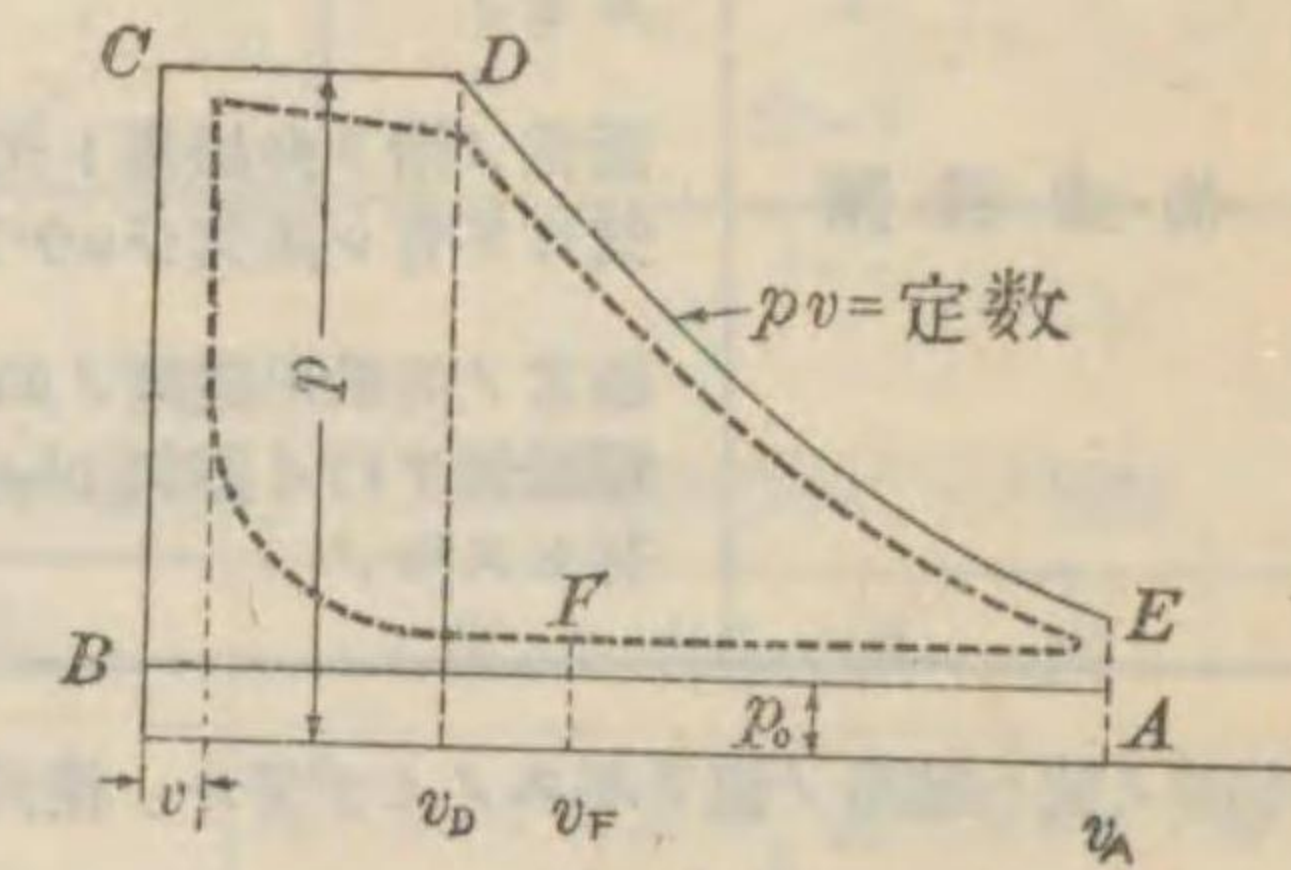
p_{mt} = 理論上平均有効壓力 kg/cm², p = 蒸氣ノ最初壓力 (絶對) kg/cm², p_0 = 復水器壓力 (絶對) kg/cm², R = 膨脹比, R_a = 見掛ケノ膨脹比, s = 隙間ノ比, c = 縮切點, v_0 = 隙間容積, v_A = 膨脹後ノ蒸氣體積, v_D = 縮切點 = 於ケル蒸氣體積トスレバ

$$p_{mt} = \frac{1 + \log R}{R} \cdot p - p_0$$

$$R = \frac{v_A}{v_D} = \frac{R_a(1+s)}{1+sR_a}$$

$$R_a = \frac{v_A - v_0}{v_D - v_0}, \quad s = \frac{v_0}{v_A - v_0}$$

$$c = \frac{1}{R_a} = \frac{v_D - v_0}{v_A - v_0}$$



第 27 圖

蒸氣ノ最初壓力 p , 縮切點 c , 隙間ノ比 s ノ値 = 就テハ第 39 表及第 40 表参照。

多段膨脹機關ノ場合 = ハ低壓気筒 = 關シ換算セル理論的の平均有効壓力ヲ p_{mt} トスル。低壓気筒及中壓気筒ト高壓気筒トノ容積ノ比ヲ夫々 C_l, C_i ($C_l > C_i > 1$) トシ, 各気筒 = 於ケル理論的の平均有効壓力ヲ夫々 p_{ml}, p_{mi}, p_{mh} トスレバ

$$p_{mt} = \left(\frac{p_{mh}}{C_l} + \frac{p_{mi}}{C_i} + p_{ml} \right)$$

コノ關係ハ實際ノ平均有効壓力 = モ成立スル。實際ノ平均有効壓力ヲ p_m トスレバ

$$p_m = f p_{mt}$$

上式 = 於テ f ハ線圖係數 = シテ 機關ノ型式 = ヨリ實驗上定ムベキ數デアル (第 39 表参照)。

第 39 表 線圖係數表

機 關 型 式		f
一段膨脹機關	特殊弁機構若クハ獨立ニ動作スル締切弁ヲ有シ蒸氣ジャケットヲ施セルモノ	0.90
	通常ノ弁ト充分ナル大サノ蒸氣口ヲ有シ蒸氣ジャケットヲ施セルモノ	0.86~0.88
	通常ノ弁及弁機構ヲ有シ蒸氣ジャケットヲ施サザルモノ	0.77~0.82
複 式 機 關	高壓気筒=膨脹弁ヲ備エ充分ナル大サノ蒸氣口ヲ有シ蒸氣ジャケットヲ施サザルモノ	0.86~0.88
	通常ノ滑リ弁機構ト充分ナル大サノ蒸氣口ヲ有シ蒸氣ジャケットヲ施セルモノ	0.77~0.82
	通常ノ商船用機關ノ如ク高低気筒共早期締切ヲ行イ蒸氣ジャケット及膨脹弁ヲ有セヌモノ	0.67~0.77

本表ノ値ハ概略ノ値ヲ示スノミデア。複式機關ニ於テハ P_{mt} ヲ低壓気筒ニ換算シタルモノトシテアル。

第 40 表 定格馬力ニ於ケル標準平均有效壓力表

機 關 型 式	P_m
一段膨脹不凝機關	$1.2+0.25p$
一段膨脹復水機關	$1.2+0.2p$
二段膨脹復水機關	$1.2+0.09p$
三段膨脹復水機關	$1.2+0.05p$
三段膨脹復水機關*	$1.5+0.07p$

* 船用機關、各気筒ニ於テ大ナル壓力降下アルモノ。

上表ニ於テ P_m = 平均有效壓力 (多段膨脹機關ニ對シテハ低壓気筒ニ關シ換算セルモノ) kg/cm^2 , p = 蒸氣ノ最初ゲージ壓力 kg/cm^2 。

55. 隙間容積

隙間容積ハピストン押退ケ量ニ對スル百分率 s = テ表ワスコトガ多イ。一般ニ比較的高速ナル機關ニテハ 8~12%, 低速ナル機關ニテハ 4~6%。多段膨脹機關ニ於テハ各気筒ノピストン押退ケ量ニ對スル百分率ニテ其気筒ノ隙間容積ヲ示スモノデア。

第 41 表 隙間容積

機 關 型 式	s %
気筒ノ側面=滑リ弁ヲ有スルモノ	5~10
気筒ノ側面=ピストン弁ヲ有スルモノ	7~15
コーリス弁ヲ有スルモノ	2~8
押上弁ヲ有スルモノ	4
気筒頭=弁又ハピストン弁ヲ有スルモノ	2~7

56. 蒸氣壓力及膨脹比ノ經濟的範圍

第 42 表 一段膨脹機關ノ蒸氣ノ最初壓力 p ト經濟的締切點 c トノ關係

蒸氣ノ最初壓力(絕對) kg/cm^2	不 凝 機 關		復 水 機 關	
	滑リ弁	膨脹弁	蒸氣ジャケット無シ	蒸氣ジャケット附
4	0.53~0.42	0.39~0.31	0.20~0.14	0.15~0.10
5	0.46~0.32	0.33~0.27	0.17~0.13	0.13~0.09
6	0.40~0.28	0.28~0.23	0.15~0.125	0.11~0.08
8	0.34~0.25	0.22~0.19	0.14~0.12	0.09~0.07
10	0.29~0.20	0.19~0.17	—	—

第 43 表 複式機關ノ蒸氣最初壓力 p ト經濟的膨脹比 R トノ關係

蒸氣ノ最初壓力(絕對) kg/cm^2	6	8	10	12	14	16	18	20
膨脹比 R	10~13	11~14	13~17	16~20	20~25	24~30	28~35	32~40

本表ノ値ハ復水機關ニ對スルモノデア。不凝式ノ場合ニハ本表ニ示サル、値ノ 1/2 ヲ適當トス。

第 42 表及第 43 表=於テ各欄ノ數字ノ内小馬力ノ機關、廉價ナル燃料、又ハ時々運轉スルガ如キ場合=ハ前ノ數ヲ選ビ、大型機關ナルカ、燃料ノ高價ナル場合、又ハ連続運轉ノ如キ場合=ハ後ノ數=近ク選定スルヲ可トスル。

57. 気筒容積ノ振り分け

第 44 表 多段膨脹機關ノ各気筒容積ノ割合ノ大體標準表

機 關 型 式		高壓気筒 容 積	中壓気筒 容 積	低壓気筒 容 積
複 式 機 關	$p = 6 \sim 8 \text{ kg/cm}^2$	1	—	2.25~2.4
	$p = 10 \sim 12 \text{ kg/cm}^2$	1	—	2.8~3.0
	$p = 15 \text{ kg/cm}^2$	1	—	4
三段膨脹機關*		1	2.25~2.8	5~7

* 三段膨脹機關ハ過熱蒸気ヲ使用スル場合=定置機關トシテ使用セラル、コトハ殆ド無イ。

58. 馬力計算式

N_i =圖示馬力, N_b =制動馬力, A =平均ピストン面積 cm^2 , L =行程 m , n =毎分回轉數, p_m =平均有效壓力 kg/cm^2 , S =平均ピストン速度 m/s , η_m =機械効率トスレバ

$$N_i = \frac{2ALnp_m}{60 \times 75} = \frac{ASp_m}{75}$$

$$N_b = \eta_m N_i$$

多段膨脹機關ノ場合=ハ A トシテ低壓ピストンノ面積ヲ用イ, p_m ハ低壓気筒=換算シタル値ヲ用ウベキデアル。(S = 就テハ第 45 表参照)。

59. 機械効率

大體ノ標準ハ一段膨脹機關=對シテモ多段膨脹機關=對シテモ次式ヲ用イテ算出スルコトガ出來ル。

不凝機關

$$\eta_m = 88 + 0.33 \sqrt{\frac{N_i}{S}} (\%)$$

眞空ポンプヲ運轉スル復水機關

$$\eta_m = 85 + 0.40 \sqrt{\frac{N_i}{S}} (\%)$$

60. 平均ピストン速度ノ標準上限

L =ピストン行程 m トスレバ平均ピストン速度 $S \text{ m/s}$ ノ標準上限ハ第 45 表=示ス如クデアル。

第 45 表 平均ピストン速度ノ標準上限

機 關 種 別	平均ピストン速度 S ノ標準上限 m/s
特殊機關ヲ除キタル一般ノ機關	$6.7L - 2.5L^2$
滑り弁ヲ有シ又ハ取扱粗漏ナル機關	$4.8L - 1.8L^2$
送風機用高速機關 ($L = 0.1 \sim 0.4$)	$7\sqrt{L}$
自働弁機構ヲ有スル機關	$0.55 + 3.2L$

61. 蒸気消費量

γ_1 =高壓気筒=新シク流入スル蒸気ノ平均單位體積當リ重量 kg/m^3 , γ_2 =高壓気筒=於ケル壓縮ガ始マル時ノ蒸気ノ單位體積當リ重量 kg/m^3 c =高壓気筒ノ縮切點, c' =高壓気筒ノピストンノ壓縮行程トピストン行程トノ比, p_m =低壓気筒=關シ計算セル平均有效壓力 kg/cm^2 , C_1 =低壓気筒ト高壓気筒トノ容積ノ比, $Q_1=1$ 圖示馬力當リ有效蒸気消費量 kg/h , Q_2 =冷却, 凝結, 漏洩等=ヨル 1 圖示馬力當リ損失蒸気ノ量 kg/h , $Q=1$ 圖示馬力當リ實際蒸気消費量 kg/h トスレバ第 27 圖=於テ

$$c = \frac{v_D - v_0}{v_A - v_0}, \quad c' = \frac{v_F - v_0}{v_A - v_0}$$

$$Q_1 = \frac{27}{C_1 p_m} [(c+s)\gamma_1 - (c'+s)\gamma_2]$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

第 49 表 優秀機關ノ標準蒸氣消費量, 熱消費量, 熱效率表

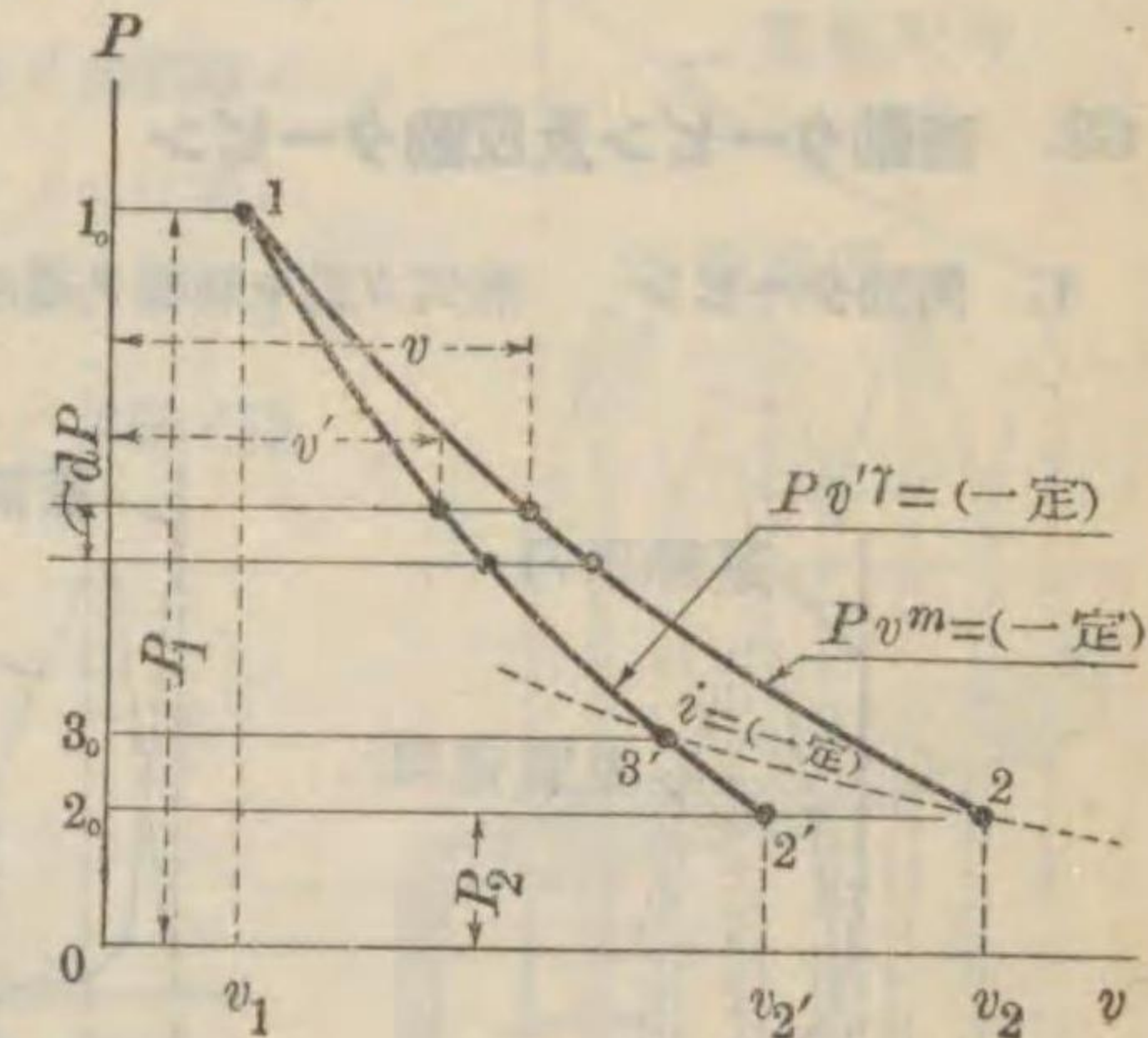
機 關 型 式	蒸氣ノ最初 絕對壓力 kg/cm ²	1 圖示馬力當リ 蒸氣消費量 kg/h	1 圖示馬力當リ 熱消費量 kcal/h	熱 効 率	熱 効 率 比	給水加熱ニ於テ 與ヒ得ベキ温度 °C
不 凝 式	10~12	10~8.5	6670~5680	0.095~0.110	0.645~0.716	90° 以上
		7.25~6	5300~4530	0.119~0.140	0.768~0.810	
復 水 式	8~10	7.5~6.5	5000~4000	0.127~0.158	0.520~0.575	30°~45° 真空度ニヨリ異ナル
		5.2~4.5	3800~3400	0.166~0.186	0.636~0.674	
復 水 式	8~12	7.5~5.5	5000~3700	0.127~0.172	0.520~0.665	30°~40° 蒸氣溜ヨリ蒸氣 ヲ採ル場合ニハ 60°~100°
		6 ~ 4.8	4300~3400	0.147~0.184	0.591~0.695	
		5 ~ 4.2	3660~3200	0.173~0.199	0.682~0.722	
復 水 式	12~15	6 ~ 5.1	4000~3400	0.158~0.185	0.606~0.680	20°~30° 蒸氣溜ヨリ蒸氣 ヲ採ル事ハ船用 機關ニ於テハ 機關ニ於テハ 行アル。
		5 ~ 4.5	3600~3200	0.177~0.197	0.667~0.717	
		4.5~4	3300~3000	0.192~0.209	0.714~0.785	

第 6 章 蒸 氣 ター ビ ン

62. サイクル, 熱落差

通常ノ蒸氣タービンノ動作ハ復水器, 給水ポンプ, 蒸氣罐ヲ共ニシテ往復蒸氣機關ト同
様ランキン・サイクルニ從ウモノト看做シ之ヲ効率ノ比較及設計ノ標準ニ採ル。

第 28 圖ハ P-v 線圖 (466 頁参照),
第 29 圖ハ T-φ 線圖 (466 頁参照), 第
36 圖ハ i-φ 線圖 (467 頁参照) ニシテ
各線圖ニ於テ 1-2' ヲ摩擦無キ斷熱膨脹線,
1-2 ヲ實際ノ摩擦アル場合ノ膨脹線トスレ
バランキン・サイクルハ第 28 圖ニ於ケル
12'2₀1₀1, 第 29 圖ニ於ケル 12'2''2₀1₀1
ニヨツテ表ワサレルカラ添字 1 ニヨツテ
點 1 ニ於ケル状態, 2' ニヨツテ點 2' ニ於
ケル状態ヲ示シ, 此サイクルニ依ツテ單位
重量ノ蒸氣ノナス仕事ヲ W_{1-2'} kg-m/kg
トスレバ



第 28 圖

$$W_{1-2'} = - \int_{P_1}^{P_2} v' dP$$

= 面積 12'2₀1₀1. (第 28 圖)

$$AW_{1-2'} = i_1 - i_{2'}$$

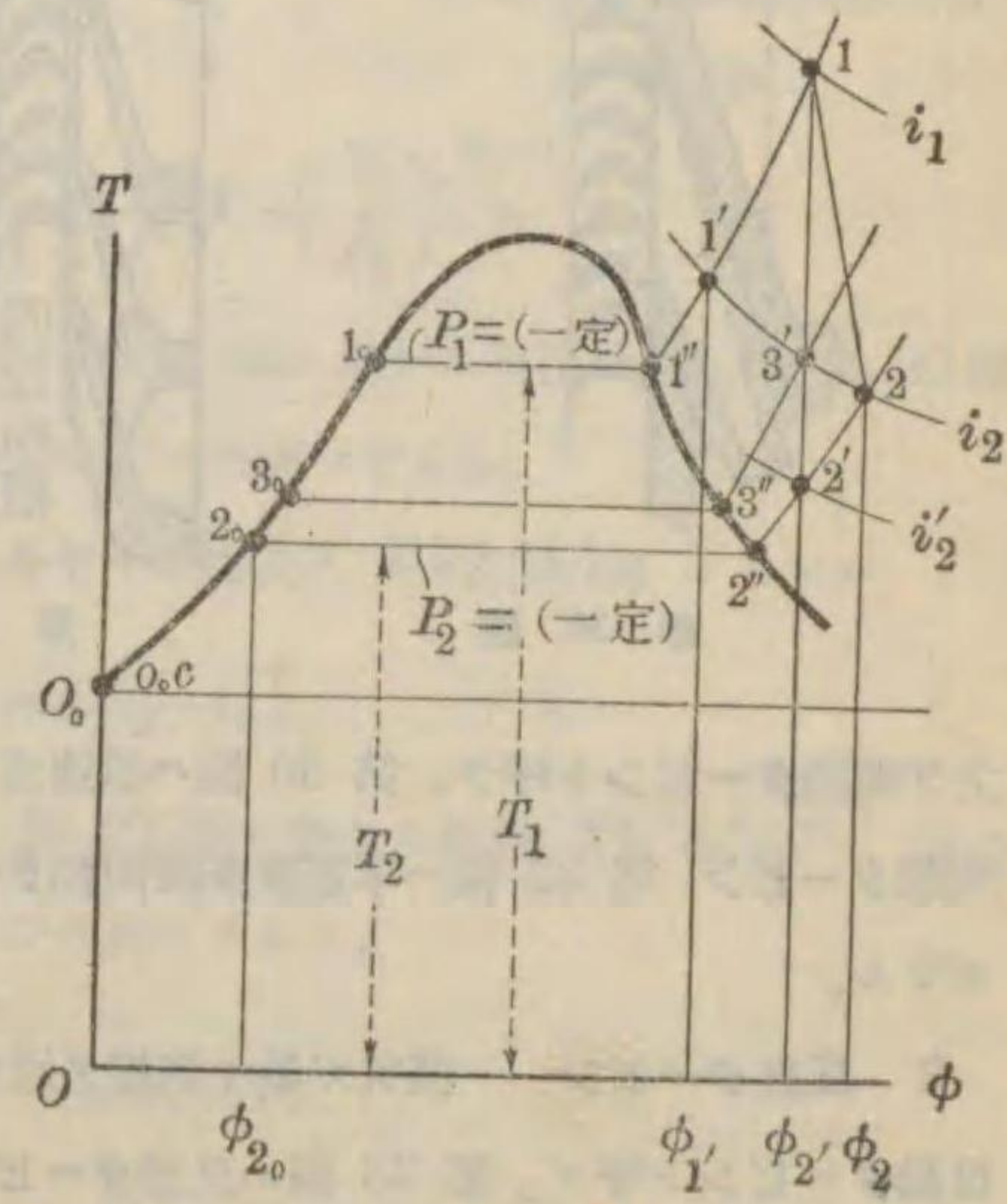
= 面積 12'2''2₀1₀1''1,
(第 29 圖)

= 長 12'. (第 36 圖)

$$i_r = \Delta i_{1-2'} = i_1 - i_{2'}$$

全熱量ノ差ナル故ニ Δi_{1-2'} ヲ熱落差ト
呼ビ, ランキン・サイクルニヨツテ仕事ニ
變エラル、熱量ナル故ニ i_r ヲランキン・
サイクル熱ト呼ブ。

斷熱變化ヲ Pv^γ = 定數 ニテ表ワセバ



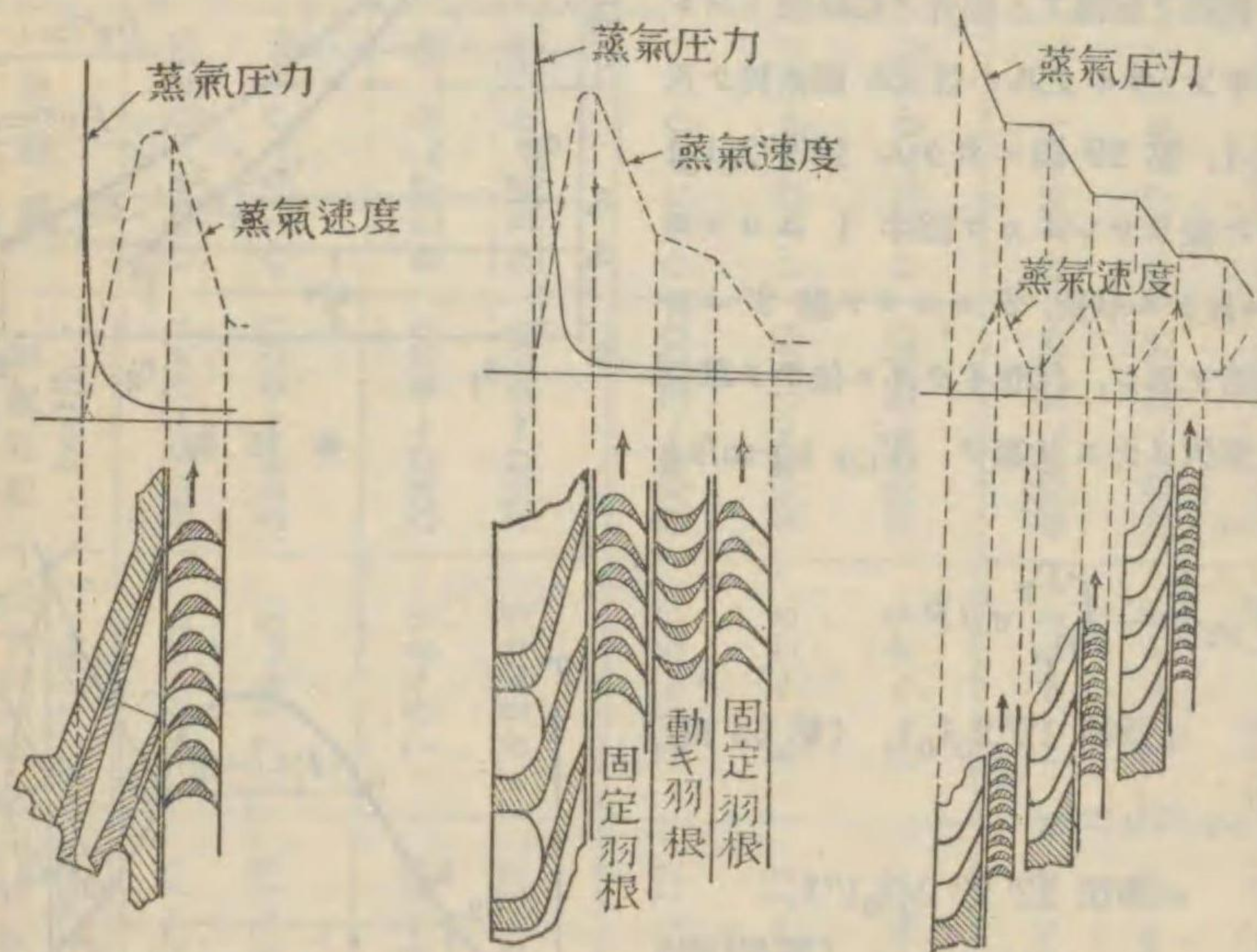
第 29 圖

$$W_{1-2} = J i_r = \frac{\gamma}{\gamma-1} (P_1 v_1 - P_2 v_2) = \frac{\gamma}{\gamma-1} P_1 v_1 \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}$$

爰 = P = 蒸気圧力 kg/m^2 , v = 蒸気ノ單位重量當リ體積 m^3/kg , i = 蒸気ノ全熱量 kcal/kg , J = 熱ノ仕事當量 kg-m/kcal (461頁), γ = 等壓比熱ト等體積比熱トノ比

63. 衝動タービン及反動タービン

1. 衝動タービン 蒸気が動き羽根ヲ通ル間 = ソノ壓力, 速度ヲ殆ド變エザル 場合ハ



第 30 圖

第 31 圖

第 32 圖

之ヲ衝動タービント呼ブ。第 30 圖ハ單速度一段衝動タービン, 第 31 圖ハ聯成速度一段衝動タービン, 第 32 圖ハ單速度多段衝動タービン = 於ケル速度及壓力ノ分布ヲ示スモデル。

2. 反動タービン 蒸気が動き羽根ヲ通ル間 = 其壓力ヲ減ジ速度ヲ増ストキハコレヲ反動タービント呼ブ。第 33 圖ハ反動タービンノ速度及壓力ノ分布ヲ示スモデル。

3. 混式タービン 以上各種タービンノ複合シテ軸上 = アルモノヲ云ウ。

64. ノズル及固定羽根内ノ蒸気流動

衝動タービンノノズル及反動タービンノ固定羽根内ノ蒸気流動ハ甚短時間内ノ變化デアルカラ熱ノ出入 = 暇ナシト看做スコトガ出來ル。依テ壓縮出來ル流體ノ流動 = 於テ熱ノ出入ヲ無視シタル基本方程式 (493 頁参照) = ヨリ算出セラレル。

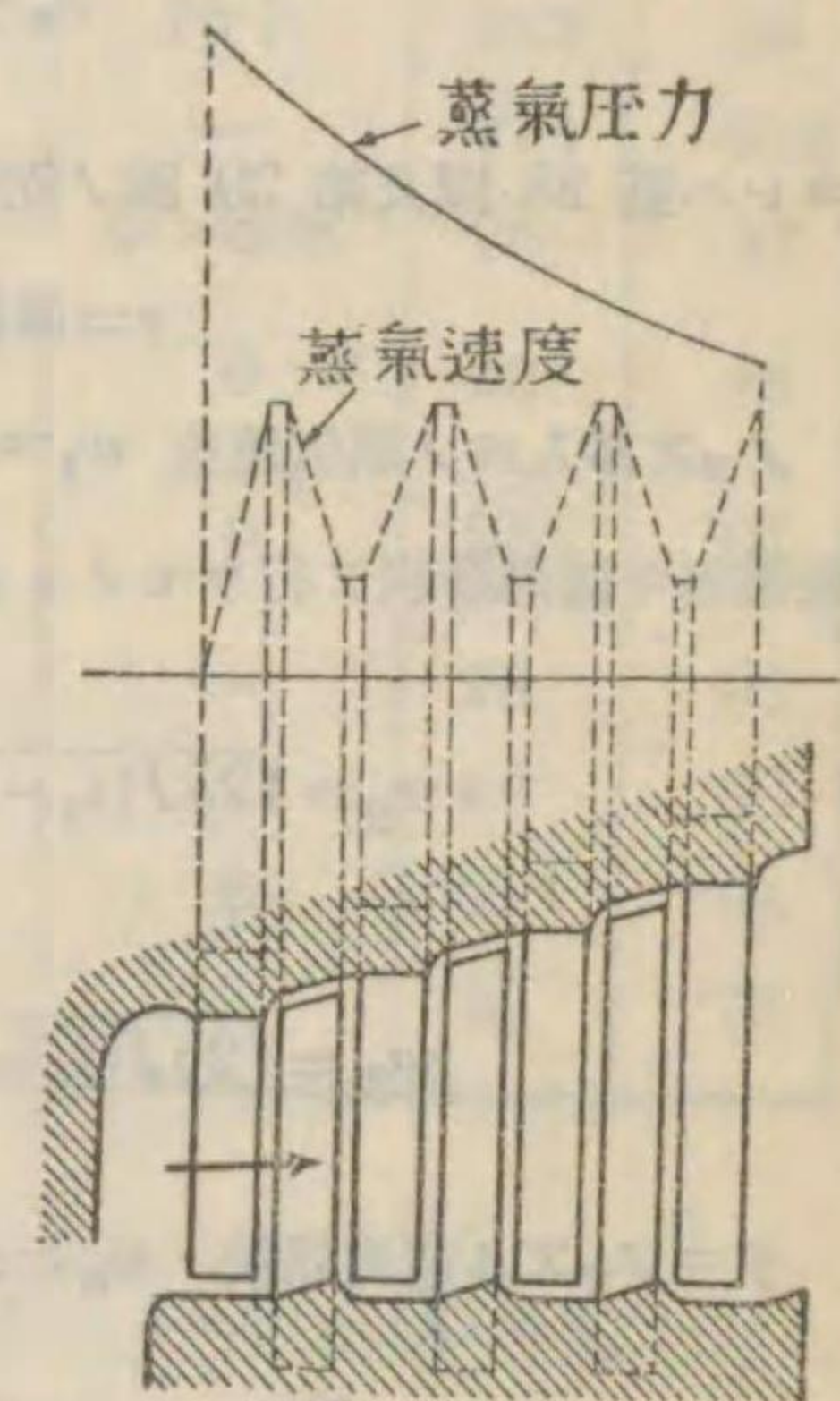
F = 通路ノ斷面積 m^2 , w = 流ノ速度 m/s , M = 流量 kg/s , R_{1-2} = 點 1 及 2 間 = テ内部及外部摩擦ノ爲 = 蒸気が失イシエネルギー kg-m/kg , A = 仕事ノ熱當量 kcal/kg-m , m = 流出指數トシ添字 1 = ヨリテ入口ヲ, 2 = ヨリテ出口ヲ表ワストスレバ流動ノ連續性 = ヨリ

$$Mv = Fw.$$

熱勘定ハ

$$AR_{1-2} = i_2 - i_1 - A \int_{P_1}^{P_2} v dP$$

$$= i_2 - i_1 + \frac{Am}{m-1} P_1 v_1 \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right\}.$$



第 33 圖

運動エネルギーノ關係ハ

$$\frac{A}{2g} (w_2^2 - w_1^2) = i_1 - i_2 = \frac{A\gamma}{\gamma-1} P_1 v_1 \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right\}.$$

此入口及出口 = 於ケル運動エネルギーノ差ハ第 28 圖 = 於ケル面積 $13'3_0 1_0$, 第 29 圖 = 於ケル面積 $13' 3'' 3_0 1_0 1''$ 又ハ $11' \phi_1, \phi_2$ = テ表ワサレル。

ノズル内摩擦 = ヨル噴出蒸気ノ運動エネルギーノ損失ヲ $Z \text{ kg-m/kg}$ トスレバ

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

コレハ第 28 圖 = 於ケル面積 $2'2_0 3_0 3'$, 第 29 圖 = 於ケル面積 $2'2'' 2_0 3_0 3'' 3'$ 或ハ $2'2\phi_2 \phi_2'$, 第 36 圖 = 於ケル長さ $3'2'$ = ヨツテ表ワサレル。

$$R_{1-2} = Z - \int_{P_1}^{P_2} (v - v') dP.$$

コレハ第 28 圖 = 於ケル面積 $122_0 3_0 3'1$, 第 29 圖 = 於ケル面積 $122'' 2_0 3_0 3'' 3'1$

或ハ $12\phi_2\phi_2'$ = テ表ワサレル。

全タービン内ノ膨脹ヲ $Pv^m = \text{定數}$, 即チ曲線 1-2 ト看做シタル時ノ再熱ヲ h_r kcal/kg, 再熱係數ヲ r トスレバ

$$h_r = -A \int_{P_1}^{P_2} (v-v') dP.$$

コレハ第 28 圖及第 29 圖ノ面積 $122'$ = ヨツテ表ワサレル。

$$r = \text{面積}(122_0 1_0) / \text{面積}(12' 2_0 1_0).$$

ノズル入口ノ蒸気速度 $w_1 = 0$ ト看做シタル場合出口 = 於ケル實際ノ速度ヲ w_2 m/s, 摩擦無キ斷熱膨脹ヲ行ウモノトシタル場合ノ出口速度ヲ w_2' m/s トスレバ

$$w_2 = \sqrt{2gJ(i_1 - i_2)} = \sqrt{\frac{2g\gamma}{\gamma-1} P_1 v_1 \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right\}},$$

$$w_2' = \sqrt{2gJ(i_1 - i_2')} = \sqrt{\frac{2g\gamma}{\gamma-1} P_1 v_1 \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}}.$$

ϕ = ノズル速度係數. η_n = ノズル・エネルギー効率トスレバ

$$\phi = \frac{w_2}{w_2'}, \quad \eta_n = \phi^2, \quad AZ = (1 - \eta_n) i_r = (1 - \phi^2)(i_1 - i_2').$$

基本的ノ形狀ヲナスノズル = 關スル ϕ, η_n ノ實驗結果ハ第 47 表 = 示ス如シ。
ノズル中途斷面ノ平均速度 w ハ中途斷面 = 於ケル全熱量ヲ i , 入口速度ヲ w_1 トスレバ

$$\begin{aligned} w &= \phi \sqrt{2gJ(i_1 - i) + w_1^2} = \sqrt{\eta_n \{ 2gJ(i_1 - i) + w_1^2 \}} \\ &= 91.5 \phi \sqrt{i_1 - i + 0.0001194 w_1^2} \\ &= 91.5 \sqrt{\eta_n \{ i_1 - i + 0.0001194 w_1^2 \}}. \end{aligned}$$

若シノズル入口速度 w_1 ガ無視出來ル場合ハ $w_1 = 0$ トスレバヨシ。

65. ノズル効率ト多段タービン内ノ効率トノ關係

ζ ヲ摩擦係數トシテノズル内ノ摩擦損失 R ガ $AdR = -\zeta di$ = テ表ワサレルモノト假定シ, $\eta_n' = \eta_n / r$ トスレバ $\zeta, m, \gamma, \eta_n, \eta_n', r$ ノ間 = ハ次ノ如キ關係ガアル。

第 47 表 (Kearton 氏 = 據ル)

實驗者	ノズルノ型	理論的ノズル噴出速度 w_2' m/s.	最初ノ過熱度 $S^\circ\text{C}$	ϕ	η_n
Stodola	直線的細マリ廣ガリ型	1110	16.7	.922	.85
Delaporte	同 上	—	—	.974	.948
Lewicki	同 上	810	少シ過熱	.96	.92
Rosenhain	入口角ヲ充分 = 丸メタ直線的細マリ廣ガリ型	945	0	.90	.81
Rosenhain	入口角ノ少シ丸キ短キ直線的細マリ廣ガリ型	915	0	.955	.91
Rateau	直線的細マリ廣ガリ型	—	—	.98	.96
Christlein	曲リタル鑄込ミ型	640	72	.96	.90
Christlein	同 上	540	2	.915	.84
Christlein	同 上	305	13	.85	.72

$$m = \frac{\gamma(1+\zeta)}{1+\gamma\zeta} = \frac{\gamma}{\gamma - \eta_n(\gamma-1)/r} = \frac{\gamma}{\gamma - \eta_n'(\gamma-1)} = \frac{\gamma}{1 - (\gamma-1)(1-\eta_n')}$$

$$\approx \gamma \{ 1 + (\gamma-1)(1-\eta_n') \} = \gamma \{ 1 + (\gamma-1)(1-\eta_n'/r) \}.$$

$$\eta_n' = \frac{1}{1+\zeta} = \frac{\gamma(m-1)}{m(\gamma-1)}, \quad \zeta = \frac{1-\eta_n'}{\eta_n'}$$

$$r = \frac{1 - (P_2/P_1)^{\frac{m-1}{m}}}{\eta_n' \left\{ 1 - (P_2/P_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}} = \frac{1 - (P_2/P_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma} \eta_n'}}{\eta_n' \left\{ 1 - (P_2/P_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}}$$

$$= \frac{\frac{\eta_n \gamma}{\gamma-1} \log \frac{P_2}{P_1}}{\log \left\{ 1 - \eta_n + \eta_n (P_2/P_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}}$$

η_n' ハ第 28 圖及第 29 圖 = 於テ面積 $(13' 3_0 1_0) / \text{面積}(122_0 1_0)$ = テ表ワサレル。

第 28 圖及第 29 圖 = 於ケル曲線 1-2 ヲ多段タービン内ノ全膨脹曲線 $Pv^m = \text{定數}$ ト看做ス時ハソノ内部効率 η_i ハノズル・エネルギー効率 η_n , 段効率 η_s ハ $\eta_n' = \text{相當シ上} = \text{列記シタ關係ガソノ儘多段タービンノ場合} = \text{モ成立スル。}$

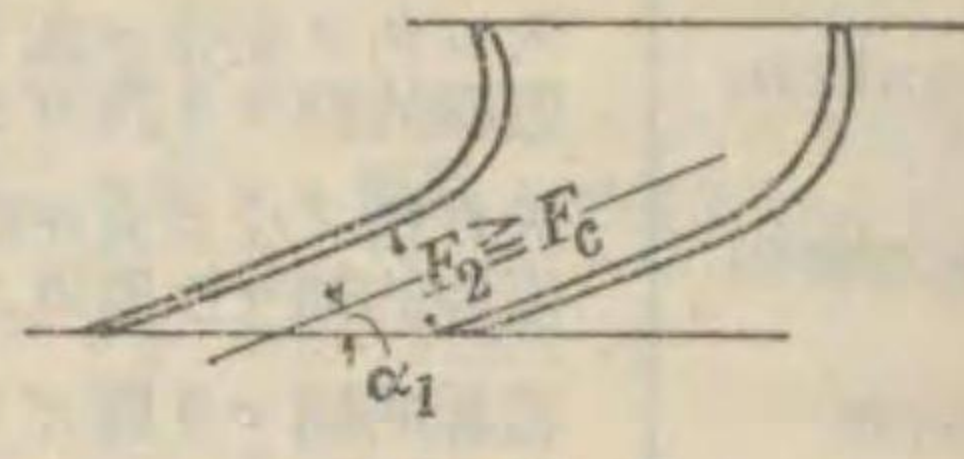
66. ノズルノ形状, ノズル流量

P_1 = ノズル入口ノ壓力 kg/m^2 , P_2 = 同出口ノ壓力 kg/m^2 , P_c = 臨界壓力 kg/m^2 ,
 F_1 = ノズル入口ノ斷面積 m^2 , F_2 = 同出口ノ斷面積 m^2 , F_c = 最小斷面積 m^2 , M =
 ノズル流量 kg/s トスレバ中途斷面 = 於ケル面積 F ト壓力 P トノ關係ハ

$$F = M \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{v_1} \left\{ \left(\frac{P}{P_1} \right)^{\frac{2}{m}} - \left(\frac{P}{P_1} \right)^{\frac{m+1}{m}} \right\}}$$

$P = P_c$ ノ時 F ハ最小トナル (496 頁参照)。

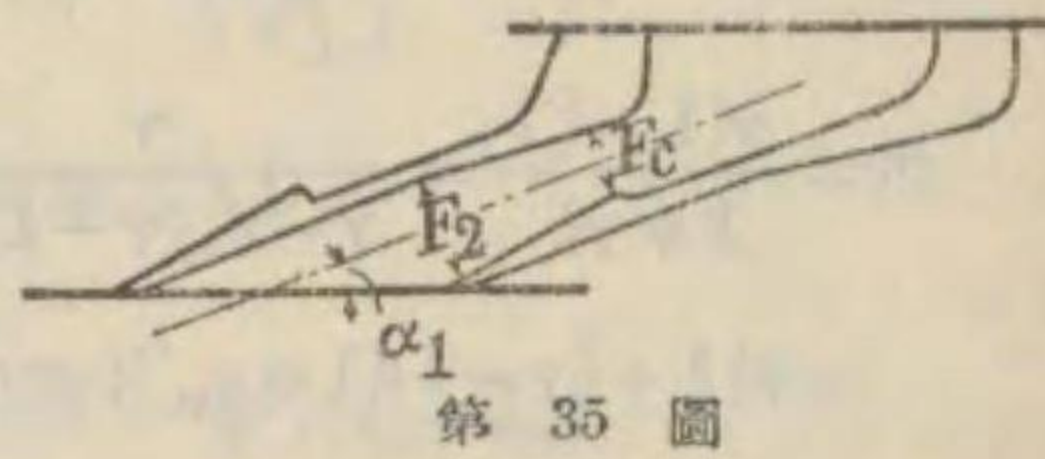
1. 細マリノズル (第 34 圖) 出口壓力 P_2 ガ
 臨界壓力 P_c ヨリ小ナラザル時ハ最小斷面ヲ出口 =
 有スル細マリノズルヲ用ウ。此場合ノズル流量ハ



第 34 圖

$$M = F_2 \sqrt{2g \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{v_1} \left\{ \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{m}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m+1}{m}} \right\}}$$

2. 細マリ廣ガリノズル (第 35 圖) 出口
 壓力 P_2 ガ臨界壓力 P_c ヨリ小ナル時 = ハ最小斷
 面 F_c ヲノズル中途ノ入口 = 近キ方 = 有スル細
 マリ廣ガリノズルヲ用ウ。此場合ノズル流量ハ



第 35 圖

$$M = F_c \sqrt{g \frac{\gamma(m-1)}{\gamma-1} \left(\frac{2}{m+1} \right)^{\frac{m+1}{m-1}} \frac{P_1}{v_1}} = F_c \sqrt{g \frac{\gamma(m-1)}{\gamma-1} \frac{P_c}{v_c}}$$

斷面積ト壓力トノ關係ハ

$$\frac{F}{F_c} = \sqrt{\left(\frac{P_c}{P_1} \right)^{\frac{2}{m}} - \left(\frac{P_c}{P_1} \right)^{\frac{m+1}{m}}} \bigg/ \sqrt{\left(\frac{P}{P_1} \right)^{\frac{2}{m}} - \left(\frac{P}{P_1} \right)^{\frac{m+1}{m}}}$$

ノズルノ軸ニ沿エル壓力變化ヲ假想スレバ各斷面ノ面積ヲ求ムルコトガ出來ルガ通常ハ
 ノズル入口ヨリ最小斷面マデハ適當ナル曲線トシコレヨリ出口ニ至ルマデハ廣ガリ角度
 $4^\circ \sim 12^\circ$ ヲ以テ直線的ニ面積ヲ増加シ出口面積 F_2 トスル。

ノズル角 α_1 ハ高壓部ニ於テハ小サク最初ノ段ハ 12° 位ノコトモアルガ一般ニ $15^\circ \sim$
 25° , 最終段ニテハ $30^\circ \sim 40^\circ$ トスル事モアル。衝動タービンノ細マリノズルノ高サハ高
 壓部ニ於テハ羽根ピッチ直徑ノ $1.5 \sim 2\%$ 以上, 低壓部ニ於テハ $8 \sim 12\%$, 最終段ニテハ
 最大 25% デアル。反動タービンハ高壓部ニ於テ 3% 以上トスル。

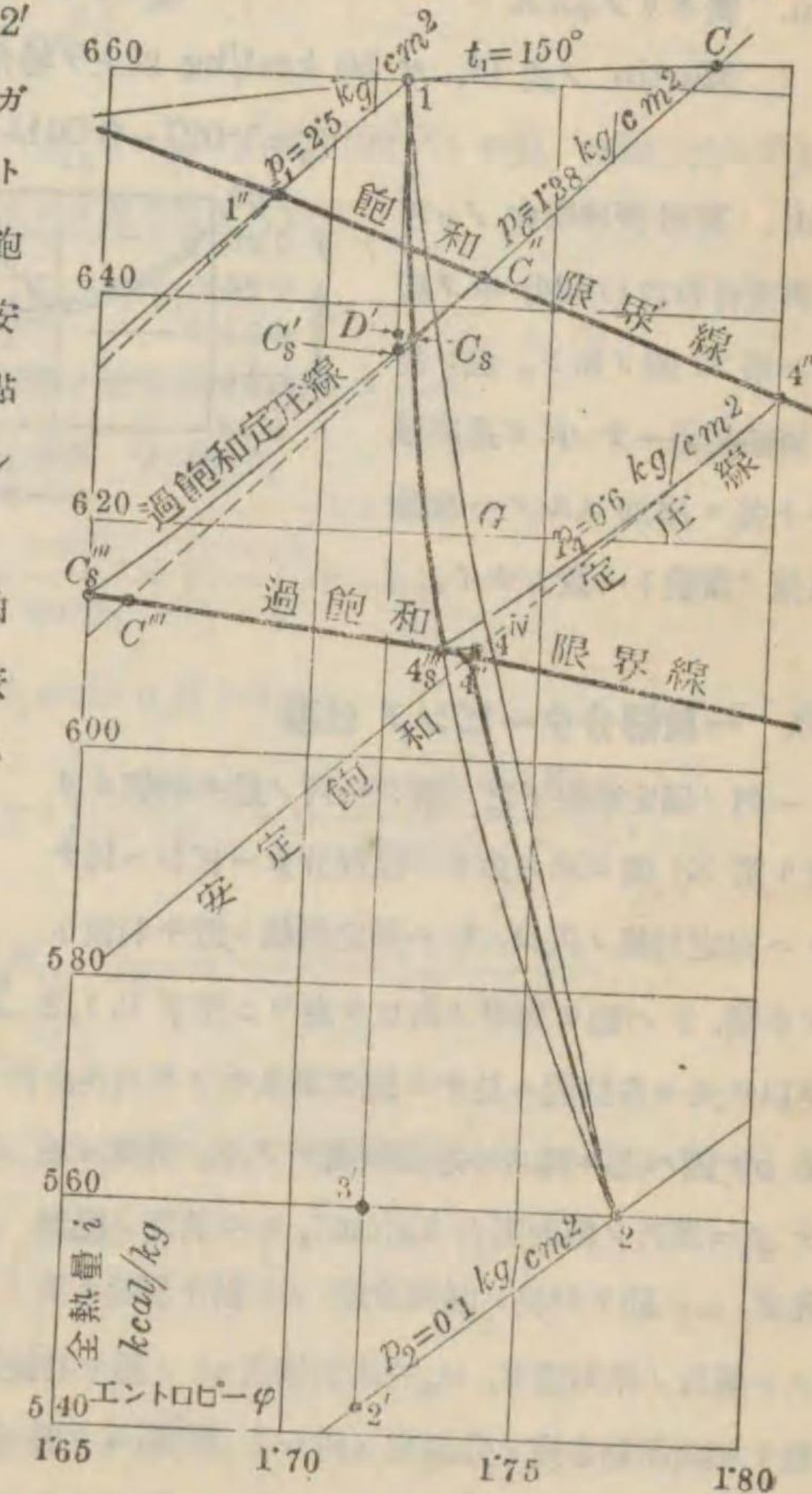
67. モリエル線圖上ノノズル膨脹線

第 36 圖ニ於テ $i-2$ ヲドラブル・タービンノ如キ熱落差ノ大ナル場合ノノズル膨脹曲
 線, $1-2'$ ヲ摩擦ナキ場合ノ膨脹曲線, $1'' C'' 4''$ ヲ飽和限界線, $C_s''' C''' 4_s''' 4'''$ ヲ過
 飽和限界線, $C'' C''', 4'' 4'''$ 等ヲ安定飽和定壓線, $C'' C_s''', 4'' 4_s'''$ 等ヲ過飽和定壓線
 トシ, p_1 ヲ最初壓力, p_2 ヲ最終壓力, p_c ヲ臨界壓力, p_4 ヲノズル膨脹曲線ト過飽和
 限界線トノ交點ニ相當スル壓力 (何レモ $kg/cm^2 = \tau$) トスレバ C_s ハ $1-2$ 摩擦膨脹
 線ト p_c 過飽和定壓線トノ交點, C_s' ハ $1-2'$ 膨脹曲線ト p_c 過飽和定壓線トノ交點, D'
 ハ C_s ト等シキ全熱量ヲ有スル $1-2'$
 線上ノ點, $4_s'''$ ハ $1-2$ 摩擦膨脹線ガ
 過飽和限界線ト交ル點, $4'''''$ ハ $4_s'''$ ト
 等シキ壓力ト全熱量トヲ有スル安定飽
 和定壓線上ノ點, $4''''$ ハ壓力 p_4 ノ安
 定飽和定壓線ト過飽和限界線ト交ル點
 ニシテ $4'''''$ ト $4''''$ トハ極メテ接近シ
 テ居ル。

$1-2'$ ノ長サハ i_r ヲ表ワシ, $1-2$ 曲
 線ノ縱軸方向ノ長サハ $(i_1 - i_2)$ ヲ表
 ワス。 $3'$ ヲ 2 ト等シキ全熱量ヲ有ス
 ル $1-2'$ 線上ノ點トスレバ

長 $(1-3') = \eta_n i_r$,
 長 $(3'-2') = (1 - \eta_n) i_r = AZ$,
 長 $D'C_s' = \text{長}(1-C_s') \times (1 - \eta_c)$.

η_c ハノズル入口ヨリ臨界斷面ニ到
 ルマデノ間ノエネルギー効率デアル。
 $1-2$ 摩擦膨脹線ハ $4_s''' = \tau$ 過飽和限
 界線ニ交リ安定飽和狀態ニ變化シ $4''''$
 ヲリ點 2 ニ到ル。コノ曲線 $1 C_s 4_s'''$ -
 $4'' 2$ ハ大體ノ經路ヲ示スノミデアル



第 36 圖

ガノズルノ場合ニハ點 1 及 2 ヲ知ル以外ニハ餘リ詳細ヲ必要トシナイ。

68. ノズル効率及ノズル速度係數

第 65 節第 47 表ハ試驗用特殊ノズルノエネルギー効率 η_n 及速度係數 φ デアル。實際ノノズルニ於ケルモノハ實驗結果ニヨレバ大約下ノ如シ。 $\varphi = \sqrt{\eta_n}$ デアルカラ η_n ノ値ノミヲ掲ゲル。

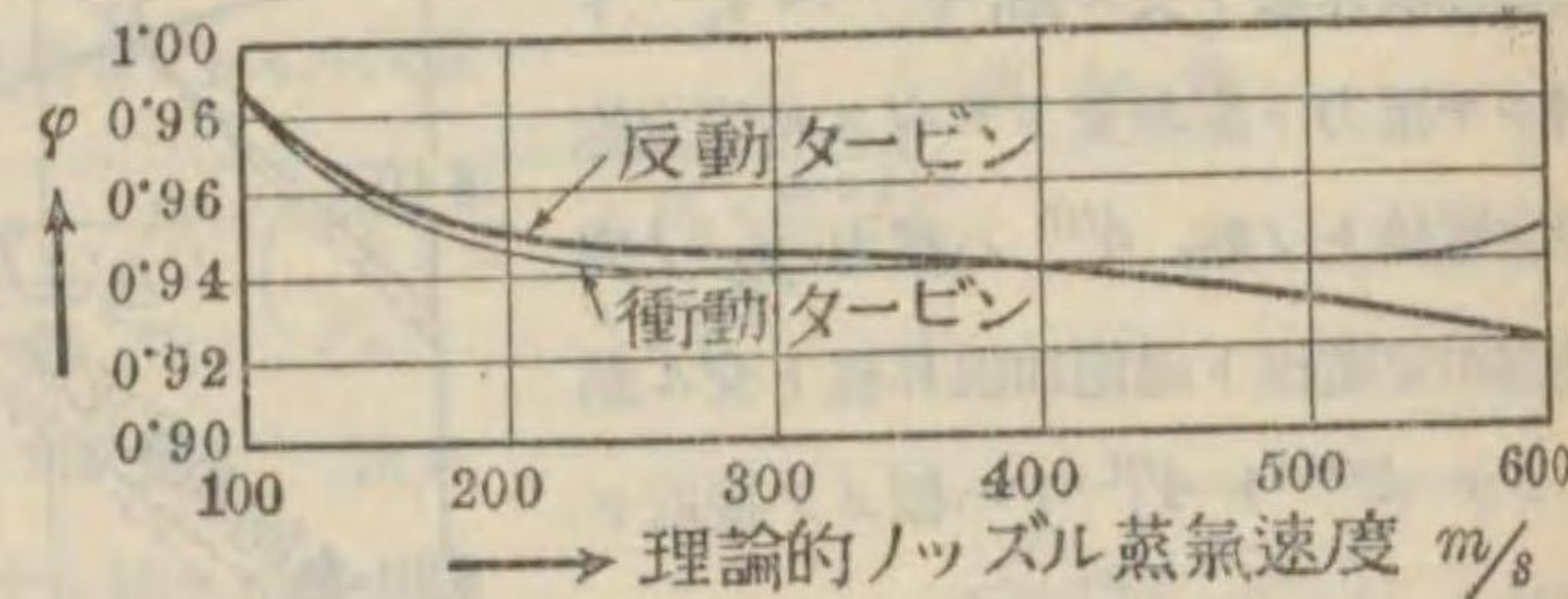
i. 短キ細マリノズル 飽和蒸氣 $\eta_n = 0.90$ 過熱蒸氣 $\eta_n = 0.92 \sim 0.94$.

ii. 廣ガリノズル $\eta_n = 0.85 \sim 0.95$.

Martin ノ式 (i_r ガ 30 kcal/kg 以上ノ場合)

$$\eta_n = 1.027 - 0.0011 i_r$$

iii. 英國機械學會ノズル調査會報告(1924)中ノ結果ハ第 37 圖ノ如シ。但シ此ノ實驗結果ニテ φ ガ速度減小ト共ニ増加スルノハ理論及他ノ實驗ト一致シナイ。



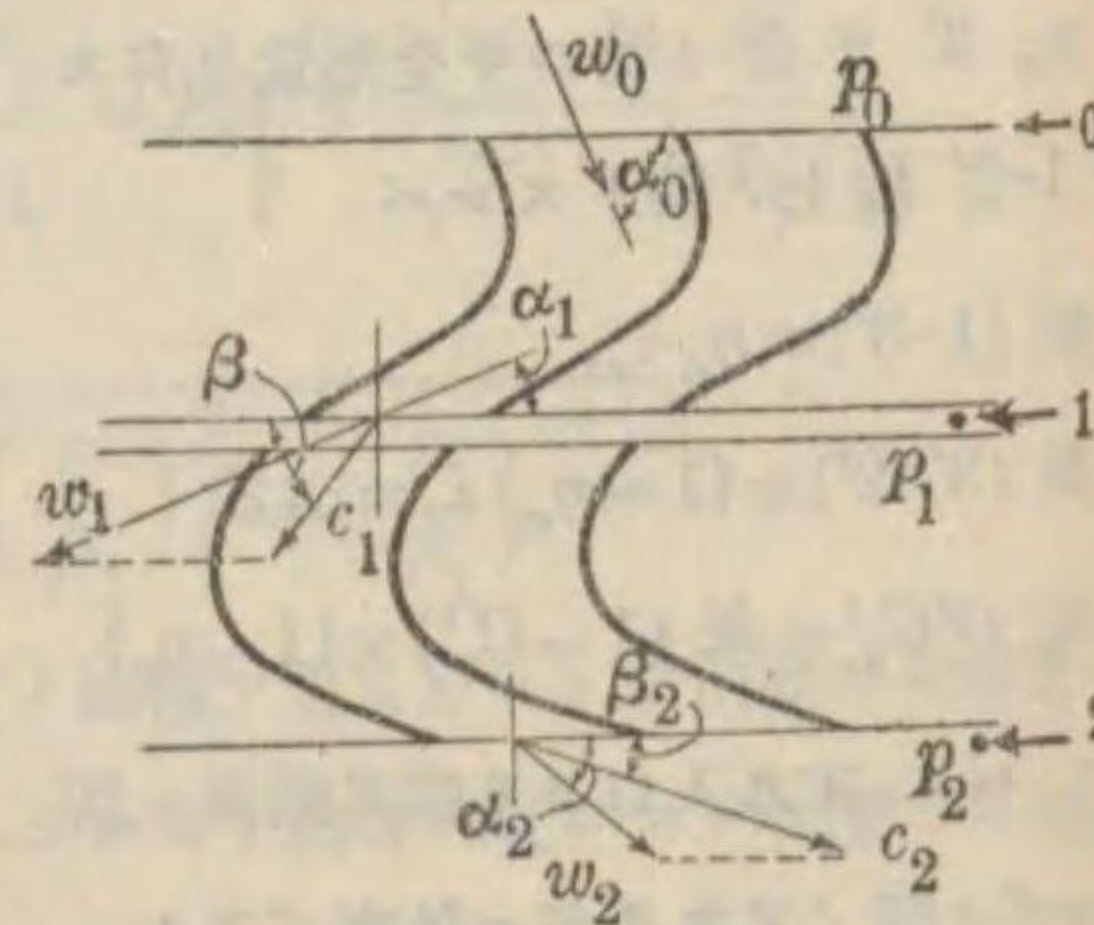
第 37 圖

69. 一段部分タービンノ仕事

一列ノ固定羽根ト之ニ續ク一列ノ動キ羽根ヨリ成ル第 38 圖ニ示ス如キ一段部分タービンニ於テ 0 ハ固定羽根ノ入口, 1 ハ固定羽根ト動キ羽根トノ中間, 2 ハ動キ羽根ノ出口ヲ表ワシ添字 0, 1, 2 ヲ以テ夫々各位置ニ於ケル値ヲ示スモノトスル。

第 39 圖ハ之ニ對スル速度線圖デアル。兩圖ニ於テ p = 蒸氣ノ絶對壓力 kg/cm^2 , w = 蒸氣ノ絶對速度, u = 動キ羽根ノ圓周速度, c = 動キ羽根ニ對

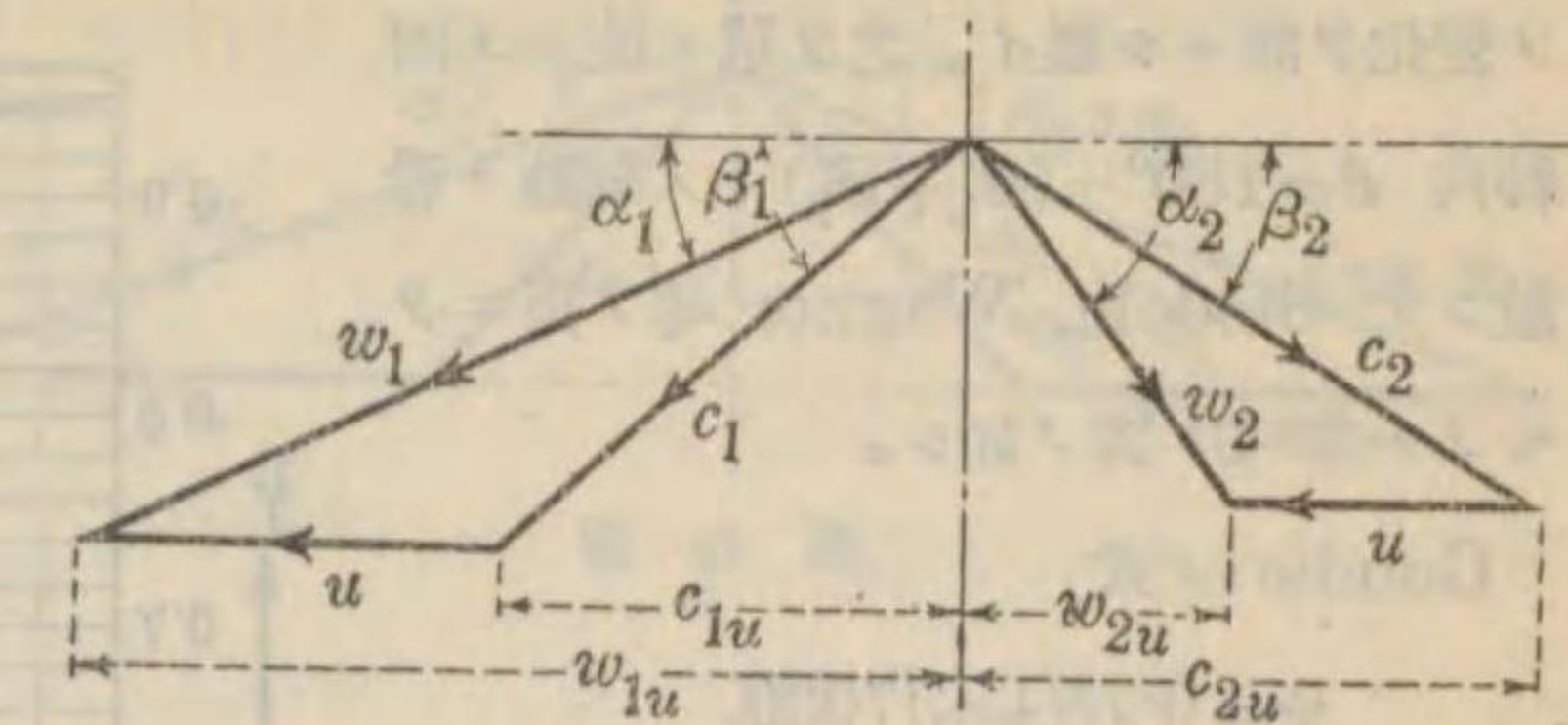
スル蒸氣ノ相對速度, w_u = 絶對速度 w ノ動キ羽根運動方向ノ分速度, c_u = 相對速度 c ノ動キ羽根運動方向ノ分速度 (何レモ m/s = テ), α, β = 夫々圖示セル角度トスレバ衝動タービンニ於テハ $p_0 > p_1, p_1 = p_2$, 又聯成速度タービンノ第二段以下ノ速度段階ニテハ



第 38 圖

$p_0 = p_1 = p_2$, 反動タービンニテハ $p_0 > p_1 > p_2$ デアル。今 W_{02} ヲコノ段階ニ於テ 1 kg ノ蒸氣ガナス仕事 $kg\cdot m$ トスレバ

$$\begin{aligned} W_{02} &= \frac{u}{g}(w_{1u} \mp w_{2u}) \\ &= \frac{u}{g}(c_{1u} \mp c_{2u}) \\ &= \frac{1}{2g} \{ (w_1^2 - w_2^2) - (c_1^2 - c_2^2) \}. \end{aligned}$$



第 39 圖

但シ \mp ノ記號ハ w_{1u} ト w_{2u} 或ハ c_{1u} ト c_{2u} トガ同方向ノトキ負, 反對方向ノ時正ヲトル。又 N_{02} ヲ蒸氣流量 1 kg/s ガナス馬力數トスレバ

$$N_{02} = W_{02}/75.$$

ξ = 圓周速度比, ψ = 動キ羽根内摩擦ノ速度減少係數トスレバ

$$\xi = u/w_1, \quad \psi = c_2/c_1.$$

$$W_{02} = \frac{u^2}{g} \left(1 + \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \psi \right) \left(\frac{\cos \alpha_1}{\xi} - 1 \right).$$

$$\tan \beta_1 = \sin \alpha_1 / \xi - 1,$$

$$\tan \alpha_2 = \tan \beta_2 \left(\frac{\cos \alpha_1}{\xi} - 1 \right) \left\{ \frac{\cos \alpha_1}{\xi} - \frac{\cos \beta_1 + \psi \cos \beta_2}{\psi \cos \beta_2} \right\},$$

$$y_1 = u \left(\frac{\cos \alpha_1}{\xi} - 1 \right) \tan \beta_1, \quad y_2 = u \left(\frac{\cos \alpha_1}{\xi} - 1 \right) \frac{\psi \sin \beta_2}{\cos \beta_1}.$$

ψ ノ値ハ各タービンノ型式ニヨリ異ナル。第 70 節参照ノコト。

反動タービンノ場合ハ $\alpha_1 = \beta_2, \alpha_2 = \beta_1$ トスルコト多キ故ソノ場合ニ對シテハ

$$W_{02} = \frac{u^2}{g} \left(\frac{2 \cos \alpha_1}{\xi} - 1 \right).$$

70. 動キ羽根内摩擦ニヨル速度減少ノ係數

ψ ハ羽根ノ大サ, ピッチ, 蒸氣速度, 流レノ回轉度等ニ關係スル複雑ナル係數ニシテ其

ノ變化ヲ詳ニシ難イ。之ヲ單ニ流レノ回轉角 $\theta = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$ ノ函數ト看做シテ Stodola, Wagner 等ノ與エタモノハ第 40 圖ノ如シ。

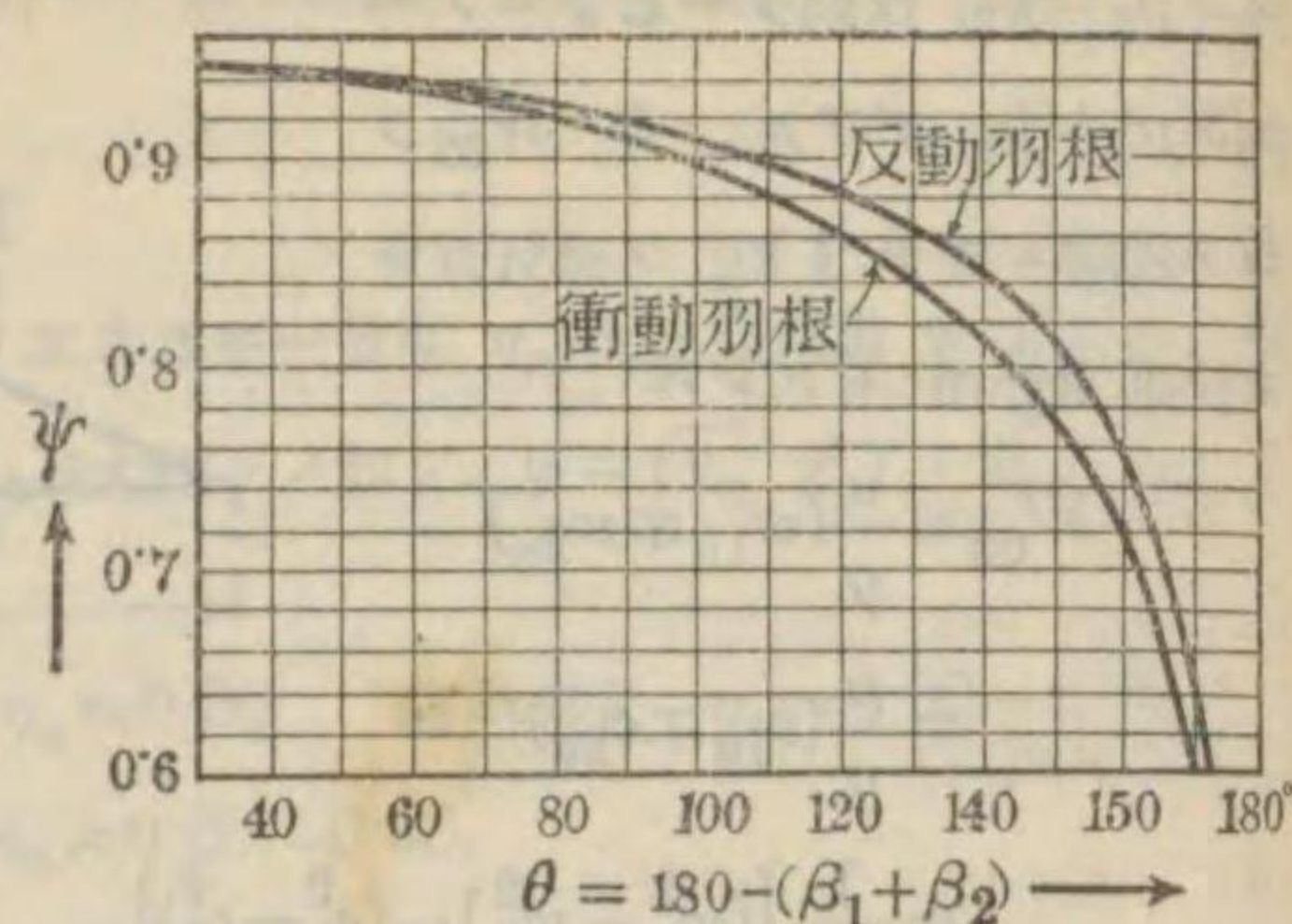
Goudie ノ式

$$\psi = 0.75 + c_1/7000,$$

Briling ノ式

$$\psi = \psi_c - 0.000432\theta^{4/3},$$

$$\psi_c = 0.70 \sim 0.99.$$



第 40 圖

71. 速度三角形ニ依ル羽根圓周ノ效率. 圓周速度比

羽根圓周ノ效率 η_b ハ第 69 節ニ於テ説明シタ W_{02} , 即チ羽根ノ正味仕事トランキン・サイクル熱 $(i_0 - i_2)$ ヲ仕事ニ換算シタルモノ W_{02}' トノ比デアル。即チ

$$\eta_b = \frac{W_{02}}{W_{02}'} = \frac{i_0 - i_2}{i_0 - i_2'} = \frac{\Delta i_{02}}{\Delta i_{02}'}$$

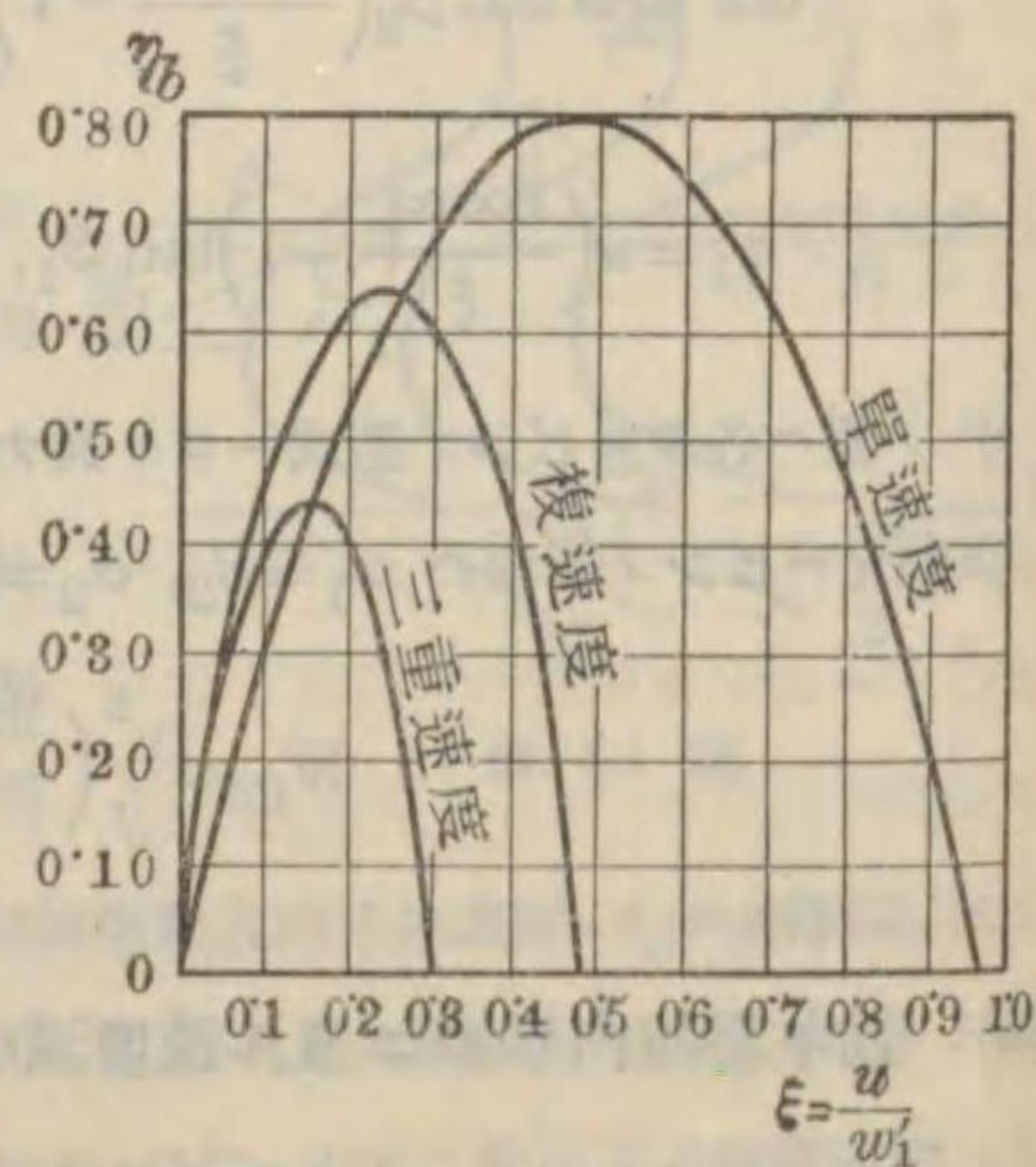
上ノ i_0, i_2 ハ夫々固定羽根ノ入口ト動キ羽根ノ出口トノ状態ニ於ケル全熱量デアツテ此等ハ羽根車ノ圓板摩擦及羽根通路以外ヨリノ蒸氣漏洩等ニヨル損失ノ爲前段ノ動キ羽根ノ出口ニ於ケルモノ及次段ノ固定羽根ノ入口ニ於ケルモノトハ異ナル。

1. 衝動タービン $p_1 = p_2, i_2' = i_1$, 故ニ

$$i_0 - i_2' = \frac{Aw_1^2}{2g} = \frac{Aw_1^2}{2g\varphi^2},$$

$$\eta_b = 2\varphi^2 \left(1 + \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} \psi \right) (\cos \alpha_1 - \xi) \xi.$$

$\beta_1 = \beta_2$ トシ $w_1, \varphi, \psi, \alpha_1$ 等ヲ一定トスレバ η_b ハ ξ ノミノ函數デアル。以上ハ單速度タービンノ場合デアルガ聯成速度タービンニテモ同様デアツテ η_b ト ξ トノ關係ハ大約第 41 圖ノ如シ。實際タービンニ於テ單速度



第 41 圖

ノトキ $\xi = 0.4 \sim 0.47$, 複速度ノトキ $\xi = 0.2 \sim 0.23$ 位ニテ η_b ハ最大トナル。但シ大型多段單速度タービンノ最終段ニテハ $\xi = 0.3$ 位ニスルコトガアル。

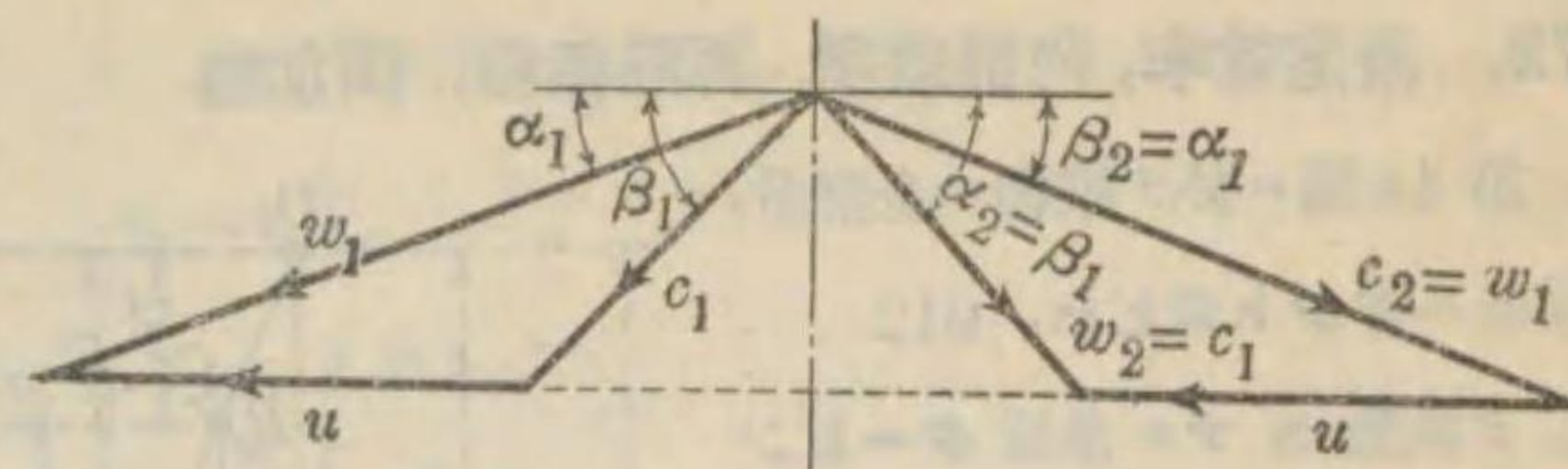
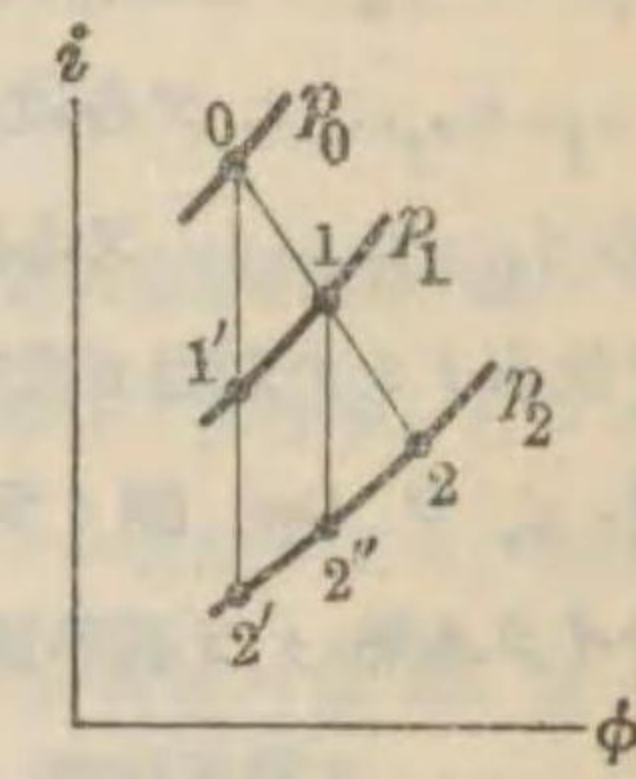


圖 42 圖

2. 反動タービン 反動タービンニテハ前段ヨリノ残り速度 w_0 ヲ考へ入ルハ普通トスル。通常ノ場合 $\alpha_1 = \beta_2, \alpha_2 = \beta_1$ デアルカラ (第 42 圖及第 43 圖参照)

固定羽根ニ於テ $i_0 - i_1' = A \frac{w_1^2 - w_0^2}{2g} + AZ_{01}.$

動キ羽根ニ於テ $i_1 - i_2' = A \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + AZ_{12}.$



第 43 圖

但シ $w_0 = w_2, Z_{01}$ 及 Z_{12} ハ夫々固定及動キ羽根中ノ速度減少ニヨル損失エネルギーデアル。又通常 $\Delta i_{01}' = \Delta i_{12}'$ ニシテ $\frac{1}{2} \Delta i_{02}'$ ヨリモ少シク大デアルガ略等シイモノト看做シテ

$$\text{反動度 } \rho = \frac{\Delta i_{12}'}{\Delta i_{02}'} \doteq \frac{1}{2}.$$

$$i_0 - i_2 = \frac{i_1 - i_2'}{\rho} = 2(i_0 - i_1') = \frac{A}{g} \left\{ \frac{w_1^2}{\varphi^2} - w_0^2 \right\} = \frac{A}{g} w_1^2 \left\{ \frac{1}{\varphi^2} - \psi^2 \right\} = A \frac{w_{th}^2}{2g}.$$

故ニコノ關係ヲ始メノ式ニ代入シテ

$$\eta_b = \frac{\varphi^2}{1 - \varphi^2 \psi^2} (2 \cos \alpha_1 - \xi) \xi.$$

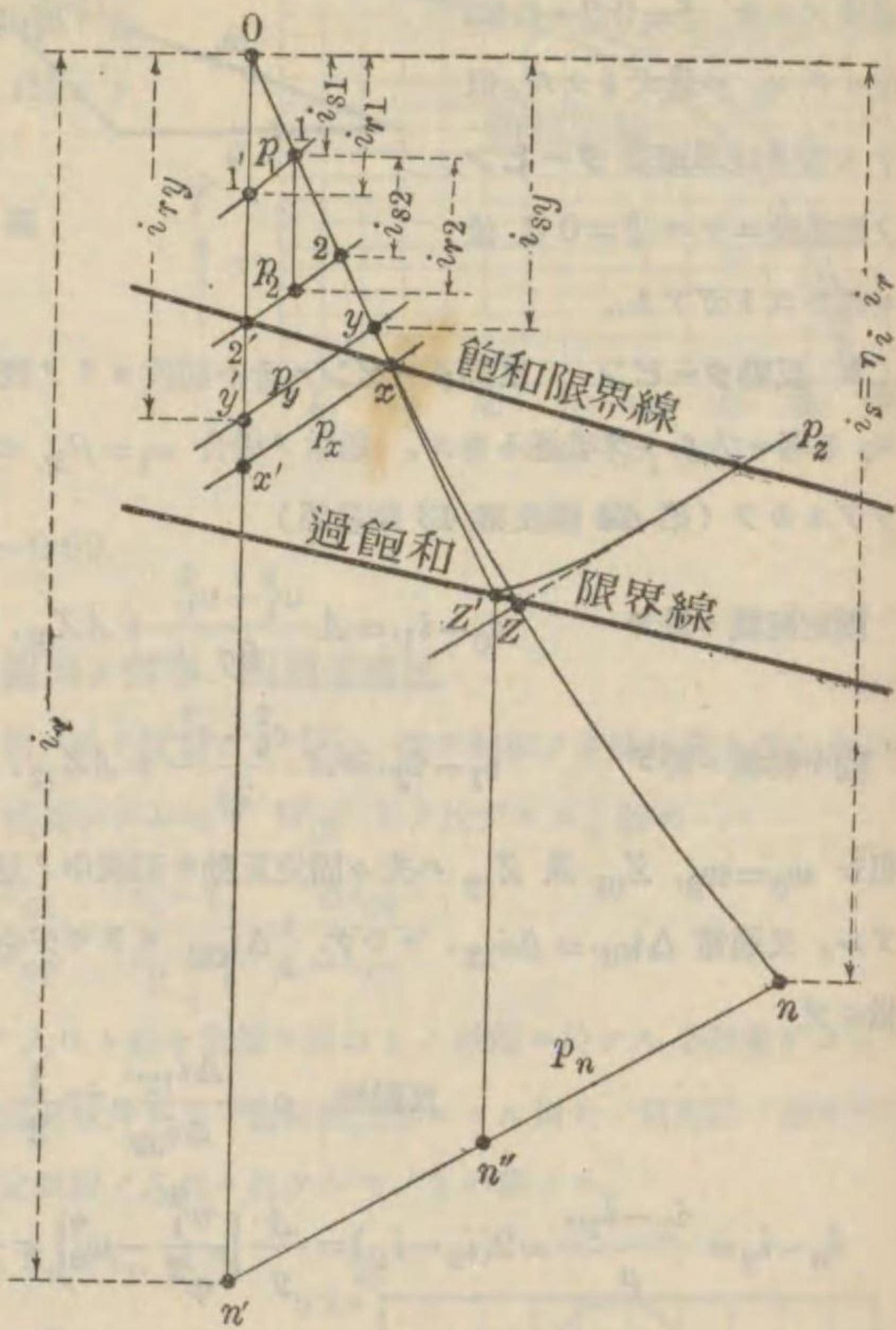
φ, ψ, α 等ヲ一定トスレバ η_b ハ ξ ノ函數ニシテ $\xi = \cos \alpha_1$ ノトキ最大トナル。但シ實際ニハ衝動タービント異ナリ ξ ノ値ハ廣キ範圍ニ取ルコトヲ得、 $\xi = 0.65 \sim 0.95$ 位デアル。

3. 一段部分タービンノ熱落差, 蒸氣速度 一段部分タービンノランキン・サイクル熱ハ $i_0 - i_2' = 1 \sim 200 \text{ kcal/kg}$, ノズル蒸氣速度 $w_1 = 90 \sim 140 \text{ m/s}$, 羽根ノ圓周速度 $u = 50 \sim 250 \text{ m/s}$, [ドラベル式衝動タービンは $u = 400 \text{ m/s}$] 位デアル。

72. 段落効率, 内部効率, 再熱係數, 積加熱

第 44 圖 = 於テ縦軸ハ全熱量,
 横軸ハエントロピー, 012....
 n ヲ段數 n ナル多段タービン
 内ノ蒸気膨脹變化ノ曲線, $p_1,$
 p_2, \dots, p_n ヲ各段落間ノ壓力,
 i_{r1}, i_{r2}, \dots ヲ各段落ノ熱落
 差, i_{s1}, i_{s2}, \dots ヲ各段落=於
 テ仕事トシテ羽根ガ受取ツタ熱
 量, i_r ヲ $0n'$ 間ノランキン・
 サイクル熱, r ヲ再熱係數, $\eta_{s1},$
 η_{s2}, \dots ヲ段落効率, i_c ヲ積
 加熱 (Cumulative heat), i_s
 ヲ單位蒸気量當リ全段落=テ羽
 根ガ受取リタル仕事ノ熱相當量,
 η_i ヲ内部効率トスレバ
 $i_{r1} = i_0 - i_1, \quad i_{r2} = i_1 - i_2,$

 $i_{s1} = i_0 - i_1, \quad i_{s2} = i_1 - i_2,$



第 44 圖

$$i_r = i_0 - i_n, \quad r = (i_{r1} + i_{r2} + \dots) / i_r \geq 1$$

$$\eta_{s1} = i_{s1} / i_{r1}, \quad \eta_{s2} = i_{s2} / i_{r2}, \dots$$

又段落効率 η_s ハ速度三角形=依ル羽根周圍ノ効率 η_b =羽根車ノ圓板摩擦及段落間蒸
 気漏洩損失等ヲ考エ=入レタル係數ヲ乘ジタモノ=等シイ。即チ
 $\eta_s = \delta \eta_b$

$\delta = 0.94 \sim 1.00$ =シテ低壓部=於テハ殆ド 1, 衝動タービン=テハ主トシテ圓板摩擦, 反
 動タービン=テハ主トシテ漏洩蒸気=ヨル損失=關係スル。

$$i_c = i_{r1} + i_{r2} + \dots, \quad i_s = i_0 - i_n = i_{s1} + i_{s2} + \dots$$

$$\eta_i = i_s / i_r$$

又 $i_{r1} = i_{r2} = \dots, \quad \eta_{s1} = \eta_{s2} = \dots$ トスレバ
 $\eta_i = r \eta_s = r \delta \eta_b$

第 28, 29, 36 圖及第 64 節参照ノコト。

73. 多段タービン内ノ蒸気膨脹變化ノ曲線

多段タービンノノズル, 羽根寸法等ヲ定ムル=ハタービン内ノ蒸気膨脹變化ヲ知ルヲ
 要スル。 η_s ヲ假定スレバ高壓部ヨリ順次之ヲ求メ得ルガ 5~6 段以上ノ多段タービンニ
 テハ誤差ノ積算ヲ避クル爲先其ノ大略ヲ求ムルヲ可トスル。次=其ノ一方法ヲ示ス。膨脹
 曲線ヲポリトロピック變化ト看做ストキハ $p v^m = \text{定數}$ トシテ係數 m 其他ハ第 65 節=

ポリトロピック係數 $m = \frac{\gamma}{\gamma - \eta_s(\gamma - 1)} = \frac{1}{1 - \eta_s(1 - \frac{1}{\gamma})} \dots (1)$

再熱係數 $r = \left\{ 1 - (p_n/p_0)^{\frac{m-1}{m}} \right\} / \left\{ 1 - (p_n/p_0)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\} \eta_s$
 $= \left\{ 1 - (p_n/p_0)^{\frac{\gamma-1}{\gamma} \eta_s} \right\} / \left\{ 1 - (p_n/p_0)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\} \eta_s \dots (2)$

内部効率 $\eta_i = \left\{ 1 - (p_n/p_0)^{\frac{\gamma-1}{\gamma} \eta_s} \right\} / \left\{ 1 - (p_n/p_0)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\} \dots (3)$

1. 過熱部 $\gamma = 1.3$ トシテ上式ヨリ m_1, r_1, η_i' 等ヲ求ムルコトガ出來ルガ先過熱部
 ノ終壓 p_x , 即チ第 44 圖 x 點ヲ求ムルヲ要スル。初ノ状態 0 ノ比體積ヲ v_0 トスレバ飽和
 蒸気ノ壓力, 體積ノ關係式 $p_{s1}^{15} v_{s1} = 1.7235$ ト $p v^m = \text{定數}$ トヲ組合セテ

$$x = \left\{ \frac{1.7235}{p_0^{\frac{1}{m}} v_0} \right\}^{\frac{16m}{15m-16}}$$

ヨリ過熱部ノ終點第 44 圖 x ヲ知リ得。任意ノ中途ノ點例エバ第 44 圖 y ノ如キハ (2)
 式中 $p_n = p_y$ ヲ入レテ r_y ヲ求メ前節ノ式ヨリ $i_{sy} = r_y \eta_s i_{ry}$ =テ求メ得。

2. 飽和部 (1) 式ハ濕リ蒸気ニハ適用セラレスカラ Callendar-Goudie ノ式ニヨリ
初メノ點 x ト終點 n トノ間ニ於ケル内部効率

$$\eta_{i2} = \left(1 + 0.43 \frac{t_x - t_n}{t_n}\right) / \left(\frac{1}{\eta_s} + 0.43 \frac{t_x - t_n}{t_n}\right)$$

ニヨリ内部効率 η_{i2} フ求メ得。但シ t_x, t_n ハ壓力 p_x, p_n = 於ケル飽和蒸気溫度 °C
デア。依テ再熱係數ヲ知リ前同様ニ x ト n トノ間ノ點及終壓 p_n = 對スル n 點ヲ知
ルコトガ出來ル。

3. 過飽和部 Oxn ノ三點ヲ滑カナル曲線ニテ連續スレバ大體ノ曲線ヲ得ルニ充分デ
アルガ xn 曲線ガ過飽和限界線ト交ル點第 44 圖 z = 於ケル安定飽和壓力ヲ p_z トシ p_z
ナル過飽和壓力線ト過飽和限界線トノ交點ヲ z' トスレバ膨脹曲線ヲ $Oxz'zn$ ナル $z'z$ =
テ僅ニ屈折スル曲線トスルガヨイ。此場合ニハ xz' ノ間ハ過飽和ト考エ z' = テ急ニ安
定飽和狀態 z マデ移ルモノト考ウ。

74. 正味効率, ランキン・サイクルノ熱効率, 實際熱効率

羽根ガ受取リタル仕事ノ熱相當量 i_s ヨリ凡テノ外部損失即チ軸受摩擦, 補助機損失,
グランド漏洩, 最終段ノ残り速度, ケーシングヨリノ熱放散等ニヨル損失ヲ除イタモノ即チ
タービン軸接手ニ於テノ機械的出力ノ熱相當量ヲ使用蒸気單位量當リ i_b トスレバ, 正味
効率 η ハ

$$\eta = i_b / i_r = \eta_i - x, \quad x = (i_s - i_b) / i_r$$

衝動タービンニ於テハ $x = 0.02 \sim 0.06$, 反動タービンニ於テハ $x = 0.04 \sim 0.08$.

σ_n = 壓力 p_n , 溫度 t_n ナル飽和水ノ感熱 kcal/kg トスレバ

ランキン・サイクルノ熱効率

$$\eta_r = \frac{i_r}{i_0 - \sigma_n}$$

實際熱効率

$$\eta_a = \frac{i_b}{i_0 - \sigma_n} = \frac{\eta_s i_c}{i_0 - \sigma_n}$$

75. 蒸気消費量

使用蒸気ノ初壓 p_0 及溫度 t_0 ト終壓 p_n トガ與エラレタ場合ハランキン・サイクル熱
 i_r kcal/kg フ知リ得ルカラタービン軸ニ於ケル單位出力當リ蒸気消費量 k_{FP} kg/HP-h

及 k_{kW} kg/kWh ハ正味効率 η フ假定スレバ

$$k_{FP} = \frac{632}{\eta i_r}, \quad k_{kW} = \frac{860}{\eta i_r}$$

又實際ノ蒸気消費量ヲ知ルトキハ上式ニヨリ正味効率 η フ見出スコトガ出來ル。正味效
率 η ハ小出力ノモノ 0.70 ヨリ大出力ニテ最高 0.85 ニ達スルモノガアル。

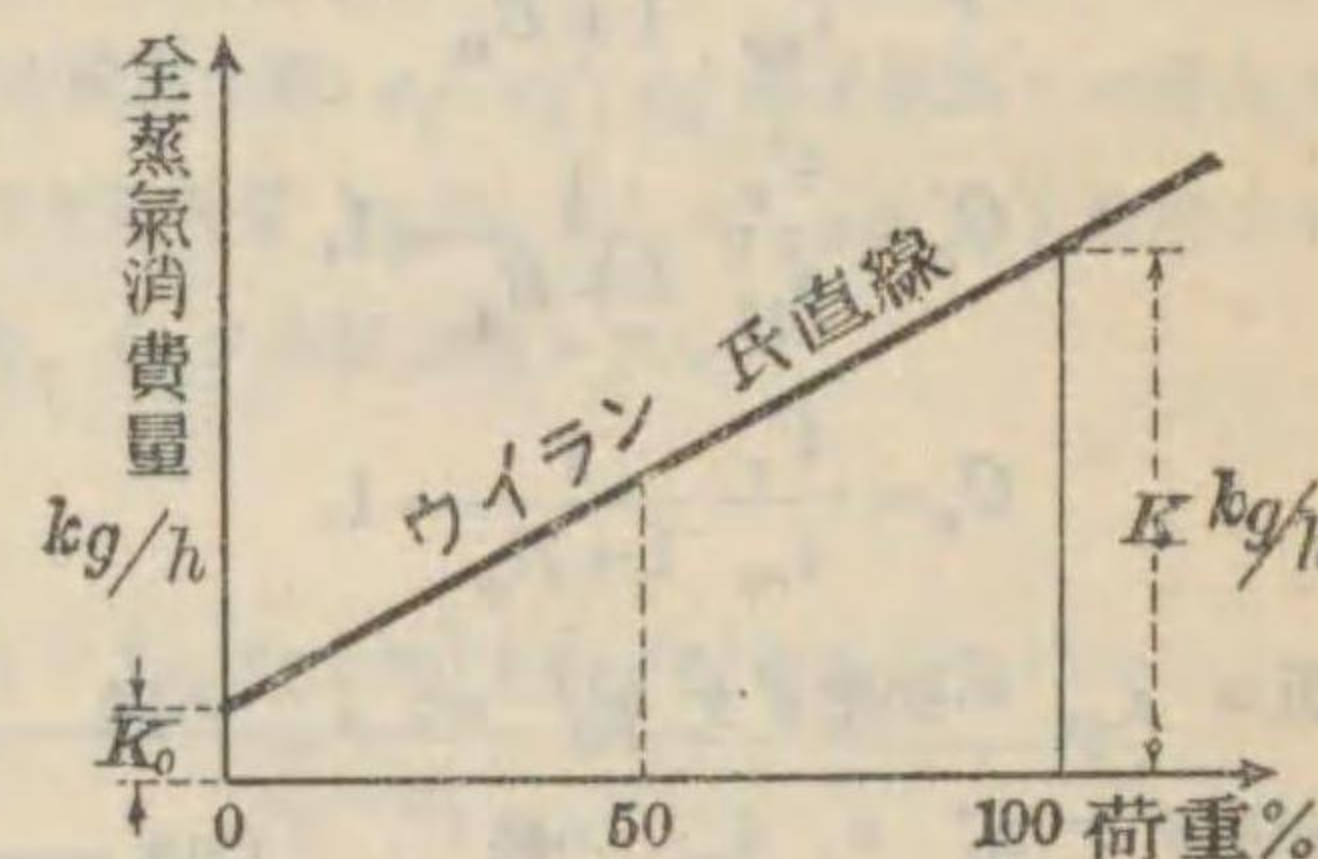
Forner 蒸気消費量ノ式

$$k_{FP} = 14.2 \left(1 + \frac{2}{p_0}\right) \left(1 - \frac{t_0}{900}\right) \left(1 - \frac{V}{148}\right) \left(1 + \frac{99}{N_b}\right)$$

但シ p_0 = 初壓 (絶對) kg/cm², t_0 = 初ノ蒸気溫度 °C, V = 終壓 p_n フ真空度 % = テ
表ワシタルモノ, N_b = 正味馬力。

76. 輕負荷ニ於ケル蒸気消費量, ウィラン氏直線

負荷ノ變化スルトキタービンノ全蒸気
消費量 K kg/h ハ往復蒸気機關ト同様大
約第 45 圖ノ如キウィラン氏直線トナル。
無負荷ノトキノ全消費量 K_0 kg/h ト全負
荷ノ時ノ全消費量 K_1 kg/h トノ比ハ大
約 0.10 ~ 0.15 位デア。ル。



第 45 圖

又 x フ小數ニテ表ワシタル負荷ノ割合,

k_{FPx} フ負荷 x ノ時ノ單位當リ蒸気消費量 kg/HP-h, k_{FP1} フ全負荷ノトキノ消費量
kg/HP-h, α_x フ係數トスレバ

$$k_{FPx} = \alpha_x k_{FP1}$$

係數 α_x ノ値ヲ第 48 表ニ示ス。

第 48 表 負荷率 x ト係數 α_x トノ關係

	x	1	0.75	0.5	0.25
α_x	壓力調節	1.0	1.015	1.070	1.250
	ノズル調節	1.0	0.995	1.010	1.105

77. 初壓, 過熱度, 終壓ノ變化ニヨル正味効率及蒸氣消費量ノ變化

計畫又ハ標準狀態ノ初壓 p_0 , 過熱度 s_0 , 終壓 p_n , ランキン・サイクル熱 i_r , 蒸氣消費量

k , 正味効率 η トスレバ夫々ノ値ガ

p_0', s_0', p_n', i_r' トナレル場合ノ

蒸氣消費量 k' , 正味効率 η' ハ次

ノ關係式ニヨツテ與エラレル。

$$\eta = \eta'(1 + B_p + B_s + B_v).$$

$$k = k'(1 + C_p + C_s + C_v)$$

$$= k' \frac{i_r'}{i_r} \frac{1}{(1 + B_p + B_s + B_v)}$$

$$C_p = \frac{i_r'}{i_{rp}} \frac{1}{1 + B_p} - 1,$$

$$C_s = \frac{i_r'}{i_{rs}} \frac{1}{1 + B_s} - 1,$$

$$C_v = \frac{i_r'}{i_{rv}} \frac{1}{1 + B_v} - 1.$$

但シ i_{rp} ハ初壓ダケ p_0' =, i_{rs} ハ過

熱度ダケ s_0' =, i_{rv} ハ終

壓ダケ p_n' = 變化シタルト

キノランキン・サイクル熱デ

アル。又 B_p, B_s, B_v 等ハ

Baumann ノ實驗係數ニシ

テ第 46, 47, 48 圖ノ曲線

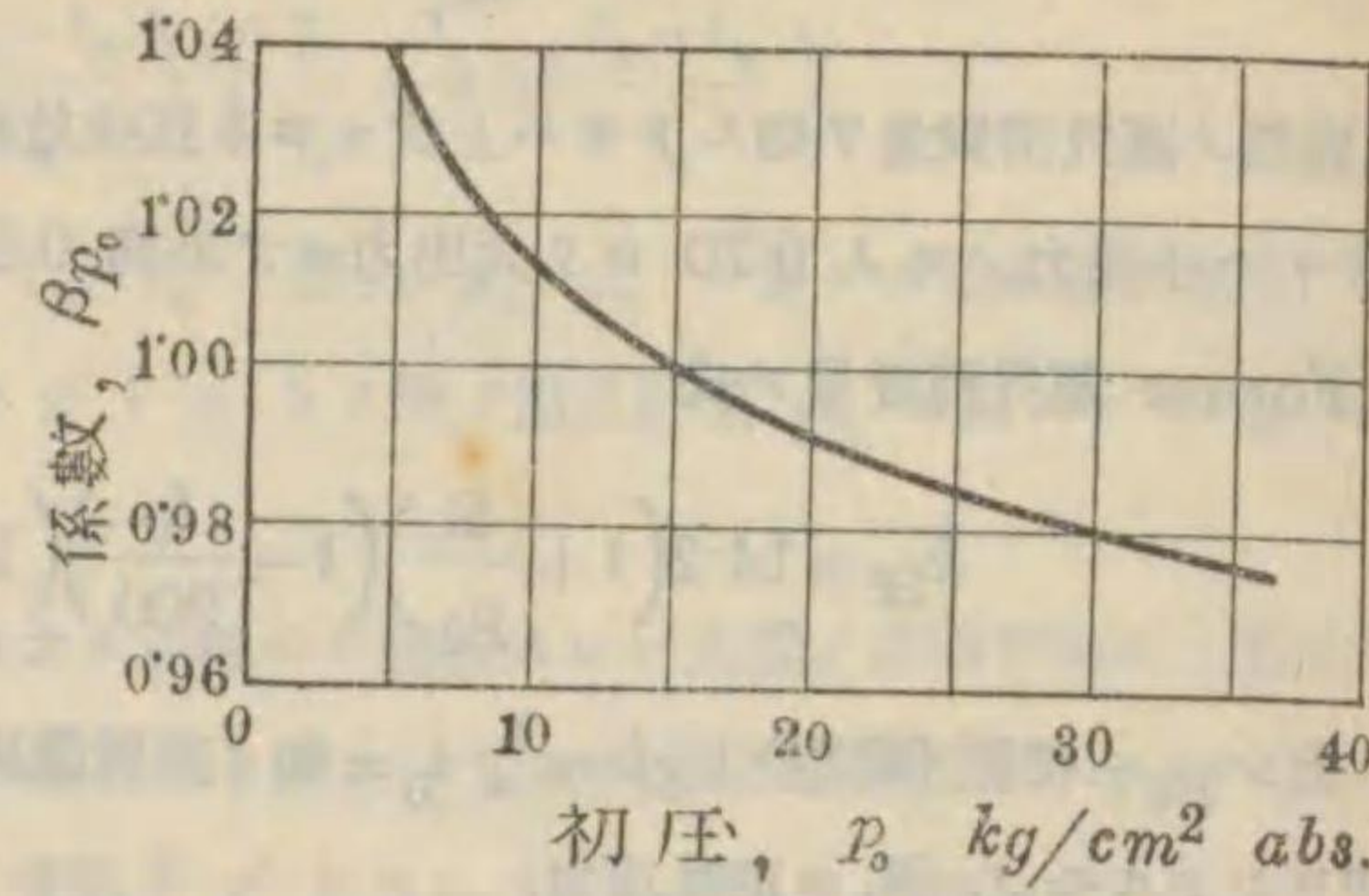
ヨリ p_0', p_0, s_0' 等ニ相當

スル $\beta_{p_0}, \beta_s, \beta_{p_n}$ ノ値

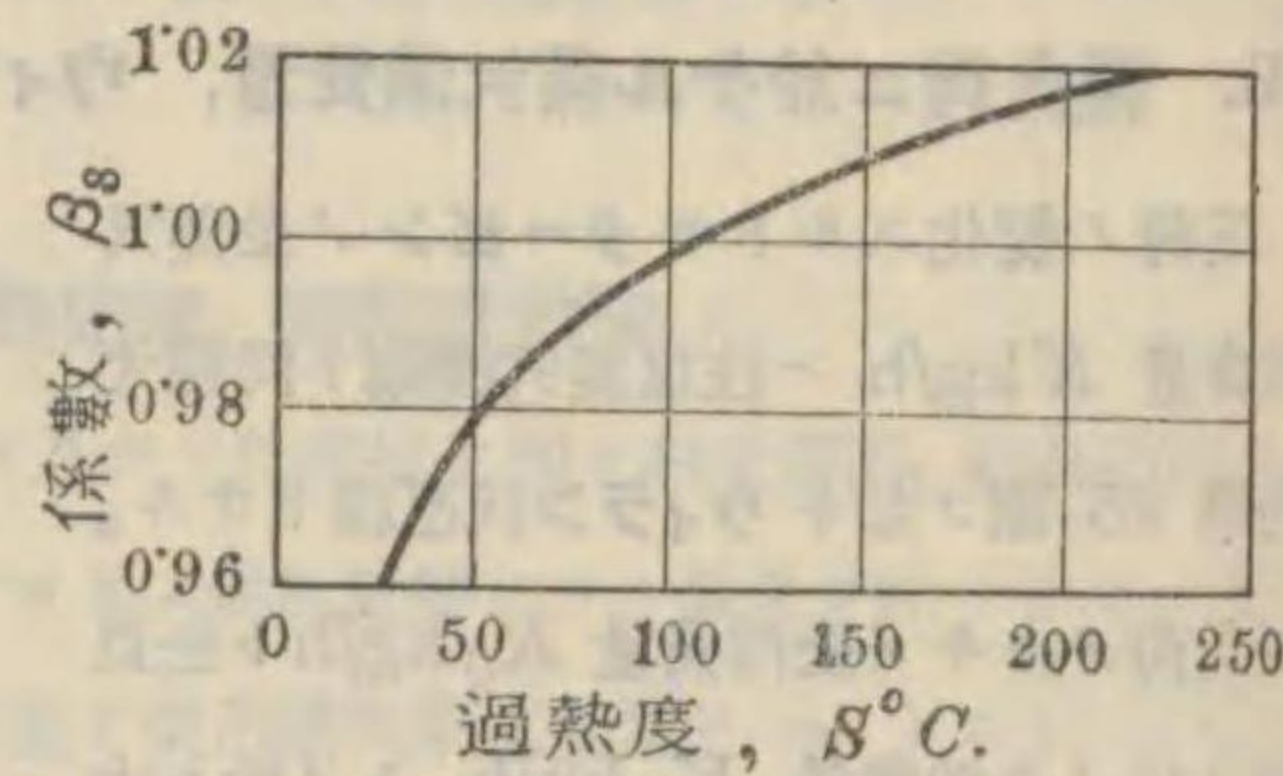
$\beta_{p_0'}, \beta_{p_0}, \beta_{s_0'}$ 等ヲ求メ下

式ニ代入スレバ得ラレル。

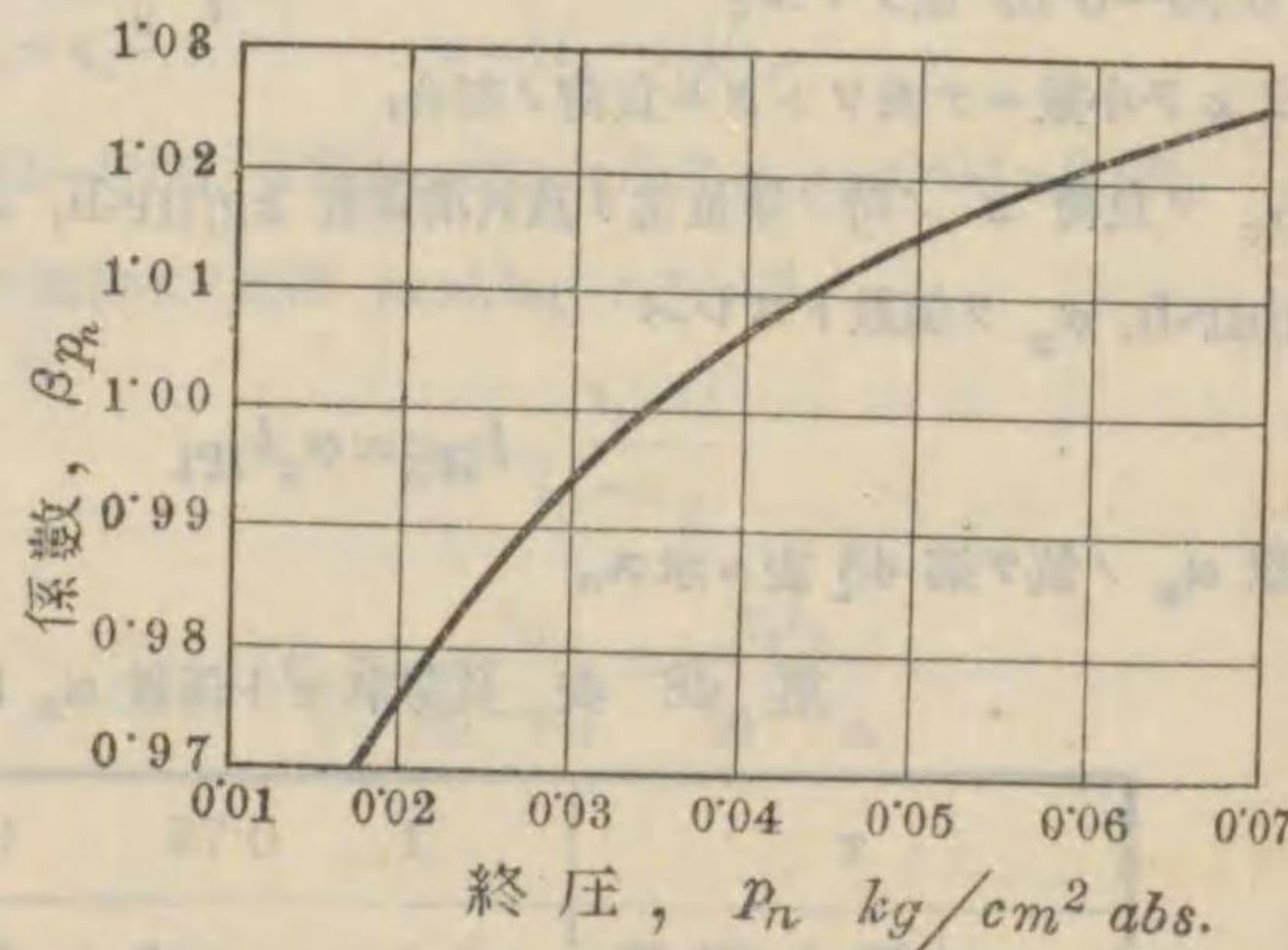
$$B_p = \beta_{p_0'} - \beta_{p_0}, \quad B_s = \beta_{s_0'} - \beta_{s_0}, \quad B_v = \beta_{p_n'} - \beta_{p_n}.$$



第 46 圖



第 47 圖



第 48 圖

78. 蒸氣抽出給水再熱ニ依ル熱効率ノ改善

多段タービンノ中途ヨリ蒸氣ヲ抽出シテ復水ヲ加熱スレバ熱効率ヲ著シク改善シ更ニ大

型タービンニテ最終段ノ羽根ノ過大トナルヲ防ギ残り速度ノ損失ヲ少クスル事ガ出來ル。

新ノ如キ場合ニハ蒸氣消費量ニテハタービンノ優劣ヲ判斷シ難ク熱効率 η_a ヲ知ルヲ要ス

ル。第 44 圖 $0n$ ノ如キ膨脹曲線ガ飽和限界線ト交ル點ノ壓力ヲ p_1 (第 44 圖ニテハ p_x)

トスレバ p_1 ハ蒸氣抽出ノ最高壓力ニシテ此壓力ト終壓 p_n トノ間ニ壓力 p_2, p_3 等ノ中

間蒸氣抽出ノ壓力ヲ取り, t_1, t_2, t_3 等ヲ夫々壓力 p_1, p_2, p_3 等ニ於ケル飽和溫度 °C,

$\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ ヲ夫々壓力 p_1, p_2, p_3 ニテ抽出スル蒸氣量 kg/h, x_1, x_2, x_3 ヲ夫々抽出蒸氣

ノ乾度小數, L_1, L_2, L_3, L_n ヲ壓力 p_1, p_2, p_3, p_n 等ニ於ケル蒸發潛熱 kcal/kg, $\sigma_1,$

$\sigma_2, \sigma_3, \sigma_n$ 等ヲ溫度 t_1, t_2, t_3, t_n 等ニ於ケル水ノ感熱 kcal/kg, $i_{c_0}, i_{c_1}, i_{c_2}, i_{c_3}$ 等ヲ

$0 \sim 1, 1 \sim 2, 2 \sim 3, 3 \sim n$ 間等ノ積加熱, $i_{r_0}, i_{r_1}, i_{r_2}, i_{r_3}$ 等ヲ $0 \sim 1, 1 \sim 2, 2 \sim 3, 3 \sim n$

間等ノランキン・サイクル熱, K ヲ全蒸氣消費量 kg/h, e_1, e_2, e_3 等ヲ抽出蒸氣ノ割合,

x_1', x_2', x_3', x_n' 等ヲ $1', 2', 3', n'$ 等ニ於ケル乾度小數, $\kappa_1', \kappa_2', \kappa_3'$ 等ヲ摩擦ナキ場合ノ

理論タービンニ於テ $1', 2', 3'$ 等ヨリ抽出スベキ蒸氣量 kg/h, e_1', e_2', e_3' 等ヲ摩擦ナキ

場合ノ理論タービンニ於ケル抽出蒸氣ノ割合, i_c ヲ全積加熱トスレバ

蒸氣抽出サイクルノ實際熱効率

$$\eta_{ac} = \eta_s \frac{i_c - \{i_{c_1} e_1 + i_{c_2} (e_1 + e_2) + i_{c_3} (e_1 + e_2 + e_3)\}}{i_0 - \sigma_1}$$

蒸氣抽出サイクルノ理論的熱効率

$$\eta_{rc} = \frac{i_r - \{i_{r_1} e_1' + i_{r_2} (e_1' + e_2') + i_{r_3} (e_1' + e_2' + e_3')\}}{i_0 - \sigma_1}$$

蒸氣抽出サイクルノ内部効率

$$\eta_{ie} = \eta_s \frac{i_c - \{i_{c_1} e_1 + i_{c_2} (e_1 + e_2) + i_{c_3} (e_1 + e_2 + e_3)\}}{i_r - \{i_{r_1} e_1' + i_{r_2} (e_1' + e_2') + i_{r_3} (e_1' + e_2' + e_3')\}}$$

蒸氣抽出サイクルノ熱効率改善

$$E = \frac{\eta_{ac}}{\eta_a} = \frac{i_0 - \sigma_n}{i_0 - \sigma_1} [1 - \{\lambda_1 e_1 + \lambda_2 (e_1 + e_2) + \lambda_3 (e_1 + e_2 + e_3)\}].$$

$$\text{但シ } e_1 = \frac{\kappa_1}{K} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{x_1 L_1}, \quad e_2 = \frac{\kappa_2}{K} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{x_2 L_2} - e_1 \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{x_2 L_2},$$

$$e_3 = \frac{\kappa_3}{K} = \frac{\sigma_3 - \sigma_n}{x_3 L_3} - (e_1 + e_2) \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{x_3 L_3}.$$

$$e_1' = \frac{\kappa_1'}{K} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{x_1' L_1}, \quad e_2' = \frac{\kappa_2'}{K} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{x_2' L_2} - e_1' \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{x_2' L_2},$$

$$e_3' = \frac{\kappa_3'}{K} = \frac{\sigma_3 - \sigma_n}{x_3' L_3} - (e_1' + e_2') \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{x_3' L_3}.$$

$$\lambda_1 = i_{c_1} / i_c, \quad \lambda_2 = i_{c_2} / i_c, \quad \lambda_3 = i_{c_3} / i_c.$$

以上ハ抽出蒸気ヲ給水再熱ノミニ用イク場合デアルガ實際ハ他ニモ等シク利用スルコトガ多イ。斯ノ如クスルトキハ更ニ熱効率ヲ改善シ得ルモノデアル。

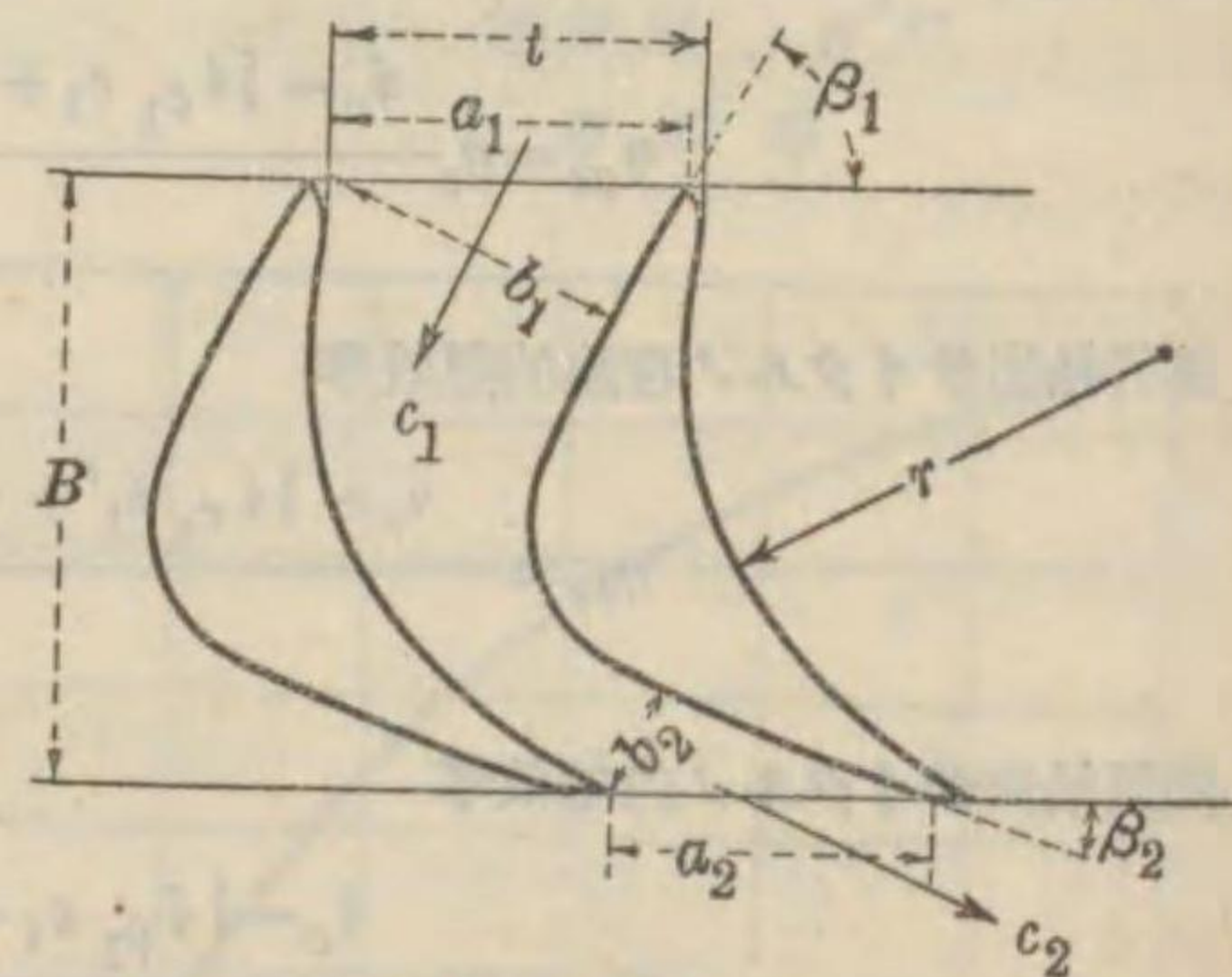
79. 羽根ノ大略寸法

第 73 節ノ如クシテ膨脹曲線ヲ求ムレバ凡テノ段落ニ於ケル蒸気状態及速度ヲ知ルコトガ出來ル。又第 74, 75 節ニヨツテ蒸気消費量ヲ求メ得ル故ニ此等ヲ用イテ羽根寸法ヲ定メルコトガ出來ル。

羽根通路ノ大サハ下ノ關係式ニテ求メラレル (第 49 圖参照)。

K = 蒸気量 kg/h, l = 半径方向ノ通路ノ長即チ羽根ノ長 mm, w = 蒸気ノ速度 m/s, c_1 = 羽根入口ニ於ケル蒸気速度 m/s, c_2 = 羽根出口ニ於ケル蒸気速度 m/s, a_1, a_2 = 羽根入口及出口ニ於テ通路ノ圆周方向ニ測リシ正味ノ幅 mm, b = 蒸気流ニ直角ノ方向ニ測リシ通路ノ幅 mm, b_1 = 羽根入口ニ於ケル幅 b ノ値, b_2 = 羽根出口ニ於ケル幅 b ノ値, v = 蒸気ノ比體積 m^3/kg , r = 羽根内側ノ曲率半径トスレバ

$$K = 0.0036 l b w / v. \quad b_1 = a_1 \sin \beta_1, \quad b_2 = a_2 \sin \beta_2.$$



第 49 圖

Briling = 依レバ b_1, b_2 ハ約 $r/2$ = 近キトキ效率最モヨク又 $\beta_1 = \beta_2$ ノトキ羽根ピッチ i ハ

$$i = \frac{r}{2 \sin \beta_1}$$

ガ最モヨイ。羽根長 l ハ大約ピッチ直径ノ 1.5~2% (衝動), 又ハ 3% (反動) トスルガ普通用イラル、最小値ハ第 49 表ニ示ス如シ。又ピッチ直径ヲ D トスレバ羽根長 l ノ最大ハ

$$l = \frac{D}{5} \sim \frac{D}{4}.$$

第 49 表 羽根長ノ最小値

又羽根ノ幅 B ハ t ガ 5~6 mm ノ時

$$B = (8 \sim 10) \text{ mm},$$

t ガ 14~16 mm 位ノ長キ羽根ノトキ

$$B = 25 \text{ mm}.$$

或ハ $t = B = l/12$ トスルコトモアル。

タービン容量 HP	羽根長 l ノ最小値 mm
100	4~6
1,000	10~15
10,000	20~25

羽根角 β_1 及 β_2 ハ $30^\circ \sim 35^\circ$ 位。Stodola = 依レバ反動タービンニテハ $\alpha_1 = \beta_2 = 25^\circ$ 位ヲ普通トシ最終段ニテハ $\alpha_1 = \beta_2 = 40^\circ \sim 50^\circ$ トスル。

80. 回轉羽根車ノ圓板摩擦損失

回轉羽根車ノ圓板摩擦損失馬力 N_d ハ D = 羽根車ノピッチ直径 m, l = 羽根ノ長 m, v = ピッチ圆周ニ於ケル羽根ノ圆周速度 m/s, v = 氣體ノ比體積 m^3/kg , ϵ = 全ピッチ圆周ニ對スル蒸気噴入部ノ長ノ割合, n = 羽根車ノ毎分回轉數トスレバ開放ノ場所ニテ回轉スル場合ニ對スル Stodola ノ式ハ

$$N_d = \lambda [\beta_1 D^2 + (1 - \epsilon) \beta_2 l^{1.5}] v^3 / 10^6 v.$$

爰ニ $\lambda, \beta_1, \beta_2$ ハ係數デアル。 $\beta_1 = 1.44, \beta_2 = 0.82$, 飽和蒸気ノ場合 $\lambda = 1.3$, 過熱蒸気又ハ空氣ノ場合 $\lambda = 1.0$.

實際タービンノ如ク適當ニ密封シタル場所内ニテ回轉スルトキハ以上ノ $1/4 \sim 1/2$.

多クノ羽根列ヲ有スル聯成速度衝動タービンノ圓板摩擦ニ對スル Forner 公式ハ

$$N_d = (1 - \epsilon) \beta D^4 l n^3 / 10^{10} v.$$

但シ l ハ 1~10 cm, β ハ係數ニシテ第 50 表ニ示サル、様ナ値デアル。

第 50 表

羽根列數	β
1	2.4
2	2.8
3	3.8

圓筒型反動タービン羽根車=於テハ $\epsilon=1$ ニシテ羽根車ノ回轉圓板損失ハ考ウル必要ハ無イ。

81. 反動タービンノ羽根間隙及蒸気漏洩

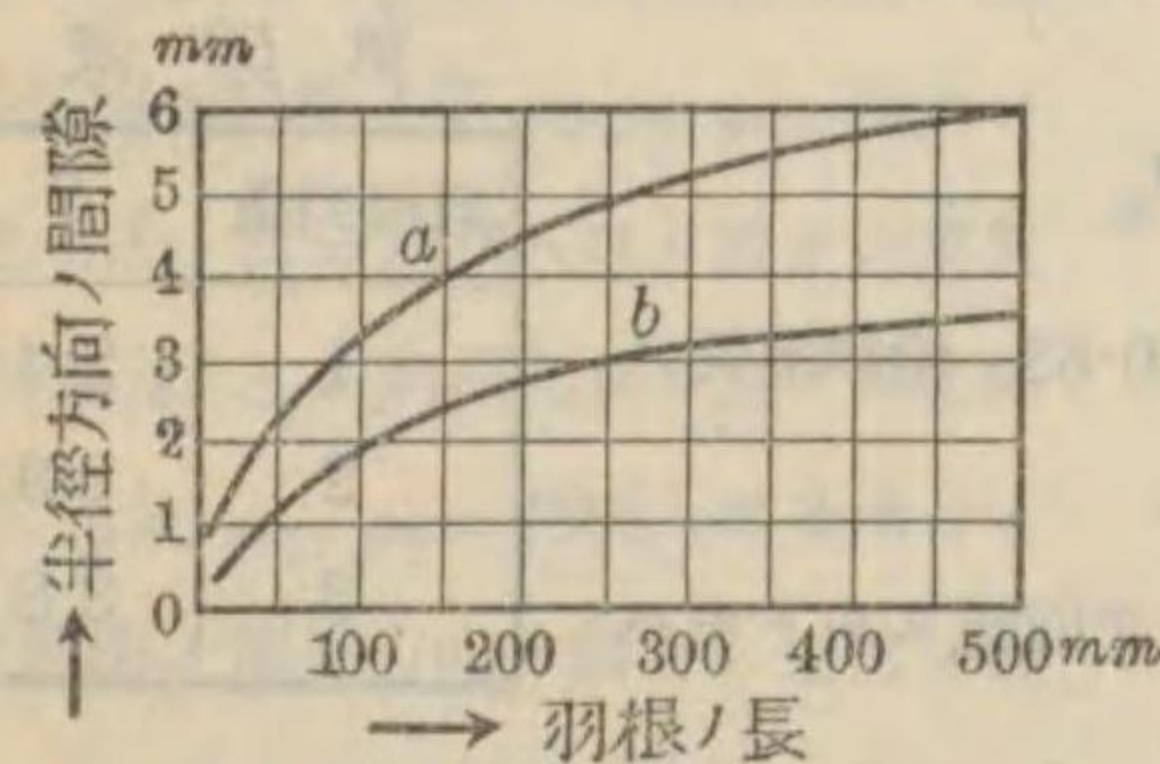
第 50 圖ハ半徑方向間隙, 第 51 圖ハ軸方向間隙ヲ示シ何レノ場合=於テモ K =全蒸気消費量 kg/h, K' =有効蒸気消費量 kg/h, β_2 =羽根ノ出口角度, c =間隙ノ幅 mm, l =羽根ノ長 mm, D =羽根ピッチ直徑 mm, D_c =間隙部ノ直徑 mm トスレバ

$$\delta = \frac{K'}{K} = \frac{1}{1 + \frac{c}{l \sin \beta_2}}$$

$$D_c = D + l.$$

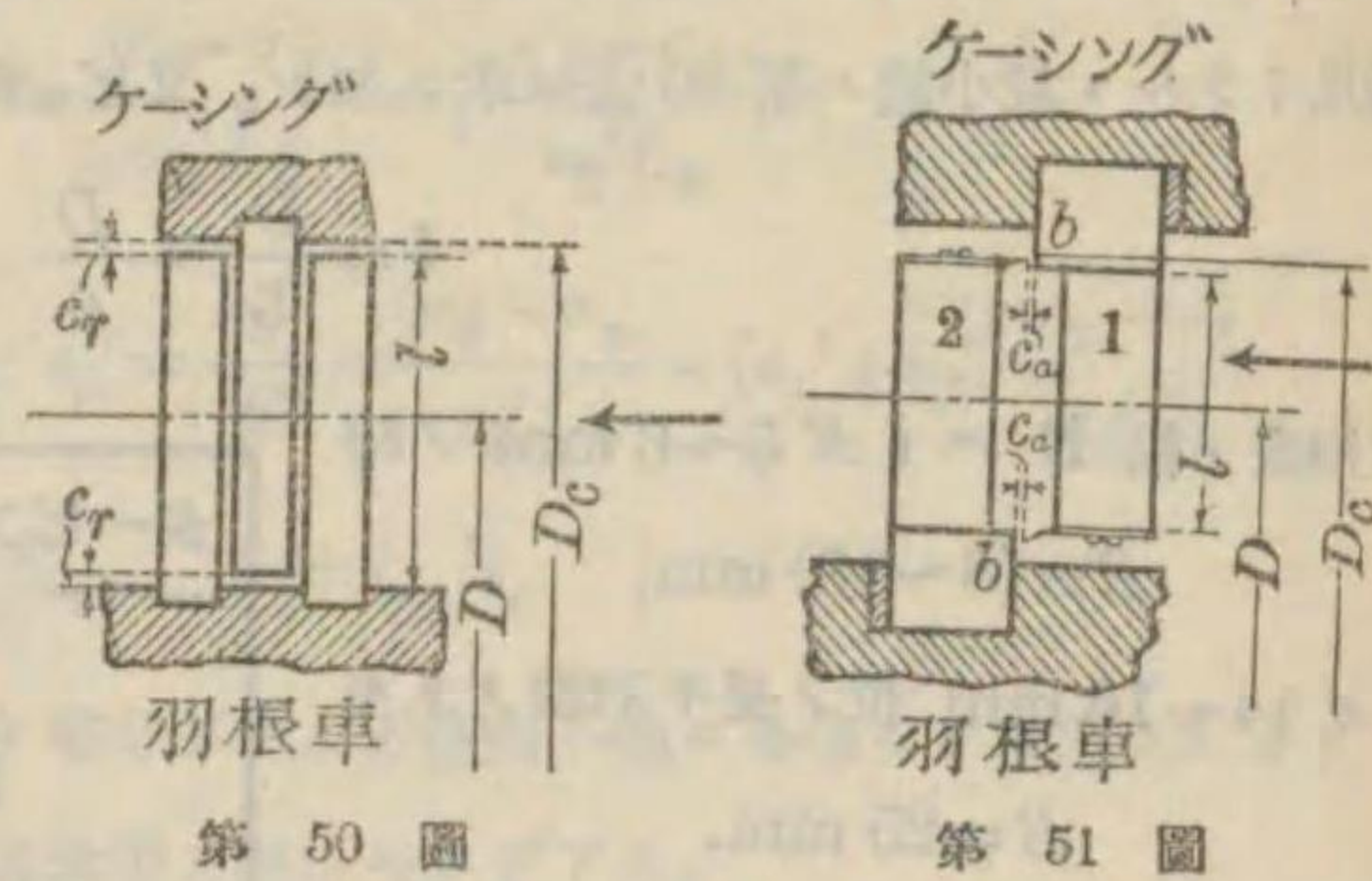
Speakman = ヨレバ半徑方向間隙 c_r mm ハ

$$c_r = \frac{1}{4} + \frac{D}{1500}.$$



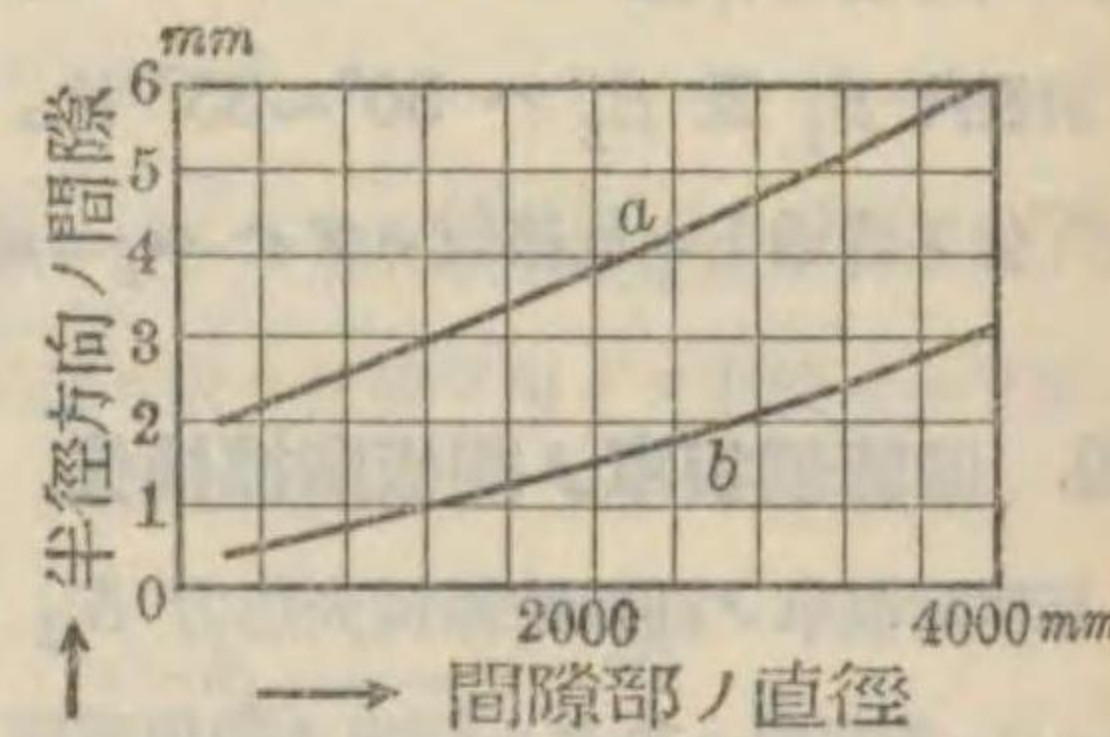
第 53 圖

軸方向ノ間隙 c_a mm ハ D = 無關係デアツテ小型タービン高壓部=於テハ $c_a=0.15$, 大型タービン=於テハ $c_a=0.20 \sim 0.40$ ガ普通デアル。又 c_r, c_a ハ第 52, 53, 54 圖 = 示ス如ク取ルモヨシ。

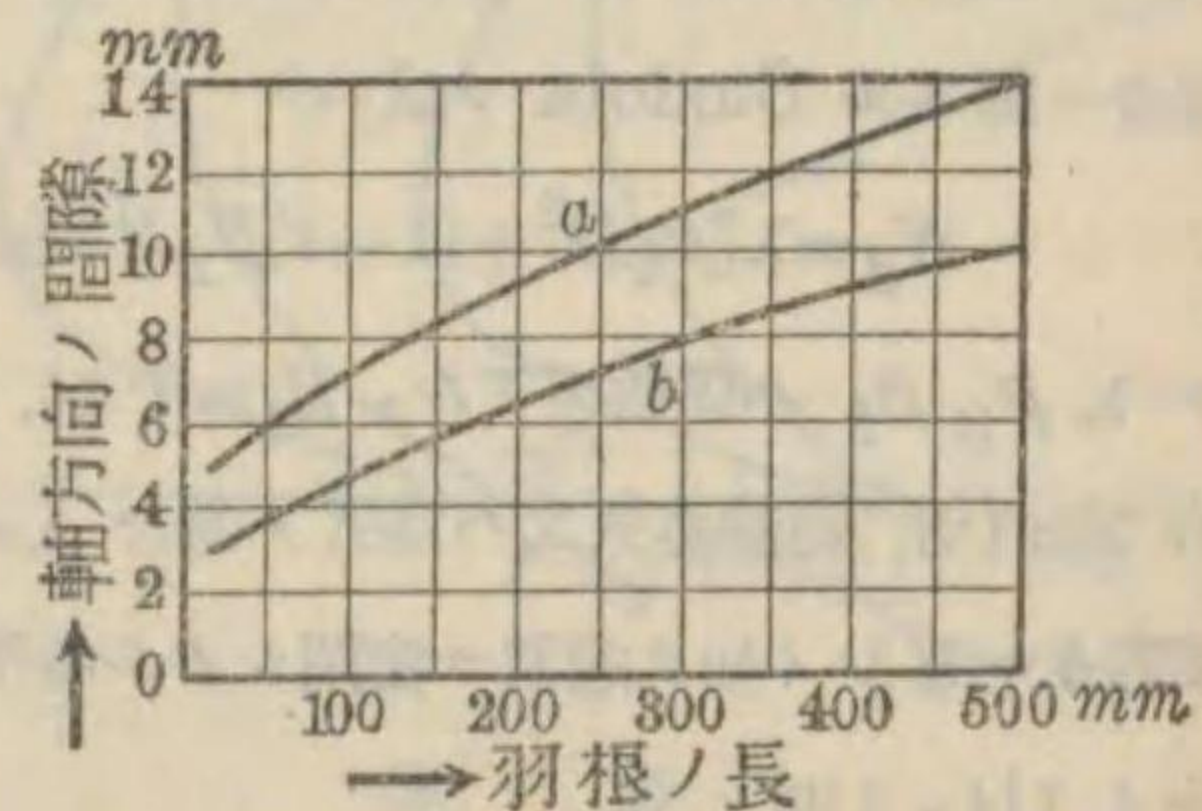


第 50 圖

第 51 圖



第 52 圖



第 54 圖

第 52 圖ノ曲線 a ハ羽根長クシテ壓力差小ナル時, b ハ羽根短クシテ壓力差大ナル時, 第 53 圖ノ曲線 a ハ D_c 大ニシテ壓力差小ナル時, b ハ D_c 小ニシテ壓力差大ナル時, 第 54 圖ノ曲線 a ハ羽根車圓筒長クシテ羽根ピッチ直徑大ナル時, b ハ羽根車圓筒短クシテ羽根ピッチ直徑小ナル時=對スルモノデアル。

82. ラビリンス漏れ止メノ蒸気漏洩

軸ノパッキング及衝動タービンノ隔板パッキング, 反動タービンノ壓力平均ピストン等ノラビリンス漏れ止メ=對シテハ P_1 =高壓側蒸気壓力 kg/m², P_2 =低壓側蒸気壓力 kg/m², z =ラビリンス間隙ノ數, f =漏レノ生ズル面積 m², v_1 =高壓側蒸気比體積 m³/kg トスレバ漏洩蒸気量 μ_l kg/h ハ

i. $P_2 > P_c = P_1 \times 0.85\sqrt{z+1.5}$ ノトキ $\mu_l = 3600 f \sqrt{g(P_1^2 - P_2^2) / z P_1 v_1}$.

ii. $P_2 \leq P_c = P_1 \times 0.85\sqrt{z+1.5}$ ノトキ $\mu_l = 3600 f \sqrt{g \left(\frac{P_1}{v_1} \right) (z+1.5)}$.

83. 残り速度ノ損失

最終段羽根ノ出口蒸気絶對速度ヲ w_l m/s トスレバ此残り速度=ヨル損失ノランキン・サイクル熱 i_r = 對スル割合 f_l ハ

$$f_l = \frac{A w_l^2}{2g i_r}$$

大型新式衝動タービン=テ $w_l = 230 \sim 250$ m/s = 達スルガ如キ場合=ハ $f_l = 0.03$ 位トナルガ多クハ蒸気抽出給水再熱サイクルヲ用ウル故 $f_l = 0.02$ 以下トナル。中型衝動タービン=テハ $w_l = 100 \sim 120$ m/s, 從ツテ $f_l = 0.01 \sim 0.015$. 又ドラバル・タービンノ如キ一段衝動型=テハ $w_l = 300$ m/s, 從ツテ $f_l = 0.04 \sim 0.05$ = モ達スル。

大型反動タービン=テハ $w_l = 180 \sim 220$ m/s, $f_l = 0.015 \sim 0.02$, 中型=テハ $f_l = 0.01$ 位デアル。

84. 排気通路及放散熱ニヨル損失

タービンノ最終段出口ヨリ復水器=至ル間=ハ幾分ノ壓力損失ガアル。排気通路中ノ蒸気速度ヲ w_e m/s トスレバ普通 $w_e = 60 \sim 100$ m/s. 之=ヨル損失ノランキン・サイクル熱 i_r = 對スル割合ヲ f_e トスレバ

$$f_c = \frac{Aw_c^2}{2gi_r}$$

ケーシング其他ヨリノ放散熱=ヨル損失ノランキン・サイクル熱 i_r = 對スル割合ヲ f_r トスレバ

$$\text{小型タービン} \quad f_r \approx 0.01,$$

$$\text{中大型タービン} \quad f_r = 0.007 \sim 0.005.$$

85. 多段衝動タービン略算式

i_c = 全積加熱 kcal/kg, ξ = 圓周速度比, D = 羽根ノピッチ直徑 m, n = 毎分回轉數
トスレバ單速度多段衝動タービンノ段數 z_i ハ

$$z_i = i_c \left(\frac{1748\xi}{Dn} \right)^2.$$

廣ガリノzzleヲ用イザル多段タービンノ最小段數ハ大約 $i_c/28$.

K = 全蒸氣消費量 kg/h, v_n = 最終膨脹後ノ蒸氣比體積 m^3/kg , l = 最終段羽根長 m,
 α = 最終ノzzle角度トスレバ衝動タービン最終段ノ羽根ピッチ直徑 D m ハ

$$D = C_i \sqrt[3]{\frac{\xi K}{n}}, \quad \text{但} \quad C_i = \sqrt[3]{\frac{v_n}{60\pi^2 \lambda \sin \alpha}}, \quad \lambda = \frac{l}{D}.$$

聯成速度衝動タービン=テハ羽根長 $l = (0.08 \sim 0.12) D$ トシ最終段=テ $l \leq 0.16 D$
トスル。又最終段=於テ l = 初メノ速度列ノ羽根入口長, l' = 終リノ速度列ノ羽根出口長,
 D' = ピッチ圓直徑トスレバ

$$D' = C' \sqrt[3]{\frac{\xi K}{n}}, \quad \text{但} \quad C' = C_i \sqrt{\frac{l'}{l}}.$$

86. 多段反動タービン略算式

全積加熱 i_c ヲ等シキ熱落差ヲ有スル 12~16 位ノ膨脹群=分チ各膨脹群=於テハ羽
根長サヲ大抵一定トスル。但シ最終膨脹群中ノ終リノ二三組ノ部分タービン=於テハ少シ
宛長クス。

圓筒型羽根車ヲ階段型トスルモノ=於テハ之ヲ 3~4 階段ノ大約等比級數的=増大スル

直徑=作り此等ヲ高中低壓部ト稱シ各部=通例下ノ如ク膨脹群ヲ配列スル。但シ新式ノモ
ノ=於テハ初メヨリ徐々=羽根ヲ長クシテ階段型羽根車ヲ用イナイ。

3 階段型 高壓部 3~4 群, 中壓部 3~4 群, 低壓部 6~8 群

4 階段型 高壓部 3 群, 中壓部 3 群, 次中壓部 3 群, 低壓部 6 群

一膨脹群内=テ圓周速度比 ξ ヲ一定=保ツトキハ羽根角ハ終リノ部分タービン=至ル
=從イ増大スベキモ角度ヲ一定トシ ξ ヲ漸時増大セシムルコトモアル。以下ノ略算=於テ
ハ ξ 及羽根角度ハ一群中ノ平均ヲ用イル。

羽根ノピッチ直徑 D m ハ v_m ヲ一群中ノ蒸氣ノ平均比體積 m^3/kg トスレバ衝動ノ
場合ト同様=

$$D = C_r \sqrt[3]{\frac{\xi K}{n}}, \quad \text{但} \quad C_r = \sqrt[3]{\frac{v_m}{60\pi^2 \lambda \sin \beta_2}}.$$

初段ノ圓周速度 $u = 60 \sim 110$ m/s, 圓筒型羽根車ノ最大表面速度 $u_a \approx 150$ m/s, 最終
羽根ノ最大圓周速度 $u_{\max} \approx 200$ m/s.

羽根ノ長 l mm ハ

$$l = \frac{0.169 K v_m \xi}{D^2 n \sin \alpha_1}.$$

各膨脹群ノ羽根長サハ大約等比級數的=増大スルヲ普通トスル。

各膨脹群ノ部分タービン段數 z_p ハ η_s = 段落效率, i_c = 全積加熱 kcal/kg, δ = 有效
蒸氣ノ比 (第 81 節), x = 膨脹群ノ數, α_1 = 羽根出口角トスレバ

$$z_p = \frac{427 g \eta_s i_c}{x \delta \left(\frac{2 \cos \alpha_1}{\xi} - 1 \right)}.$$

87. 羽根車軸ノ危險速度

通常ノ場合使用回轉速度ハ第一次危險速度 (167 頁及 310 頁参照) ノ約 30% 以下又ハ
以上=保ツ。但シ特別ノ場合=ハドラバル・タービン=於ケル如ク第一次危險速度ノ 7 倍
位ノモノモアル。第二次危險速度ヲ第一次危險速度ノ n 倍トシテ表ワセバ此係數 n ハ
軸ノ狀態=ヨリテ異ナリ均一ナ廣ガリ荷重アル斷面一様ノ軸=於テハ第 51 表ノ如キ値ヲ
有スル。

第 51 表

両端ノ状態	両端支持	両端固定	一端固定他端支持	一端固定他端自由
n	2^2	$(5/3)^2$	3.23	4.38

不規則ナル形状ノ軸ノ場合ニハ軸ヲ断面一様ト看做シテ差支ナイ様ナ多クノ部分ニ分チ各荷重 W ノアル断面ニ於ケル夫々ノ撓ミ δ ヲ圖式解法 (194 頁及 268 頁 参照) 等ニヨリ求メ次式ニヨツテ近似的ニ危険速度 ω_c rad/s ヲ求メル。

$$\omega_c = \sqrt{\frac{g \sum (W\delta)}{\sum (W\delta^2)}}$$

両端軸受ノ中間ニノミ主ナル荷重アル場合ハ上式ハ大約 1% 位マデ正シイ値ヲ與エル。更ニ眞ニ近イ値 ω_c' ヲ得ルタメニハ静止荷重 W ノ代リニ各荷重ガ夫々ノ撓ミニ相當スル半徑ヲ以テ角速度 ω_c ニテ回轉スル時ノ遠心力ガ荷重トシテ作用シク場合ノ各断面ノ撓ミヲ δ' トシテ次式ヲ用ウレバヨシ。

$$\omega_c' = \sqrt{\frac{g \sum (W\delta')}{\sum (W\delta'^2)}}$$

又 Baumam ノ實驗ニ依レバ危険速度ハ多クノ場合次式ニヨツテ表ワサレル。

$$\omega_c = \sqrt{\frac{g\beta}{\delta_{\max}}}$$

但シ δ_{\max} ハ軸ノ最大撓, $\beta = 1.07 \sim 1.08$ ナル係數デアル。

以上ノ諸式ハ羽根車及軸ノ断面ガ回轉シツ、常ニ軸受ヲ貫ク中心線ニ直角ヲ保ツモノト假定スル故軸受ニ近キ部ニアル羽根車ニハ此假定ハ正シクナイ。斯ノ如キ場合ニハ實際ノ危険速度ハ以上計算ノモノヨリモ少シ低イノガ普通デアル。

タンデム・タービン 及 發電機直結タービン等ニテ固定接手ヲ以テ羽根車ト發電機ト一體ト爲シタルトキハ此等全體ガ多數ノ軸受ニ支エラル、モノト考エ自由接手アルモノハ其點ニ於テ別々ニ考ウレバヨシ。

軸ニ羽根車又ハ發電機アーマチュア等ヲ固ク締付ケタ場合ニハ軸自身ノ断面ニ羽根車ノ轂又ハアーマチュアノ一部ガ加ワツテ軸ヲ強メルモノトシテ計算スル。

第 7 章 内 燃 機 關

88. 圖示馬力ト機械効率

p = 平均有效壓力 kg/cm², L = 行程 m, A = 気筒横斷面積 cm², n = 毎秒爆發回數 (單筒四サイクル型デハ毎秒回轉數ノ 1/2, 單筒二サイクル型デハ毎秒回轉數ニ等シイ。聯筒式デハ以上ニ筒數ヲ乗ジタモノ) トスレバ圖示馬力 N_i ハ次式ニテ表ワサレル。

$$N_i = npAL/75.$$

内燃機關ノ圖示馬力ハ理論上多ク用イラル、ガ實際デハ正味馬力ヲ採用スル。正味馬力 N_b ハ次ノ如ク計算スル。

$$N_b = \eta_m N$$

η_m ヲ機械効率ト云ウ。此値ハ機關ノ種類形式等ニモツテ異ナルガ全負荷ニテ四サイクルデハ 0.77~0.85, 二サイクルデハ 0.60~0.83 デアル。平均有效壓力 p ハ使用燃料及壓縮壓力ニ依ツテ異ナル。

89. 平均有効壓力ト壓縮壓力トノ關係

平均有効壓力ハ毎気筒馬力, 壓縮壓力ガ大トナルニ從イ稍大キクナル。次表ハ各種燃料ニ就キ平均有効壓力ノ標準値ヲ示シタモノデアル。

第 52 表 1 吸入瓦斯 (木炭或ハ無煙炭) ヲ燃料トスル場合ノ平均有効壓力

每 気 筒 馬 力	壓 縮 壓 力 kg/cm ²				
	7.0	8.1	9.2	10.2	11.3
10	3.9	4.2	4.6	—	—
25	4.2	4.6	4.9	5.3	—
50	4.6	4.9	5.3	5.6	5.6
100	4.9	5.3	5.6	6.0	6.0

第 52 表ノ2 燈油ヲ燃料トスル場合ノ平均有效壓力

每 氣 筒 馬 力	壓 縮 壓 力 kg/cm ²				
	4.6	5.3	6.0	7.0	8.1
5	3.5	3.9	4.2	4.6	4.9
10	3.9	4.2	4.6	4.9	5.3
25	4.2	4.6	4.9	5.3	5.6
50	4.6	4.9	5.3	5.6	6.0

第 52 表ノ3 揮發油ヲ燃料トスル場合ノ平均有效壓力

每 氣 筒 馬 力	壓 縮 壓 力 kg/cm ²				
	4.6	5.3	6.0	7.0	—
5	4.9	5.3	5.6	6.0	—
10	5.3	5.6	6.0	6.3	—
25	5.6	6.0	6.3	6.3	—
50	6.0	6.3	6.7	6.7	—

重油ヲ燃料トスルディーゼル機關ノ壓縮ハ 1 atm 以上平均 32~40 kg/cm² ヲ普通トスル。此場合ニ於ケル平均有效壓力ハ 6.3~7.7 kg/cm² デアル。以上ノ諸表ハ四サイクル式ノ値デアルガ二サイクル式ナラバ 20% 減トスル。

90. 壓縮比ト壓縮壓力トノ關係

氣筒内ノ給氣ノ壓縮ノ終リニ於ケル壓力ハ壓縮比ノ大小ニ依ツテ異ナル。而シテソノ公式ハ次ノ如クデアル。

$$p_c = p_i r^n$$

但シ p_i ハ壓縮ノ始メニ於ケル絶對壓力, p_c ハ壓縮ノ終リニ於ケル絶對壓力, r ハ壓縮比。 n ハ給氣ヲ空氣ノミト考エルトキハ 1.40 トスルガ實際ニ於テハ 1.35~1.38 ヲ標準値トスル。 p_i ハ吸気弁ノ大サ, ピストンノ平均速度等ノ關係ニ依リ 1 atm デナク 0.95~0.85 atm = 低下スル場合ガ多イ。又特殊設計ニ於テ氣筒内ニ過量給氣装置ヲ爲スモノデハ反對ニ 1.3~1.5 atm = 達スル場合ガアル。

91. 燃料ト壓縮壓力トノ關係

第 53 表 各種燃料ニ對スル壓縮壓力ノ平均標準値

燃 料	壓縮壓力 (ゲージニテ) kg/cm ²
揮發油 (気化式)	5.6~6.7
燈油 (気化式)	5.3~6.5
輕油 (ポンプ注油式即セミ・ディーゼル式)	10.0~12.5
アルコール (気化式又ハポンプ式)	9.0~11.5
重油 (セミ・ディーゼル式)	12.5~14.0
重油其ノ他 (ディーゼル空氣噴油式)	32.0~38.0
同 (ディーゼル機械噴油式)	28.0~32.0
同 (ディーゼル瓦斯噴油式)	33.0~40.0

設計上ノ方針ヨリ言エバ二サイクル式ハ四サイクル式ニ比シ壓縮壓力ヲ輕減スルヲ可トスルガ瓦斯漏洩ノ理由カラ實際デハ四サイクルト同一ノ壓縮ヲ行ウ。併シ大型ノ二サイクル式デハ壓力ヲ輕減スル。

92. 燃燒ニヨル氣筒内ノ壓力上昇

壓縮ノ終リデ爆發シテ上昇スル壓力ハ壓縮比ト燃料ノ種類等デ異ナル。例エバ瓦斯機關ニ於テ最高 32 kg/cm² = 達スル場合モアルガ最も普通ノ狀態デハ 18 kg/cm² ノ爆發ガ適當ト考エラレル。次表ハ壓縮壓力以上ニ實際ニ上昇スル壓力ヲ示ス。

第 54 表 氣筒内ノ燃燒ニヨル上昇壓力 (壓縮壓力以上 kg/cm²)

壓縮比	石炭瓦斯	揮發油	燈油	壓縮比	天然瓦斯	壓縮比	發生器瓦斯	壓縮比	熔鑄爐瓦斯
4.0	10.3	13.7	11.8	5.0	13.5	6.0	15.8	7.0	14.8
4.2	11.0	14.6	12.6	5.2	14.2	6.2	16.5	7.2	15.3
4.4	11.7	15.5	13.4	5.4	14.8	6.4	17.1	7.4	15.8
4.6	12.3	16.5	14.2	5.6	15.5	6.6	17.7	7.6	16.3
4.8	13.0	17.4	15.0	5.8	16.2	6.8	18.4	7.8	16.8
5.0	13.7	18.3	15.8	6.0	16.9	7.0	19.0	8.0	17.3

93. ピストン平均速度

L = 行程 m , n = 毎秒回轉數トスレバピストン平均速度 S m/s ハ

$$S = 2Ln.$$

S ハ機關ノ種類形式ニヨリテ種々異ナルガ此ノ値ガ大キイ程形骸ノ割合ニ出力増大スルガ故ニ近來増加ノ傾ガアル。次ニ各種内燃機關ノピストン平均速度ヲ示ス。

用 途		容 量	ピストン平均速度 m/s
陸 用 及 船 用	小 型	50 HP 以内	3.0~3.5
	中 型	50~500 HP	3.8~4.3
	大 型	500~5,000 HP	4.1~4.7
航 空 用		100~1,000 HP	9 ~14
自 動 車 用		7~70 HP	5 ~15

94. 熱 勘 定

次表ハ各種中型機關ノ熱勘定ノ平均値ヲ示ス。

機 關 種 類	使用燃料	正 味 熱効率 %	機械的 諸損失 %	水 ジャ ケットへ %	廢 気 其他へ %
瓦 斯 機 關	石 炭 瓦 斯	28	7	29	36
石 油 機 關 (四サイクル)	燈油又ハ輕油	25	8	28	39
石 油 機 關 (燒玉二サイクル)	重 油	26	13	30	31
自 動 車 用 機 關	揮 發 油	22	7	35	36
航 空 發 動 機	揮 發 油	26	7	27	40
ディーゼル機關(四サイクル)	重 油	33	9	33	25
ディーゼル機關(二サイクル)	重 油	30	10	34	26

95. 體 積 効 率

一吸込行程ニ於テ気筒内ニ吸込マレル給気ヲ $15^{\circ}C$, 1 atm ニ換算シテ體積トピストン行程容積 V トノ比ヲ體積効率ト云ウ。體積効率ノ大ナル程一サイクルニ於ケル有效仕事

ハ増大スル。 D ヲ気筒内徑, L ヲピストン行程トスレバ $V = \pi D^2 L / 4$.

機 關	弁開閉ノ方式	吸入行程ノ終リニ 於ケル絶對壓力 kg/cm^2	體 積 効 率
低 速	機 械 開 閉 式	0.88~0.95	0.87~0.90
高 速	同	0.80~0.85	0.78~0.83
低 速	自 動 開 閉 式	0.85~0.90	0.80~0.85
高 速	同	0.78~0.83	0.65~0.75

96. 體積効率ト高度トノ關係

機關ノ體積効率ハ海面ニ於ケルモノヲ η_v トスレバ海面上 H m ノ高處ニ於ケル體積効率 η'_v ハ次ノ略式デ表ワサレル。

$$\eta'_v = (1 - 2.26 \times 10^{-5} H)^{4.253} \eta_v.$$

海面上 $3,000$ m ノ高處デハ體積効率ハ $0.7\eta_v$ 即チ海面上ニ比シテ 30% ノ減少デアル。

97. 自動車用揮發油機關ノ正味馬力起算平均有効壓力

實用上ニハ圖示馬力ヨリモ正味馬力ガ必要デアルカラ圖示馬力ト同様ニ次ノ如キ形デ正味馬力 N_b ヲ計算スルヲ慣例トスル。

$$N_b = np_b AL / 75.$$

此ノ場合ニ於ケル p_b ハ η_{mp} = 當リ實驗上定ムベキ値デ之ヲ正味馬力起算平均有効壓力ト云ウ (561頁参照)。之ニ關シテハ次ノ如キ公式 (Callendar 公式) ガアル。

$$p_b = 6.96 \left(1 - \frac{25.4}{D} \right) kg/cm^2, \quad \text{但シ } D = \text{気筒内徑 } mm.$$

98. ニサイクル・ボリンダー型石油機關ノ気筒内徑ト正味馬力

我國デ製作スルボリンダー型石油機關ハピストン平均速度 $3.3 \sim 3.7$ m/s デ統計ニヨレバ気筒内徑ト正味馬力トノ關係ハ次ノ如クデアル。

一気筒當リ正味馬力	15	20	25	30	35	40
気筒内徑 mm	220	240	263	287	310	330

二サイクル・ボリダー型石油機関ノクランク室内ニ於ケル最大ゲージ壓力ハ 0.28~0.56 kg/cm² デ重量ハ同馬力ノ四サイクル機関ノ約 70% = 當ル。

99. ディーゼル機関ノ高速ト低速

此ノ分類ハ未ダ確定シナイガ Chalkley = ヨルト次ノ如クデアル。

ディーゼル機関型式	用 途	毎分回轉數
四サイクル 低 速	陸 用	140~190
同 高 速	陸 用	200~400
同 低 速	船 用	100~160
同 高 速	船 用	300~500
二サイクル 低 速	陸用或ハ船用	90~150
同 高 速	陸用或ハ船用	300~450

ピストン平均速度デ分類スレバ低速ハ 3~4 m/s, 高速ハ 4~5 m/s.

100. 各種内燃機関燃料及潤滑油消費量

1. 全負荷ニ於ケル毎馬力時燃料消費量ハソノ機関ノ設計, 工作ノ程度ニヨルコトバ勿論デアツテ之ヲ斷定スルコトハ甚困難デアルガ次ニ舉ゲルノハソノ標準値デアル。

- i. 同型式機関デハ毎正味馬力時燃料消費量ハ気筒ノ大サヲ増スニ從イ僅ニ減少スル。
- ii. 適當ニ設計セラレタ内燃機関ハ次ノ如キ燃料消費量ヲ有スル。

機 關 種 類	燃 料	毎正味馬力時消費量
ディーゼル機関	重 油	180~220 g
セミ・ディーゼル機関	重油又ハ輕油	260~310 g
農業用小型石油機関	燈 油	320~360 g
自動車オートバイ用揮發油機関	揮 發 油	260~350 g
航空機用揮發油機関	揮 發 油	200~350 g
瓦 斯 機 關	瓦 斯	2,300~2,800 kcal
木 炭 瓦 斯 機 關	木 炭	400~550 g

正味馬力 14, 壓縮比 5.9 程度ノ機関ニ燃料トシテエチル・アルコールヲ使用シタル場合全負荷ニ於ケル燃料消費量 87.2% アルコール(アルコール 87.2%, 水 12.8%)ハ毎馬力時 450g, 79.1% ノアルコールハ 390g, アルコール 90.9%+ベンゾール 9.1%

ハ 440g トナツタ例ガアル。壓縮比 8.9 ノ機関ニ於テハ全負荷ニ於ケル消費量 86.1% ノアルコール 370g ノ例モアル。アルコールハ有毒飲料ノ形ニ化シテ燃料ニ使用スル。例エバ エチル・アルコール(水 10% 含有) 100+メチル・アルコール(水 10% トアセトンノ少量ヲ含ム) 10+ベンジン 0.5 ニシテ 15°C ニ於ケル比重 0.833 ノモノ等ノ一例デアル。

- 2. 無負荷ニ於ケル毎時燃料消費量ハ同一回轉速度ニ於テ全負荷ニ於ケル毎時燃料消費量ノ 1/4~1/5 = 當ル。
- 3. 定積調速法ニ於テハ毎時燃料消費量ハ正味馬力ノ一次式デ表ワスコトガ出來ル。
- 4. 變積調速法ニ於テハ毎時燃料消費量ハ正味馬力ノ二次式デ表ワスコトガ出來ル。
- 5. ディーゼル機関ニ於テハ(2)及(3)ノ性質ヲ適用シ得ル。
- 6. 無負荷及過負荷ノ場合ニハ上項ニヨル値ヨリモ實際ノ値ノ方ガ大キイ。
- 7. 毎正味馬力時シリンダー油消費量ハ 0.33~0.55g, 機械油ハ其半分ヲ標準トスル。

101. 正味馬力ト機関ノ大サ

機関ノ全負荷正味馬力ハ設計, 工作等デ異ナルコト勿論デアルガ次ニ示ス式デソノ標準値ヲ知ル事ガ出來ル。全負荷正味馬力トハ特殊ノ場合ヲ除キ此ノ出力デ 6時間繼續運轉ヲ爲シ續イテ 10% 増ノ過負荷デ 30 分間繼續運轉シテ何等故障ナキ最大負荷デアル。之ヲ N_b 馬力トスレバ

$$N_b = mp_b AS / 75.$$

爰ニ A = 気筒斷面積 cm^2 , S = ピストン平均速度 m/s , m = 係數(單働四サイクルデハ気筒數ノ 1/4, 單働二サイクルデハ気筒數ノ 1/2), p_b = 正味馬力起算平均有效壓力 kg/cm^2 .

p_b ノ値ヲ次表ニ示ス。

機 關 種 類	正味馬力起算平均有效壓力 p_b kg/cm^2
ディーゼル機関(四サイクル)	4.2~4.9
同 (二サイクル)	3.8~4.4
セミ・ディーゼル機関(二サイクル)	3.5~4.2
農業用小型石油機関	3.9~4.3
揮發油機関	4.6~5.8
瓦斯機関	4.9~5.8

102. 自動車公稱馬力

R.A.C. (Royal Automobile Club) 公式 (1906)

$$\begin{aligned} \text{毎気筒公稱正味馬力} &= 0.40 D^2, & \text{但 } D &= \text{気筒内径 in,} \\ &= 0.00062 D^2, & \text{但 } D &= \text{気筒内径 mm.} \end{aligned}$$

此式ハ A.L.A.M. (American Licensed Automobile Manufactures Association) 公式若クハ N.A.C.C. (National Automobile Chamber of Commerce) 公式トモ稱シ、ピストン平均速度 5m/s ト假定シテ計算デアル。吾警視廳交通課ニ於ケル自動車出馬力略式計算モ上式ニヨルコトニナツテ居ル。但シ上式ハ單ニ課税ノ標準トスルヲ目的トシテ定メタ公式デアル。

103. 航空發動機ノ正味馬力*

D ヲ気筒内径 mm, S ヲピストン平均速度 m/mn トスレバ航空發動機ノ毎気筒當リ正味馬力 N_0 ハ次式ニヨツテ表ワサレル。

$$N_0 = a D^2 S \times 10^{-6}.$$

爰ニ a ハ機關ノ型式ニヨツテ異ナル係數デアツテソノ値ヲ次表ニ示ス。

機關型式	豎型, V型	星型	回轉型
a	3.4	3.1	2.4

104. 地形ノ大サ

コンクリート(體積デセメント1, 砂3, 砂利6) 地形ヲ可トシ其大サハ次ノ標準ニ據ル。地形基礎ノ重量ハ單筒横型ディーゼル機關デハ一正味馬力當リ 900 kg, 豎型ディーゼル機關デハ二聯筒ハ一正味馬力當リ 800 kg, 三聯筒ハ一正味馬力當リ 600 kg, 四聯筒ハ一正味馬力當リ 500 kg トスル。(但シコンクリート 1 m³ ノ重量ハ約 2,300 kg) 地形ノ深サハ気筒内径ノ 5 倍以上トシ、特ニ土質ノ軟イ場所デハ震動軽減ノ爲以上ノ値ノ約 2 倍トスル。又地形ノ周圍ニ幅 20~30 cm ノ溝ヲ掘リ木鋸屑或ハ之ニ類スル物ヲ填充シテ震動傳播ヲ防グ。但シ此ノ溝ニ水ノ溜ルコトヲ避ケネバナラス。

石油機關, 瓦斯機關ノ地形ノ大サハ同一馬力ノディーゼル機關地形ノ約 70% トスル。

* 機械學會誌第 28 卷, 第 101 號杉本氏論文ニヨル。

105. 小型瓦斯及石油機關ノ寸法

下記ノ寸法ハ気筒内ノ最高壓力 $p = 28 \text{ kg/cm}^2$ ヲ標準トシテモノデアル。

1. 気筒 普通鑄鐵製デアル。 t = 内筒ノ厚 mm, t' = 外筒ノ厚 mm, s = 水ジャケットノ隙間(即チ内外兩筒間ノ隙間) mm, D = 気筒内径 mm トスレバ

$$\begin{aligned} t &= 0.06 D + C, & t' &= (0.6 \sim 0.7)t, \\ s &= (2 \sim 3)t & \text{又ハ} & s = 0.2 D. \end{aligned}$$

C ハ定數ニシテ 5~7, 之ハ永キ使用後ノ再削ニ對スル餘裕デアル。上式ニ於テハ許シ内力 180 kg/cm^2 ト見テアル。

気筒ヲ架構ニ取付ケルボルト或ハ気筒蓋ボルトハ軟鋼製トシ其ノ數

$$n = (0.016 \sim 0.024) D + 4$$

トシテ通例此ノ式ノ値ニ近イ 4 又ハ 6 ノ倍數ヲ選定スル。又ボルトネチ底ノ横斷面積 $F \text{ mm}^2$ ハ次式ニヨツテ計算シ常用内力 f ハ $3.5 \sim 4.2 \text{ kg/mm}^2$ トスル。

$$F = \frac{\pi D^2 p}{4 n f}.$$

2. ピストン 鑄鐵製ノトランク・ピストンヲ普通トスル。ピストン全長

$$L = (1.5 \sim 2.5) D.$$

ピストン・ピンノ位置ハピストン頭ヨリ $(0.55 \sim 0.65)L$ トスル。

t_1 = ピストン頭ノ肉厚 mm, t_2 = ピストン圓筒部ノ最大肉厚 mm, t_3 = ピストン先縁ノ厚 mm, C_1 = ピストン・リング溝ノ深 mm, s_1 = ピストン・リングノ厚 mm トスレバ

$$\begin{aligned} \text{平面ノ場合} & & t_1 &= 0.09 D. \\ 2D \text{ ヲ半徑トスル球面ノ場合} & & t_1 &= 0.075 D. \end{aligned}$$

$$t_2 = D/30 + C_1, \quad C_1 = s_1 + (1 \sim 1.5).$$

$$t_3 = (1/2 \sim 1/3)t_2.$$

又先縁ダケ特ニ強クスル爲ニソノ部ノ斷面ヲ t_2 角ニスル。上記ノ式ニ於テハ許シ内力ヲ 230 kg/cm^2 ト見テアル。

ピストン頭部ノ直径ハ膨脹ヲ考慮シテ気筒内径ヨリ $3D/1000$ ダケ小サクシ此所ヨリ終リノピストン・リング溝ニ到ル間ヲ圓錐形ニ削ル。コノ部分ヨリ先ノ圓筒部ノ直径ハ気筒内径ヨリ $(1 \sim 1.5)D/1000$ ダケ小サクスル。

3. **ピストン・リング** 通常鑄鐵製同厚ノリング 4~7 本ヲ用イ、リングノ幅ハ小型ノモノニ於テハ 5~12 mm, 中型ノモノニ於テハ 12~19 mm トスル。気筒内面ニ對スルリングノ壓力ハ何レノ部分ニ於テモ同一ナルヲ理想トシ其ノ強サハ 0.25~0.35 kg/cm² ヲ適當トスル。ピストン・リングノ肉厚ハ 0.03D ヲ標準トシ、切截ハ 0.08D. リングト溝トノ間隙ハ 0.025~0.05 mm トスル。リングヲ気筒内ニ張ツタ場合ニ圓周方向ノ間隙ハ (0.002~0.005) D トスル。特ニピストン頭ヨリ第一番目ノリングハ間隙ヲ以上ノ約 2 倍ニスル。

4. **ピストン・ピン** 通常軟鋼製デ表面硬化ヲ施ス。 d_1 ヲピストン・ピン直径トスレバ
 小型機關 $d_1 = (0.25 \sim 0.3) D,$
 大型機關 $d_1 = (0.3 \sim 0.35) D.$

ピストン・ピン受壓部ノ長ハ (0.3~0.4) D ヲ標準トスル。

5. **クランク軸** 軟鋼製ヲ普通トシ其材料ハ結局引張強サ = 5,000 kg/cm², 彈性界限 = 2,500 kg/cm², 伸張率 = 23% (直径 12.7 mm, 長 51 mm = 於テ), 横斷面收縮率 = 40% ヲ標準トスル。クランク軸直径ハ (0.3~0.4) D. クランク・ピンノ直径ハクランク軸ニ等シキカ或ハ其ノ 10% 増トスル。

クランク・アームノ寸法ハ b = 軸ノ方向ノ幅, h = 軸ニ直角ナル方向ノ幅トスレバ

$$b = (0.25 \sim 0.32) D, \quad h = (0.45 \sim 0.64) D.$$

ロイド公式 平水航路用船用石油機關ノクランク軸直径 d_2 mm ハ軟鋼製ノ場合ニハ次ノ公式デ算定セラル、値ヨリモ小ナラザルコトヲ要スル。

$$d_2 = C \sqrt[3]{D^2 L}.$$

爰ニ D = 気筒内徑 mm, L = 行程 mm, C ノ値ハ次表ノ如シ。

四サイクル	二サイクル	二軸受間 = 一クランクノ時	二軸受間 = 二クランクノ時
1~4 気筒	1~2 気筒	$C = 0.34$	$C = 0.38$
6 気筒	3 気筒	$C = 0.36$	$C = 0.40$
8 気筒	4 気筒	$C = 0.38$	$C = 0.425$
12 気筒	6 気筒	$C = 0.44$	$C = 0.49$

但シ外洋航路ニハ上表ノ $C = 0.02$ ヲ加エル。又特種材料ヲ用イタル場合ニハ上表ノ C ノ値ヲ減ジ得。

中間軸又ハプロペラー軸ノ直径 d_3 mm ハ次式ニヨツテ算出セラレル。

$$d_3 = C_1 \sqrt[3]{D^2 L (n+3)}.$$

但シ n ハ四サイクルデハ気筒數, 二サイクルデハ気筒數ノ 2 倍トスル。 C_1 ノ値ヲ次表ニ示ス。

軸ノ種別		平水航路用	外洋航路用
中間軸		$C_1 = 0.155$	$C_1 = 0.165$
プロペラー軸	連続セルライナーヲ取付ケタルモノ	$C_1 = 0.170$	$C_1 = 0.180$
	連続セゼルライナーヲ取付ケタルモノ又ハライナーナキモノ	$C_1 = 0.180$	$C_1 = 0.190$

6. **受壓面積** 主軸受, クランク・ピン及ピストン・ピンデハ之ニ加ワル最大總壓力ヲ投射受壓面積 (軸直径×長) デ除シタモノヲ次表ニ示ス單位投射面積當リ最大許容壓力以下ニスル。

第 55 表 單位投射面積當リ最大許容壓力 kg/cm²

受 壓 面	小 型 機 關		大 型 機 關	
	重キ型	輕キ型	重キ型	輕キ型
主 軸 受	30	40	30	40
ク ラ ン ク ・ ピ ン	180	170	90	130
ピ ス ト ン ・ ピ ン	170	240	130	170

ピストン・ピン, クランク・ピン又ハ主軸ニ加ワル最大總壓力ハ低速機關デハ仕事行程ノ第一死點ニ於ケル爆發力ト看做シテ $(\pi/4) D^2 p$ kg ($p = 0.28$ kg/mm²) トスルガ高速ノモノデハ之ヨリ往復運動部分ノ慣性力 $3.0 \times 10^{-6} G n^2 r$ ヲ減ジタ値トスル。但シ G = (往復運動部分ノ重量) + (連桿重量ノ 40%) kg, n = 毎分回轉數, r = クランク半径 mm.

7. **釣合錘** W_b = 釣合錘ノ全重量 kg, r_1 = 釣合錘ノ重心ト軸中心線トノ距離 mm, W_c = 連桿ノ重量ノ 60%, クランク・ピン及兩アームノ重量ノ和 kg, W_p = 連桿ノ重量ノ 40%, ピストン・ピン及之ニ附屬スルモノノ重量ノ和 kg トスレバ

$$W_b r_1 = 0.7 (W_c + W_p) r.$$

8. **連 桿** 軟鋼製ヲ普通トスル。連桿ノ長(ピストン・ピン及クランク・ピン兩軸線ノ

距離)ハ通常クランク半径ノ4.5~5倍トスル。 d_4 =圓形断面ヲ有スル連桿ノ中央ニ於ケル直径 mm, D =気筒内径 mm, l =連桿ノ長 mmトスレバ

$$d_4 = \sqrt{Dl/46}$$

通常ピストン=近イ部分ハ0.9 d_4 , クランク・ピン=近イ部分ハ1.1 d_4 トスル。或ハ直径 d_4 ノ圆柱=設計スル場合モ多イ。断面矩形ノ場合=ハ b =クランク軸=平行ナル幅 mm, h =クランク軸=直角ナル幅 mmトスレバ

$$b = \sqrt{Dl/100}, \quad h = (1.7 \sim 2)b$$

通常ピストン=近イ部分ハ0.9 h , クランク=近イ部分ハ1.1 h トスルガ b ハ變エナイ。

9. ハズミ車 通常鑄鐵製トシソノ輪周速度ハ30 m/sヲ限度トスルガ鑄鋼製デハ50 m/sマデニシテ差支ナイ。

W =ハズミ車輪周ノ重量 kg, D =輪周横断面ノ重心ニ於テ測レルハズミ車ノ直径 m, δ =(最大角速度-最小角速度)/平均角速度, n =毎分回轉數, N_b =正味馬力, K =機關ノ型式ニ依ツテ定マル定數トスレバ

$$W = KN_b / \delta D^2 n^3$$

四サイクル機關=對スル K ノ値ヲ下表ニ示ス。二サイクル機關=於テハコノ60%トスレバ宜シ。

気筒數	1	2	4
K	45×10^6	21×10^6	7×10^6

δ ノ値ハ用途ニヨリ大體下表ニ示ス範圍内ニアル様ニスル。

用 途	δ
機械工場, 木工場, 製粉工場, 精米工場 農業用機械運轉, ポンプ運轉	$\frac{1}{30} \sim \frac{1}{40}$
織機, 發電機	$\frac{1}{90} \sim \frac{1}{120}$
紡績機, 發電機平行運轉	$\frac{1}{200} \sim \frac{1}{250}$

ハズミ車全重量ハ通常輪周重量ノ1.3~1.4倍ニ當ル。

10. 給気弁, 排気弁 通常鋼製ナルガ排気弁ニ於テハ其ノ頭部ヲ鑄鐵製トスルコトガ

アル。弁ガ塞グ圓孔ノ内徑ヲ弁ノ直径ト云ウ。 D_i =給気弁ノ直径 mm, S =ピストン平均速度 m/s, w =弁ヲ通過スル瓦斯ノ平均速度 m/sトスレバ

$$D_i = 1.1D\sqrt{S/w}$$

w ノ値小型機關ニ於テハ30~40 m/s, 大型機關ニ於テハ40~50 m/sトスル。弁莖ノ直径ハ約0.2 D_i , トシ弁頭ノ直径ハ約1.15 D_i トスル。排気弁口ノ直径ト給気弁口ノ直径ハ同大ニスル。

t =弁頭肉厚 mm, p =最大壓力 kg/cm², r =弁座ノ平均半径 mm, f =材料ノ許シ内力 kg/cm²トスレバ

$$t = \sqrt{kr^2 p / f}$$

k ノ値鋼ニ對シテハ0.75, 鑄鐵ニ對シテハ1.2, f ノ値鋼ニ對シテハ400 kg/cm², 鑄鐵ニ對シテハ200 kg/cm²。以上ハ機械開閉式ノ場合ノ値デアアルガ吸揚ゲ吸気弁ノ如キ自動開閉式ノ場合ニハ弁頭肉厚ハ上式ノ0.8倍トスル。弁ノ揚程ハ弁ノ直径ノ1/4トスルガ高速ノモノデハ之以下ニスル。弁座ノ面ハ通常頂角120°ノ圓錐トスルガ90°トスル場合モアル。高速ノモノデハ弁座ヲ平面ニスルコトガアル。

弁ノ開閉ハ通常死點ニ於テセズ, 機關ノ型式, 回轉速度ニヨツテソノ時期ヲ異ニスル。給気弁ハ20°早ク開キ30°遅レテ閉ジ, 排気弁ハ50°早ク開キ10°遅レテ閉ズルガ如キハソノ一例デアアル。

11. カム 弁開閉用カム及ローラーハ通常軟鋼製デ表面硬化ヲ施ス。其ノ接觸線ニ受ケル力ハ1 cmニ付180 kg以下トシ接觸速度ハ60 m/mn以下トスル。

12. 冷却水 水量ハ全負荷デ毎正味馬力時23 kgヲ標準トスル。コノ水量ニヨレバ排水ハ給水ヨリモ温度約20°C上昇スルコトナル。排水ノ温度ハ50°Cヲ標準トシ65°Cヲ超エテハナラヌ。蒸發式冷却デハ以上ノ水量ノ約1/50ニテ足ル。

13. 廢气管 廢气管ノ直径ハ排気弁口ノ直径ノ1.5~1.75倍トスル。

106. 小型ディーゼル機關正味馬力略算式

L =行程 mm, A =ピストン面積 cm², n =毎分回轉數, N_0 =一気筒當リ發生正味馬力トスレバ

$$\text{單働四サイクル} \quad N_0 = 5.8 \times 10^{-7} nLA$$

$$\text{單働二サイクル} \quad N_0 = 10.2 \times 10^{-7} nLA$$

107. 小型ディーゼル機関ノ寸法

気筒内ノ最高壓力ハ 30~40 kg/cm² デアルガター油ヲ使用スル高速機関ノ如キ特別ノ場合ニハ 50 kg/cm² ニモ昇ル例ガアル。下記ノ寸法ハ 35 kg/cm² ヲ標準トシテ値デアル。

1. 気筒 内筒ト外筒ヲ一個ノ鑄物トスル気筒ハ緻密ナル鑄鐵製ヲ普通トシ結局引張強サ 2,700 kg/cm² 以上, 常用引張内力 225~250 kg/cm² ヲ標準トスル。内筒ヲ鑄鐵製ライナートスルモノデハ其ノ結局引張強サ 2,400~2,800 kg/cm² ヲ要スル。

D = 気筒内徑 mm, D_1 = 外筒ノ平均直徑 mm, t_1 = 内筒厚 mm, t_2 = 外筒厚 mm トスレバ

$$t_1 = 0.07D + C.$$

C ハ定數ニシテ 5~6, 通常内徑約 380 mm 以上ノ内筒ノ厚ハ気筒蓋ヲ遠ザカルニ從イ次第ニ薄クナル。内筒ニライナート用イル場合ニハ外筒ガ軸方向ニ張力ヲ受ケルカラソノ常用内力ヲ 100 kg/cm² トシ次式ニヨツテ厚ヲ算定スル。

$$t_2 = 0.09 D^2 / D_1.$$

水ジャケットノ厚ハ (2~2.5) t_1 , 濁水又ハ硬水ヲ使用スル場合ニハナル可ク廣クスルコトヲ要スル。

2. 気筒内徑ト行程ノ割合 通常行程ヲ気筒内徑ノ 1.0~1.2 倍トスルガ陸用低速ノモノハ 1.5 倍トスル例モアル。

3. 気筒取付ボルト 軟鋼ヲ用イ常用引張内力 390~460 kg/cm² ヲ標準トスル。但シ此ノ場合ネチ底横斷全面積ニ加フル引張力ハ (1.2~1.3) P トシテ計算スル。但シ P ハピストン面ニ加フル全壓力 kg デアツテ次式ニヨツテ求メラレル。

$$P = 0.275 D^2.$$

4. 気筒蓋 粘リ強キ緻密ナ木炭鑄鐵ヲ用ウルヲ可トシ, t_3 = 気筒蓋ノ厚 mm, r = 気筒蓋ノ平面ヲ爲ス部分ニ描キ得ル最大内接圓ノ半徑 mm トスレバ

$$t_3 = 0.4 r.$$

気筒蓋ノ形ハ熱ノ分布ヲ考慮シ經驗ニ微シテ設計スルヲ可トスル。

5. ピストン平均速度 低速ノモノハ 3.1~4.1 m/s, 高速ノモノハ 3.6~5.1 m/s ヲ標準トスルガ特殊ノモノハ 7.6 m/s ニ達スルコトガアル。

6. ピストン 鑄鐵製トシ其ノ材質ハライナー又ハ気筒蓋ニ準ズル。通常ハトランク・ピストンヲ用イ其全長 $L = (2.0 \sim 2.5)D$ トシ, 且ピストンノ受クル最大側壓力ヲ (0.014~0.021) DL kg トスルヲ可トスル。

t_4 = ピストン頭ノ肉厚 mm, t_5 = ピストン圓筒部ノ最大肉厚 mm, C_1 = ピストン・リング溝ノ深 mm トスレバ

$$\text{平面ノ場合} \quad t_4 = (0.14 \sim 0.16)D.$$

$$\text{球面又ハ圓錐面ノ場合} \quad t_4 = (0.11 \sim 0.13)D.$$

$$t_5 = \frac{D}{30} + C_1 + 10.$$

ピストン先縁ノ厚ハ (1/2~1/3) t_5 トシ, ピストン頭部ハ膨脹ヲ考慮シテ通常気筒内徑ヨリ $5D/1000$ ダケ小サクスル。

7. ピストン・リング 鑄鐵製ニシテ小型石油機関ニ準ズル。但シ気筒内面ヲ壓スル強サハ 0.42 kg/cm² 内外ヲ標準トスル。小型ノモノハ厚ト幅ヲ同大ニスルガ大型ノモノハ厚ヲ幅ノ約 2 倍ニスル。

8. ピストン・ピン 軟鋼製ニシテ表面硬化ヲ施ス。 d_1 = ピストン・ピンノ直徑 mm, l_1 = ピストン・ピン差込部ノ中心距離 mm, l_2 = ピストン・ピン受壓部ノ長 mm トスレバ

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{D^2 l_1}{12}}, \quad l_2 = 0.25 \frac{D^2}{d_1}.$$

9. 連桿 普通軟鋼製デアアル。 r = クランク半徑 mm, l = 連桿ノ長 mm, d = 連桿(斷面圓形)ノ中央ニ於ケル直徑 mm, b = 連桿(斷面矩形)ノ幅(クランク軸ニ平行) mm, h = 連桿ノ厚(クランク軸ニ直角) mm トスレバ

$$l = (4.25 \sim 4.5)r, \quad d = \sqrt{Dl/40},$$

$$b = \sqrt{Dl/85}, \quad h = (1.7 \sim 2)b.$$

連桿ノピストンニ近イ部分ヲ 0.8 d , クランク・ピンニ近イ部分ヲ 1.2 d トスル。連桿ノ大端ノカップヲ締付ケル二本ノボルトニハ良質ノ軟鋼ヲ用ウ。ソノ常用内力ヲ 530 kg/cm² トシ往復運動部ノ惰性力ヲピストンノ單位面積當リ 8.4 kg/cm² トスレバネチ底ノ直徑ハ $D/10$ mm トナル。

10. クランク軸 良質ノ軟鋼製, 其結局引張強サ 5,600 kg/cm², 彈性界限 3,400 kg/cm², 伸張率 25% (直徑 12.7 mm, 長 51 mm = 於テ), 横斷面收縮率 45% 以上タルヲ要スル。p=気筒内ノ最高壓力 kg/cm², D=気筒内徑 mm, L=行程 mm, l₁=左右主軸受ノ中心距離 mm, l₂=兩主軸受内縁間ノ距離 mm, l₃=主軸受ノ長 mm, l₄=クランク・ピンノ長 mm, d₁=クランク軸直徑 mm, d₂=クランク・ピン直徑 mm, b=クランク・アームノ幅(クランク軸=平行) mm, h=クランク・アームノ厚(クランク軸=直角) mm トスレバ

$$l_1 = 2.2D, \quad l_3 = 0.85D,$$

$$d_1 = 0.55\sqrt[3]{D^2L} = (0.55 \sim 0.65)D,$$

$$d_2 = 0.6D, \quad l_4 = 0.6D,$$

$$b = 0.36D, \quad h = (0.75 \sim 0.8)D.$$

上記ノ b 及 h ノ値ハ主軸受ノ他=外軸受ヲ有スルモノトシテノ計算デアルカラ外軸受無キ時ハ之ヨリ 10% 内外大キクスル必要ガアル。

James Richardson 公式 船用ディーゼル機関ノクランク軸直徑ヲ計算スル=用イラレル。

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{pD^2(L+l_2)}{C}}$$

C ハ機関ノ型式ニヨツテ異ナル定數デアル。ソノ値ヲ下表ニ示ス。

気筒数		C
單働四サイクル	單働二サイクル	
1~4	1~3	620
6	4	595
8		560
12	6	525
	8	490

ロイド公式 気筒内ノ最高壓力ガ 35 kg/cm² ヲ超過セザル場合クランク軸直徑 d₁ ハ下記ノ公式ニヨツテ計算セラレタ値ヨリモ小デアツテハナラス。

$$d_1 = \sqrt[3]{D^2(\alpha L + \beta l_2)}$$

係數 α, β ノ値ヲ下表ニ示ス。

気筒数		α	β
單働四サイクル	單働二サイクル		
4 或 6	2 或 3	0.089	0.056
8	4	0.099	0.054
10 或 12	5 或 6	0.111	0.052
16	8	0.131	0.050

ディーゼル型補助機関ノクランク軸ノ直徑ハ上式ニヨツテ與エラレル値ヨリモ 5% 小デモヨイ。一塊ノ鋼片カラ鍛造スルクランクハソノアームノ幅ハ上式デ計算シタクランク軸徑ノ 1.33 倍以上デアルコトヲ要シ, 厚ハ 0.56 倍ヨリ小デアツテハナラス。若シ幅厚ノ割合ガ上記ノ數ト相違スル場合ニハ之ト同一ノ強サ=スルコトヲ要スル。

11. ハズミ車 鑄鐵製ヲ普通トスル。ソノ輪周速度ハ小型瓦斯及石油機関=對スル値ヲ適用スル。W=ハズミ車ノ重量 kg, R=ハズミ車ノ回轉半徑 mm, D=気筒内徑 mm, L=行程 mm, n=毎分回轉數, δ=(最大角速度-最小角速度)/(平均角速度), c=サイクル及気筒數=ヨツテ定マル定數トスレバ

$$WR^2 = \frac{cD^2L}{\delta \left(\frac{n}{100}\right)^2}$$

δ 及 c ノ値ヲ次ニ示ス。

第 56 表 δ ノ 値

船用	1/40
發電機直結用	1/80
細絲紡績用	1/100

第 57 表 c ノ 値

気筒數	四サイクル	二サイクル
1	6.35	4.35
2	5.33	2.45
3	3.65	2.04
4	2.61	1.63
6	1.45	0.47
8	1.32	0.09

12. 給気弁, 排気弁及始動弁 小型機関デハ給気弁, 排気弁ヲ同大=スルヲ普通トスル。弁ヲ通過スル瓦斯ノ平均速度ハ 28~38 m/s トスル。S=ピストン平均速度 m/s, w=瓦斯ノ平均速度 m/s, d₁=弁口直徑 mm トスレバ

$$d_1 = D\sqrt{S/w}$$

弁ノ揚程ハ $d_1/4$ ヲ限度トスル。弁莖ノ直徑ハ $(0.25d_1+6)$ mm, 弁頭ノ肉厚ハ鋼鐵ナラバ $0.15d_1$, 鑄鐵ナラバ $0.2d_1$. 一気筒當リ出力 150 馬力以上ノ場合ニハ排気弁ハ通常水冷却ヲ爲ス。始動弁口ノ直徑 d_2 mm ハ次式デ與エラレル。

$$d_2 = 0.053 D \sqrt{S}.$$

13. 空気吸込管 空気吸込管ノ内徑 d_3 mm ハ次式ニヨリテ算定セラレル。

$$d_3 = 0.21 D \sqrt{S}.$$

14. 廢気管 廢気管ノ横斷面積ハ排気弁口ノ有效面積ノ 1.15~1.3 倍トスル。若シ圓管ノ場合ニハソノ直徑ヲ弁口直徑ノ 7~11% 増ニスル。

15. 燃料噴射弁 針弁莖ノ直徑ハ通常 $0.036 D$ トシ先端圓錐角ヲ 40° トスル。噴油口ノ直徑ハ $(0.01\sim 0.013) D$ トスル。アトマイザー圓筒ノ内徑ハ針弁莖ノ直徑ノ 2 倍トスル。針弁ノ揚程ハ $0.5\sim 3.2$ mm トスル。

16. 燃料ポンプ 燃料ポンプノ油量ハ重油消費量毎正味馬力時 230 g ヲ標準トスル。併シピストン押退量ハ行程ノ無駄突ノ部分及漏洩ヲ考慮シテ通常ソノ 3 倍位ニスル。

17. 燃料噴射壓力及始動用空気壓力 噴射空気ノ壓力ハ $54\sim 65$ kg/cm², 噴射燃料ノ壓力ハ空気噴射式デハ 80 kg/cm², 機械噴射式デハ 250 kg/cm² ヲ標準トスル。始動用空気ノ壓力ハ $35\sim 42$ kg/cm², 或種ノ機關デハ 20 kg/cm² ヲ用イル。

18. 空気壓縮機 二段壓縮ノモノハ通常第一段デ 12 kg/cm² = 壓縮シ, 第二段デ 65 kg/cm² = 壓縮スル。三段壓縮ノモノハ通常 $4, 16, 65$ kg/cm² ノ三段ニ壓縮スル。低速機關デハ毎正味馬力時約 530 立ノ空気ヲ要シ高速ノモノハ其 25% 増ヲ標準トスル。

19. 高壓空気タンクノ容積 噴射用ニハ毎正味馬力 $0.4\sim 0.6$ 立トシ始動用ニハ之ノ 10 倍トスル。

20. 消音器 鑄鐵製ノ場合ニハ通常圓筒形ニ作リソノ容積ヲ一気筒ノピストン押退量ノ 6~8 倍トシ, ソノ長ヲ内徑 d ノ $1.2\sim 2$ 倍, 其ノ肉厚ヲ $d/50+6$ mm トスル。充分ニ消音セントスル場合ニハ鑄鐵製又ハコンクリート製室ヲ用イ, ソノ容積ハ一気筒ノピストン押退量ノ 15 倍ニスル。

21. 冷却水管 d_w = 給水管ノ内徑 mm, N_0 = 一気筒當リノ發生正味馬力トスレバ

$$d_w = 5\sqrt{N_0}.$$

排水管ノ内徑ハ給水管内徑ニ等シクスル。

第 8 章 動力測定

108. 正味馬力計算式

動力計ノ示ストルクヲ T m·kg, 毎分回轉數ヲ n トスレバ正味メートル馬力 N ハ

$$N = \frac{2\pi n T}{60 \times 75} = \frac{n T}{716.2}$$

他勵直電機ヲ動力計トシテ使用シソノ電氣的出力ヲ電流計及電壓計ニヨリテ測定シコレヨリ原動機ノ正味發生馬力ヲ算出スル場合ニハ

$$N = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{EI}{736}.$$

爰ニ E = 發電子端子電壓 ボルト, I = 發電子電流 アンペア, η = 發電機效率.

今 R = 運轉状態ニ於ケル發電子抵抗 オーム, L = 動力測定時ト同一回轉速度ニテ發電機ヲ他勵電動機トシテ無負荷運轉ヲナセル時ノ鐵損並ニ機械的損失 ワット, R' = 同電動子抵抗 オーム, E' = 同電動子端子電壓 ボルト, I' = 同電動子電流 アンペアトスレバ

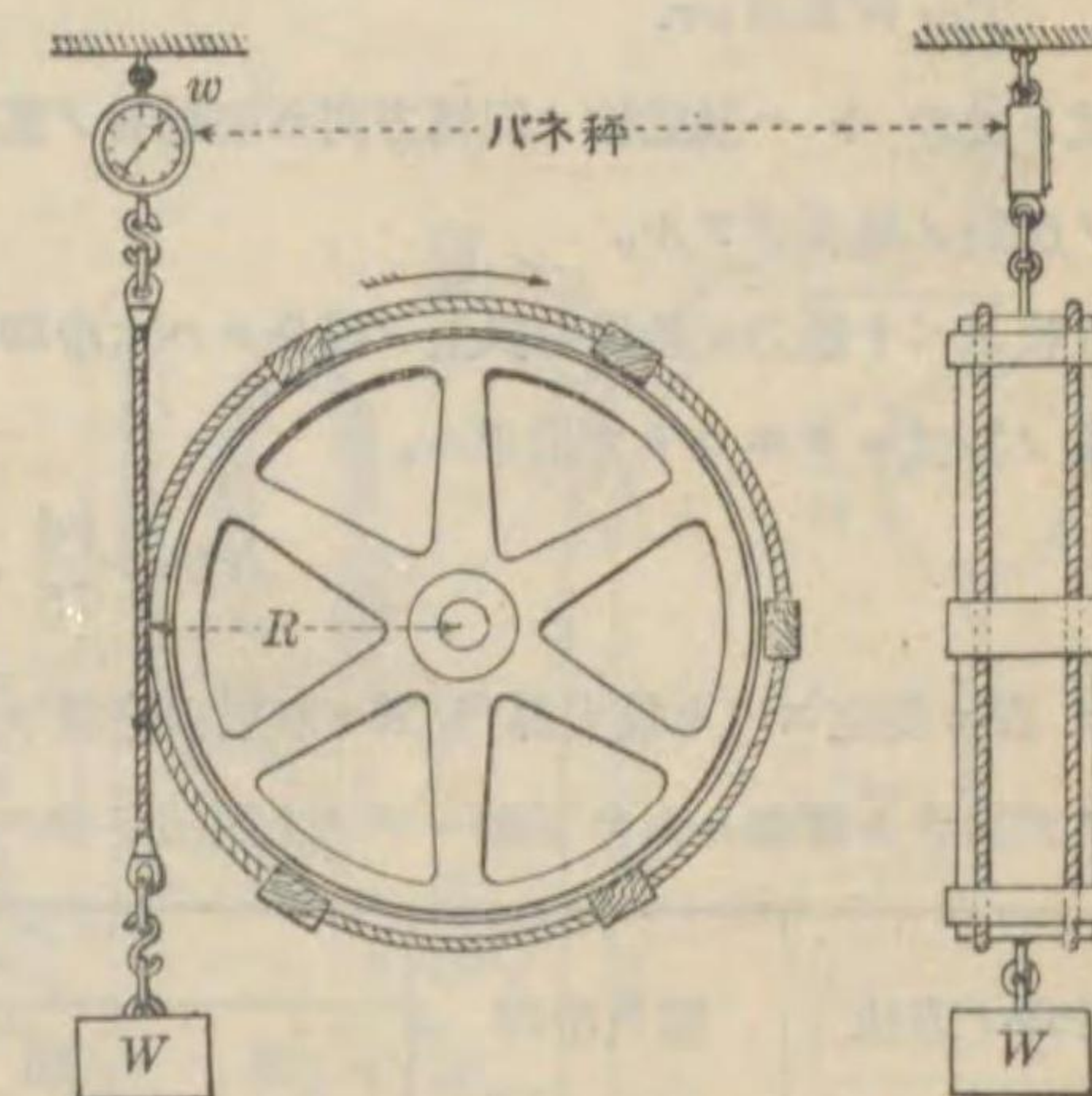
$$\eta = \frac{EI}{EI + I^2 R + L}, \quad L = E' I' - I'^2 R'.$$

109. 吸收動力計

原動機ノ出力ハ動力計ノ制動ニヨツテ熱エネルギーニ變形セラレ消費セラレル。制動ノ方式ハ固體摩擦ニヨルモノ, 流體摩擦ニヨルモノ, 電氣的方法ニヨルモノ等種々アル。

1. ロープ制動動力計 (第 55 圖)

制動用ノロープニハ潤滑劑ヲ與エナイマニラ・ロープガ多く使用セラレル。普通ロープノ一端ニ重錘, 他端ニバネ秤ヲツケ制動輪ノ回轉方向ハ重錘ヲ持上ゲル様ナ方向ニ選ブ。重錘ノ重量ヲ W kg, バネ秤ノ讀ミヲ w kg, 回轉軸中心線カ



第 55 圖

ラ重錘ノ重心ヲ通ル重力線=至ル距離ヲ Rm トスレバ

$$T = R(W - w).$$

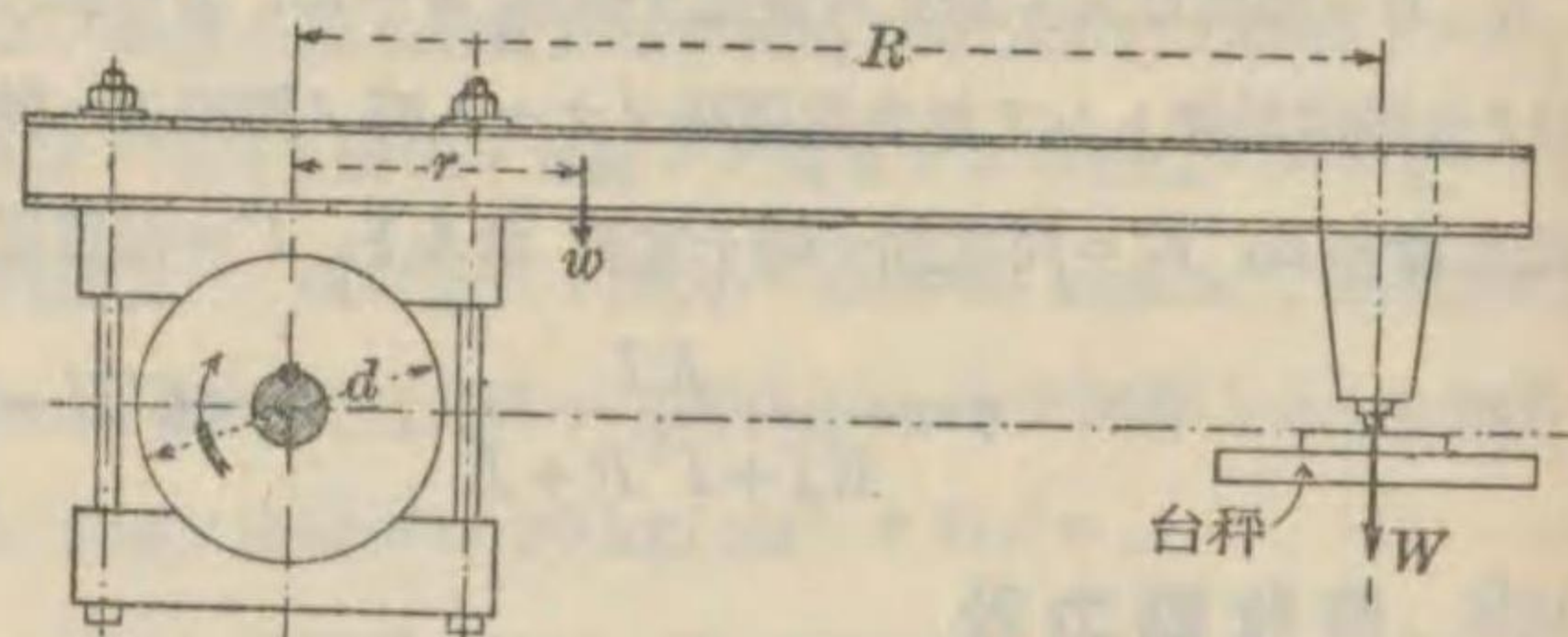
今 μ =制動輪トロープトノ間ノ摩擦係數, θ =ロープノ接觸角 rad, e =自然對數ノ底トスレバ

$$W = we^{\mu\theta}$$

デアルカラ θ ガ一定ノ場合ニハ μ ノ變化ニヨツテ w ガ變化シバネ秤ノ針ガ振動スルガ W =比シ w ガ相當小サイカラソレニ基ク誤差ヲ小サクスルコトガ出來ル。回轉方向ヲ逆ニシタリ全部バネ秤ニヨツタリシト此影響ガ大キクナル。又 μ ノ變化ニ應ジテ θ ヲ自動的ニ變化セシメテソノ積ガ略一定ニ保タレル様ニシタモノモアル。吸收スベキ動力ガ數馬力以上トナレバ制動輪周ニ水冷却ヲ施ス必要ガアル。

2. Prony 制動動力計 (第 56 圖) 制動器ノ重量ヲ w kg, ソノ重心ヲ通ル重力線ト回轉軸中心線トノ距離ヲ r

m , 重錘又ハ秤ノ讀ミヲ W kg, 重錘ノ重心ヲ通ル重力線又ハ秤ヲ押スカノ作用線ト回轉軸中心線トノ距離ヲ Rm トスレバ



第 56 圖

$$T = WR \pm wr.$$

上式ニ於テ + ハ制動輪ノ回轉方向ガ制動器ノ重心ヲ持上ゲントスル方向デアル時, - ハソノ反對ノ場合デアル。

吸收スベキ動力ガ數馬力以上ノ場合ニハ水冷却ヲ行フ必要ガアル。又制動輪ノ寸法決定ハ次ノ算式ニヨルコトガ出來ル。

$$N \leq C \frac{bd}{75}$$

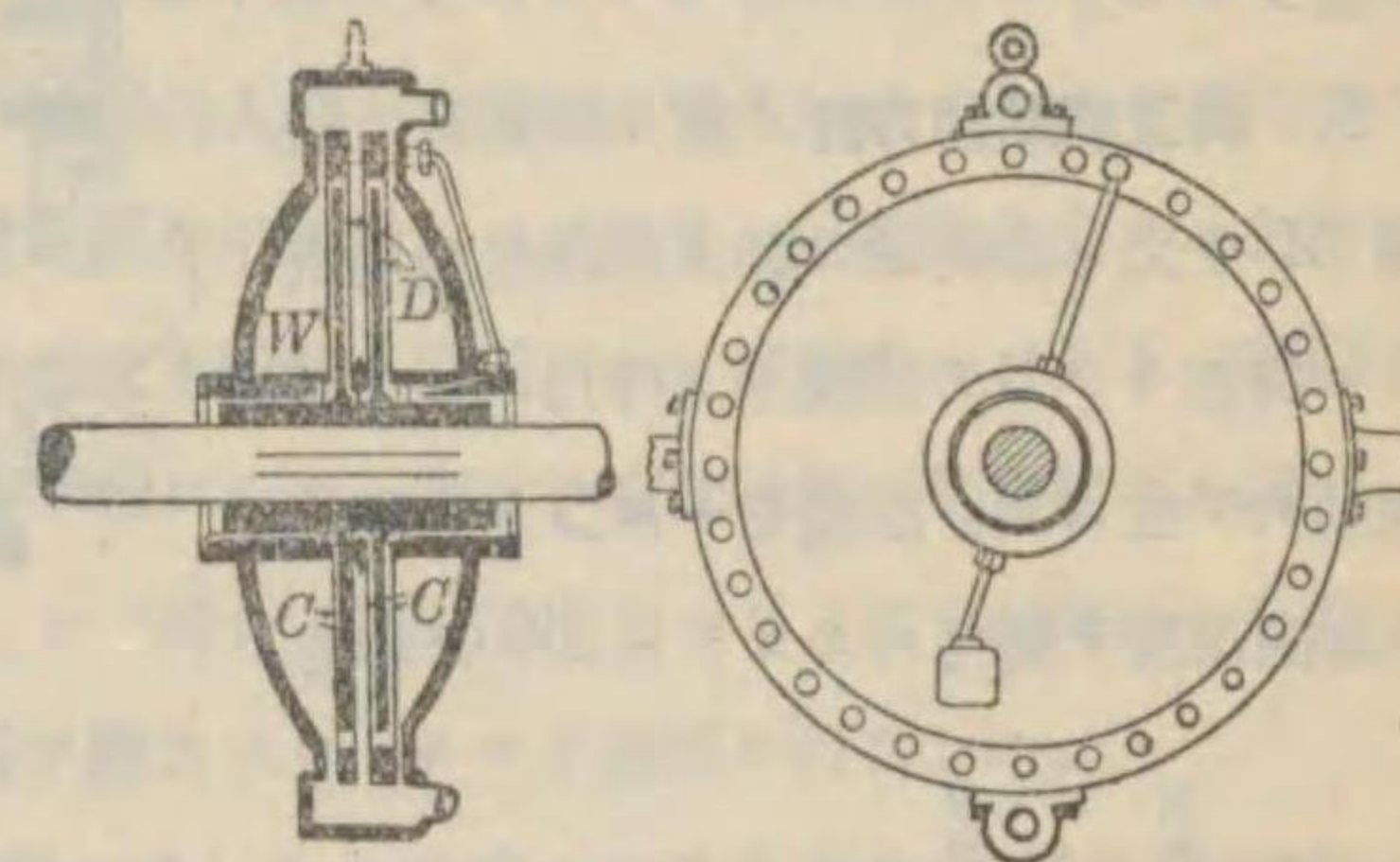
爰ニ N = 測定スベキ最大馬力, d = 制動輪直徑 cm, b = 制動輪ノ幅 cm, C = 冷却方法ニヨツテ異ナル係數ニシテ下表ニソノ上限値ヲ示ス。

冷却ノ方法	空気冷却	水 冷 却	
		普 通	高速度ニシテ制動壓力小ナル場合
C	0.5	2.5	5.0

ロープ制動器, Prony 制動器何レモ固體摩擦ヲ利用スルタメ摩擦係數ノ變動ヲ免レズ且速度ガ變化シテモ摩擦係數ニ著シイ變化ヲ伴フ事ハ運轉ノ安定ヲ害スル大ナル缺點デアアル。

3. Alden 動力計 (第 57 圖) 回轉軸ニ固定セラレタ圓板 D ト之ニ接近シテ置カ

レタ薄イ銅板 C トノ間ニ充サレタ油ノ流體摩擦ニヨツテ制動セラレラカラ此制動モーメントヲ測定スル。摩擦ノ爲ニ熱トナツクエネルギーハ水密室 W 内ヲ流レル冷却水ニヨツテ運び去ラレ制動モーメントノ調節ハ W 室内ノ冷却水ノ壓力ヲ變化シテ薄板 C ト回轉圓板 D トノ距離ヲ

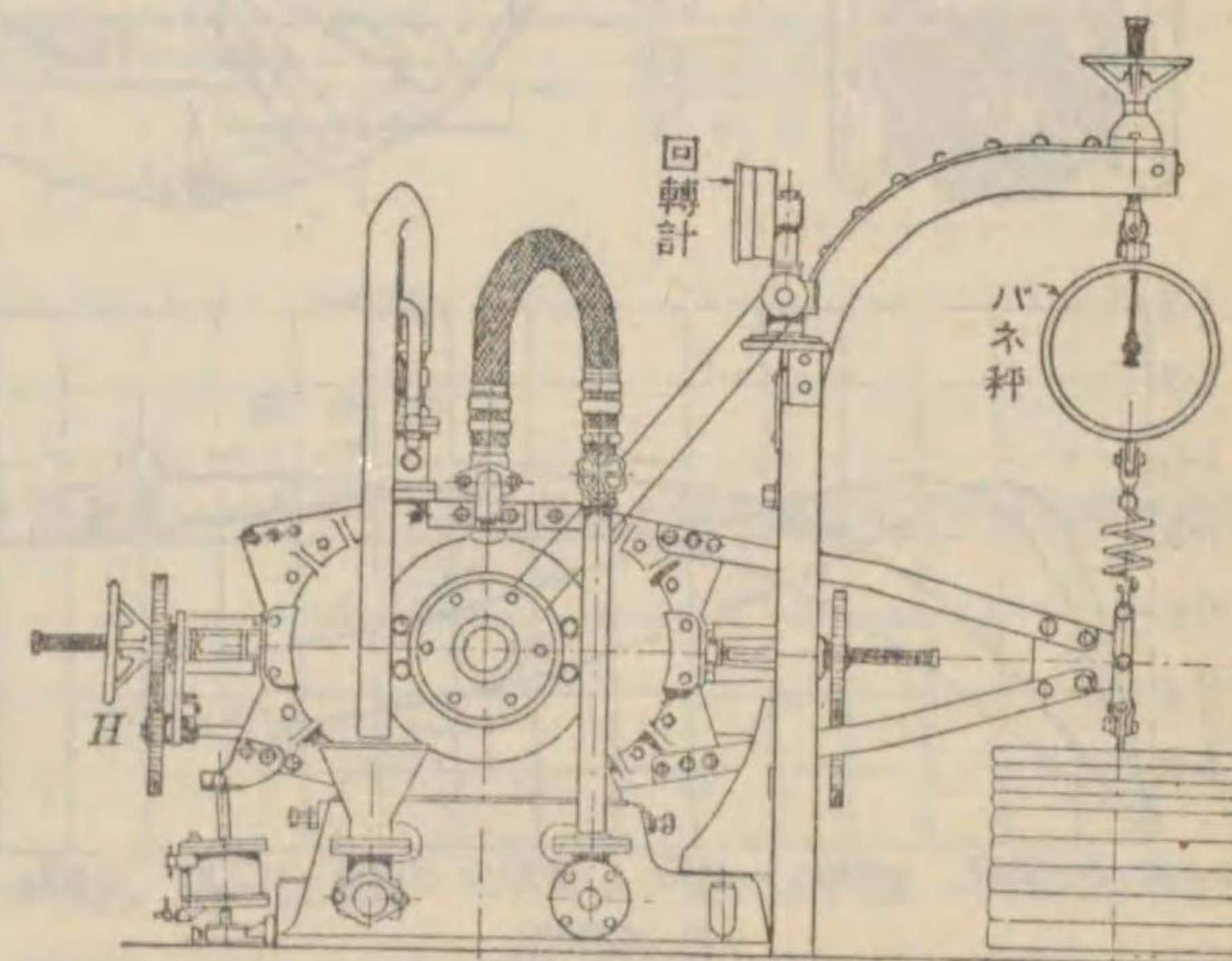


第 57 圖

増減スルコトニヨツテ行ワレル。圓板ノ圓周速度ハ 35 m/s 以下トシ摩擦面積ハ 1 馬力ニ付キ 40~65 cm² ヲ有スル様ニスル。流體摩擦ニヨルカラ油ノ溫度ガ定常状態ニ達スレバ制動モーメントノ變化少ク且同一状態ニ於テハ制動モーメントガ回轉速度ニ比例スルカラ固體摩擦ニヨルモノニ比シ運轉ハ安定デアアル。

4. Froude 動力計 (第 58, 59 圖) 回轉子 A ノ運動ニヨツテ生ズル水ノ渦流ヲ利用シテ制動力ヲ生ゼシメ

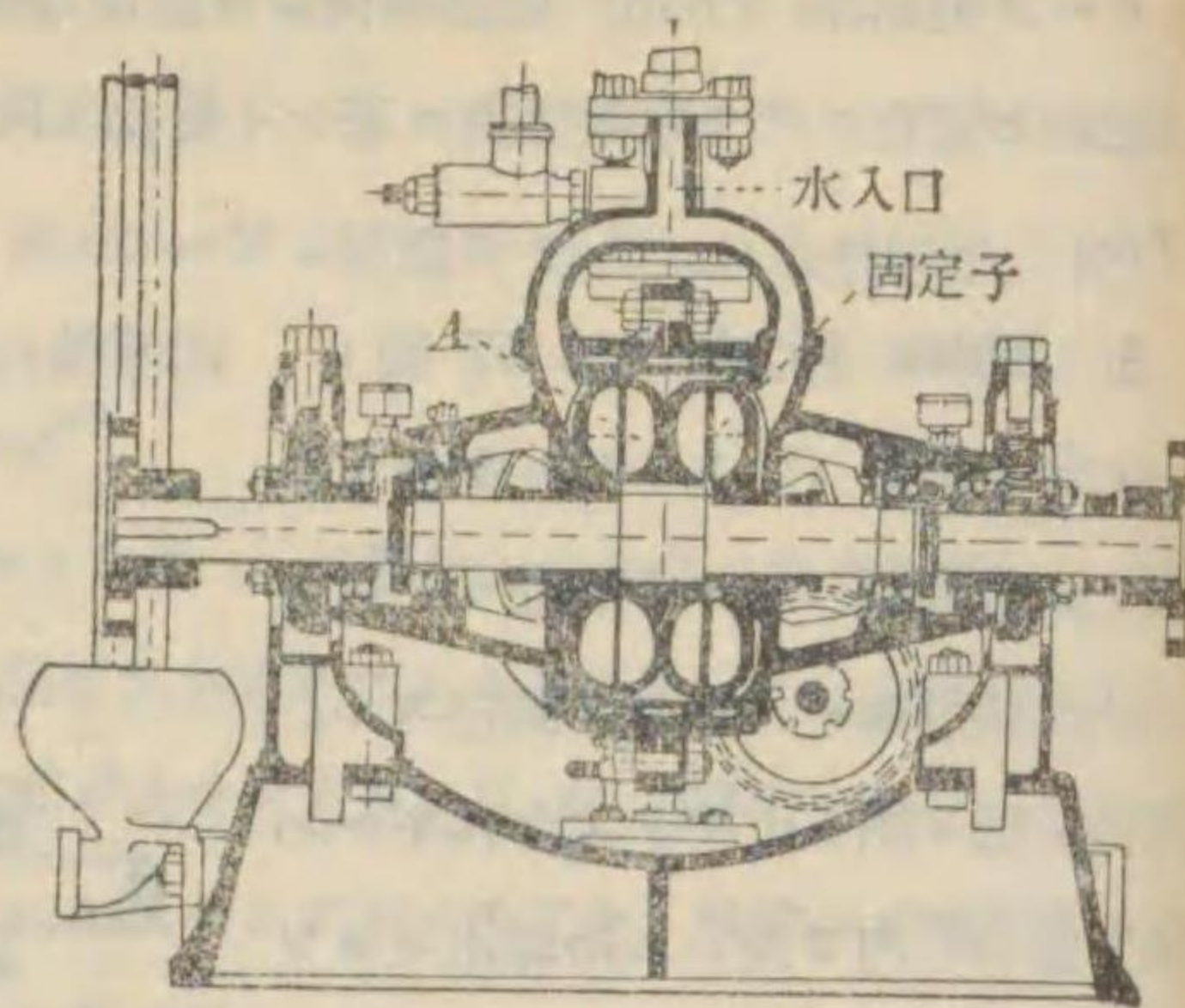
ル。回轉子ト固定子トノ間ニアル薄キ滑カナ隔板ノ位置ヲ調節ハンドル H ニヨツテ動かスカ調節弁ニヨツテ循環水量ヲ變化スレバ一定回轉數ニ於テ最大値ヨリ其 1/40 迄制動モーメントヲ調節スル事ガ出來ル。同一状態ニ於ケル制動モーメントハ回轉速度ノ約二乗ニ比例



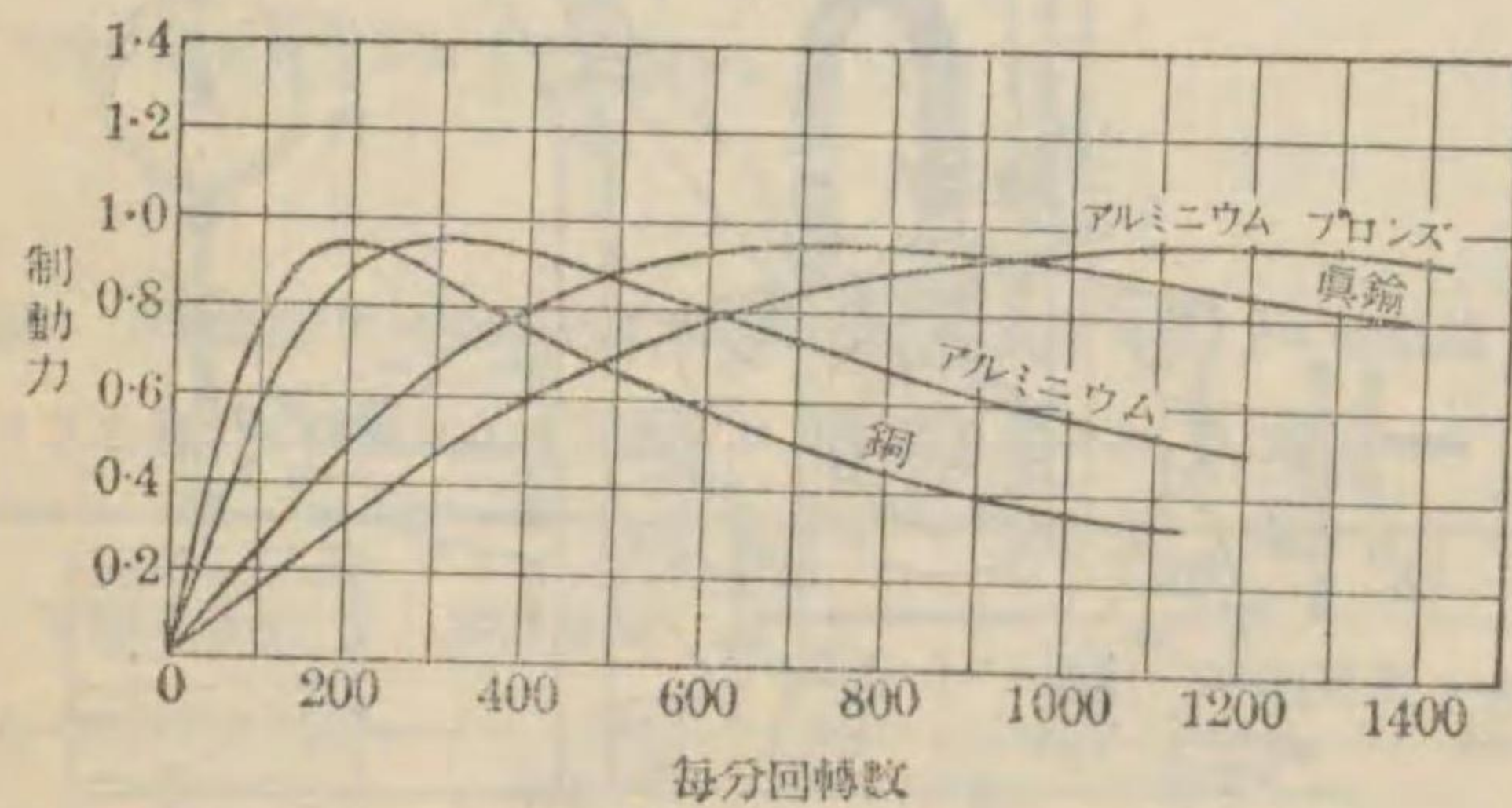
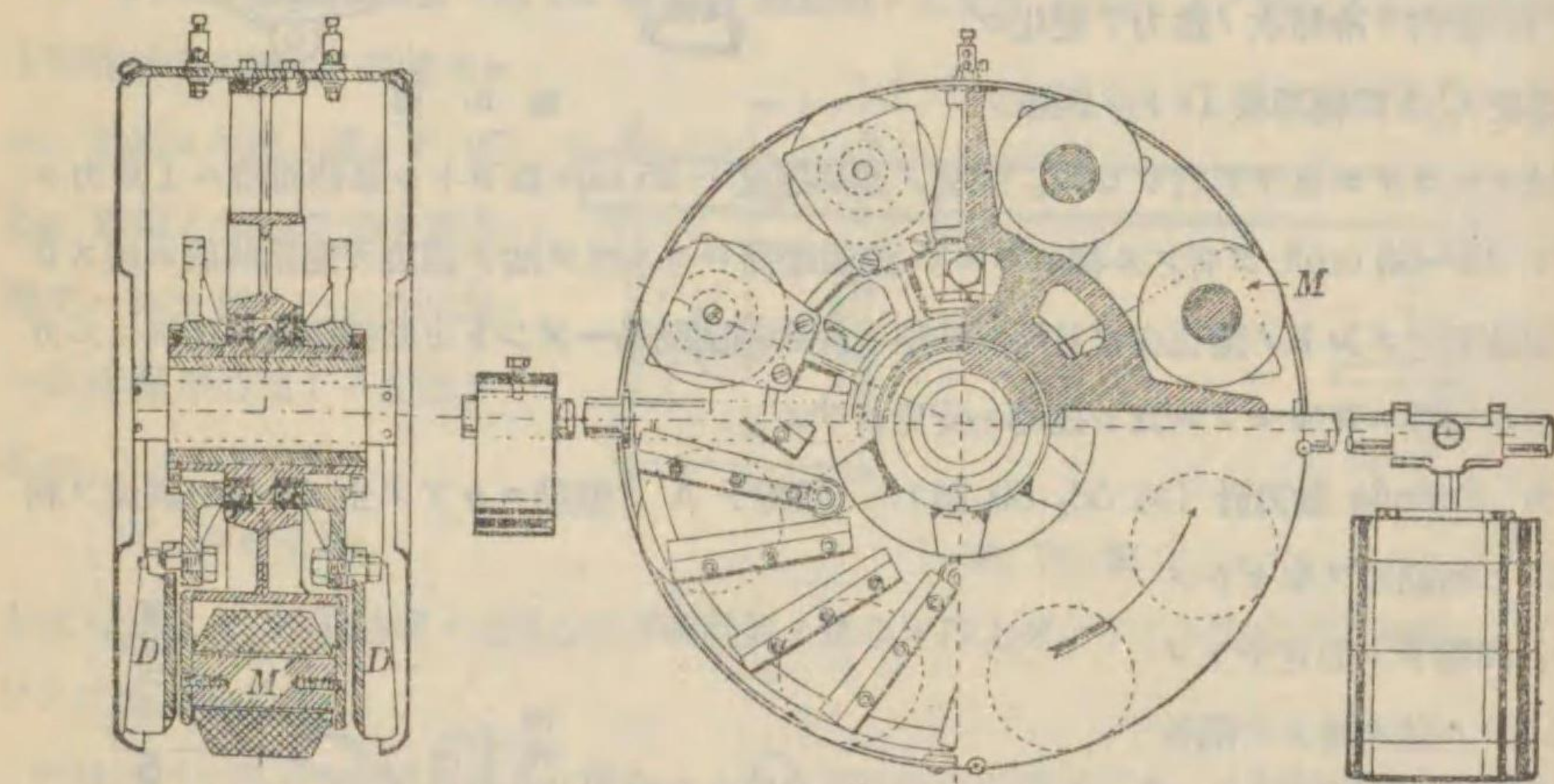
第 58 圖

シテ變化シ幾何學的相似ノ動力計ニ於テ
同一回轉數ノ場合ノ制動モーメントハ回
轉子ノ直徑ノ約五乗ニ比例スル。大容量
ノ吸收動力計トシテ最モ多ク使用セラレ
ル型デアル。

5. 渦流制動動力計 (第 60 圖) 磁
極 M ト之ニ相對的ニ動ク非磁性金屬板
Dニ誘起セラレル渦流トノ作用ニヨツテ
制動力ヲ生ズル。制動モーメントノ調節
ハ勵磁電流ヲ變化スルコトニヨツテ容易



第 59 圖



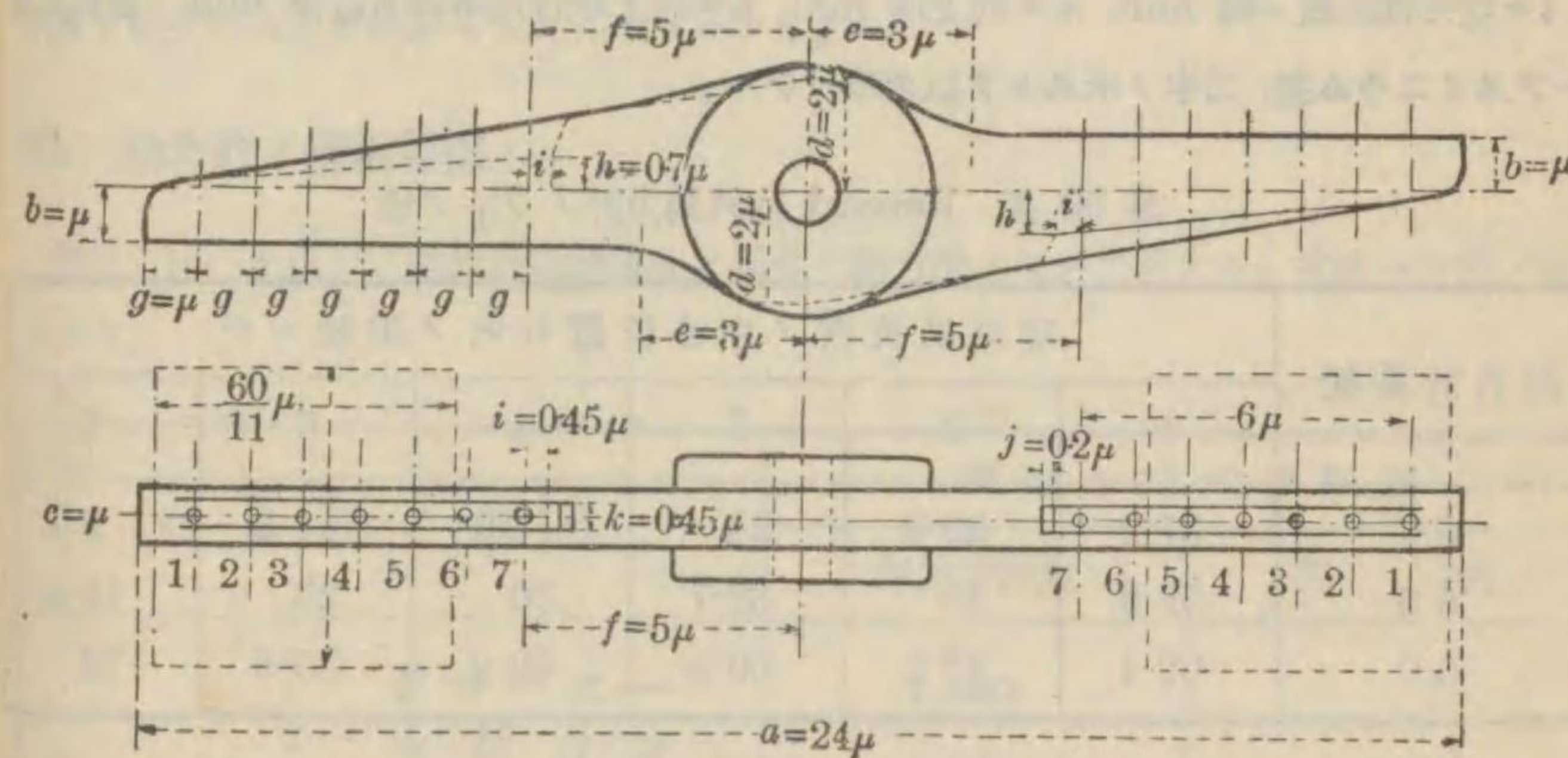
第 61 圖

ニ行ワレル。回轉速度
ト制動モーメントノ
關係ハ第 61 圖ニ示
ス如ク始ハ略比例シテ増
加スルガ臨界速度ニ於
テ最大值ニ達シテ後ハ
却テ速度増加ト共ニ漸
減スル。コノ臨界制動

モーメントハ回轉圓板ノ材質ニ關係シナイガ臨界速度ハ材質ノ比抵抗ニ正比例スル。普通
ハ空氣冷却デアルカラ數馬力以上ノ吸收ハ困難ヲ伴ウガ磁極ヲ回轉シ非磁性金屬板ヲ固定
子トシテ水冷却ヲ施セバ 1000 馬力以上ノ動力測定用トスル事ガ出來ル。コノ場合勵磁用
ノ電力ハ吸收動力ノ 3~5% デアル。

6. 電氣動力計 軸ノ周リニ自由ニ回リ得ル様ニ支エラレタ發電機固定子ニヨツテ原
動機軸ノトルクヲ測定スル。發電子ヘノ機械的入力ハ發電機ノ電氣的出力トナツテ消費セ
ラレル。發電機トシテハ多ク分捲直流發電機ガ用イラレコノ場合ニハ電氣的出力ハ負荷抵
抗ニヨツテ熱ニ變形シテ消費スルカ又ハ直流主回路ヘ送還スル。制動モーメントノ調節ハ
勵磁電流ノ變化及負荷抵抗ノ増減ニヨツテ行ワレル。適當ナ交流電源ガ利用出來ル時ニハ
整流子發電機ヲ使用スルコトモ出來ル。コノ場合ノ電氣的出力ハソノ儘交流回路ヘ送還セ
ラレ制動モーメントノ調節ハ刷子ノ位置ヲ動かスコトニヨリ簡單ニ行ワレル。

7. 空氣動力計 (第 62 圖) 制動モーメントハ次式ニヨツテ示サレル如ク回轉數ノ



第 62 圖

ニ乘ニ比例スルカラ回轉數ヲ測定スレバ直チニトルクヲ知り得ル便宜ガアルガ同時ニ調節
ガ出來ナイ缺點ヲ有スル。

$$T = \mu T_0 \left(\frac{n}{1000} \right)^2$$

爰ニ T = 制動モーメント m-kG, T_0 = 動力計ノ形ニヨツテ定マル係數, n = 毎分回轉數,
 μ = 測定時ノ空氣密度ト壓力 760 mmHg, 溫度 15°C ナル空氣ノ密度トノ比。

測定時ノ大気壓水銀柱 H mm, 溫度 $\theta^{\circ}\text{C}$ トスレバ

$$\mu = \frac{H}{760} \cdot \frac{273+15}{273+\theta}$$

第 62 圖ニ示ス Renard 空氣動力計ノ寸法ヲ第 58 表ニ, 係數 T_0 ノ値ヲ第 59 表ニ掲ゲテアル。

第 58 表 Renard 空氣動力計寸法 mm

動力計番號	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
5.0	1200	50	50	100	150	250	50	35	22.5	10	22.5	272.7	3.64	15
5.5	1320	55	55	110	165	275	55	38.5	24.75	11	24.75	300	4	16.5
6.0	1440	60	60	120	180	300	60	42	27	12	27	327.3	4.36	18

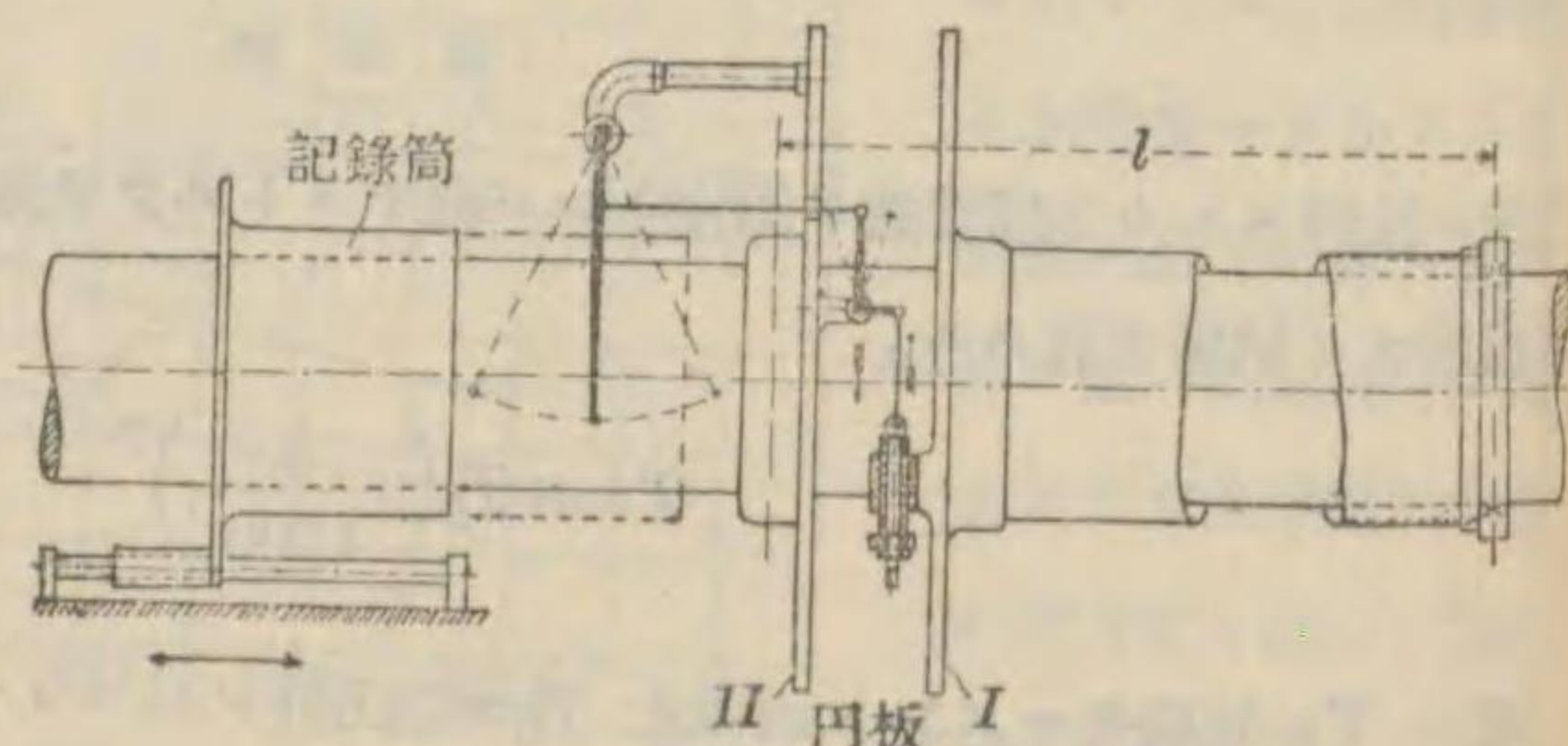
l = 空氣抵抗板ノ幅 mm, m = 同上厚 mm, n = 同上取付用ボルト直徑 mm. 各抵抗板ハアルミニウム製, 二本ノボルトヲ以テ取付ケル。

第 59 表 Renard 空氣動力計ノ T_0 ノ値

動力計番號	空氣抵抗板ノ中心位置口穴ノ番號ニテ					
	1	2	3	4	5	6
5.0	37.2	29.4	24	18.6	14.3	9.7
5.5	59.8	48	38.7	30	23	15.4
6.0	92.4	73.8	59.8	46.2	35.8	24

110. 傳動動力計

傳動々力計ニ於テハ傳動回轉軸ノ捻レ角ヲ測定シテ回轉モーメント T ヲ求メ同時ニソノ回轉速度ヲ測定シテ軸ガ傳エツ、アル動力ヲ計算スル。傳動軸ガ中空丸軸ノ場合ニハ



第 63 圖

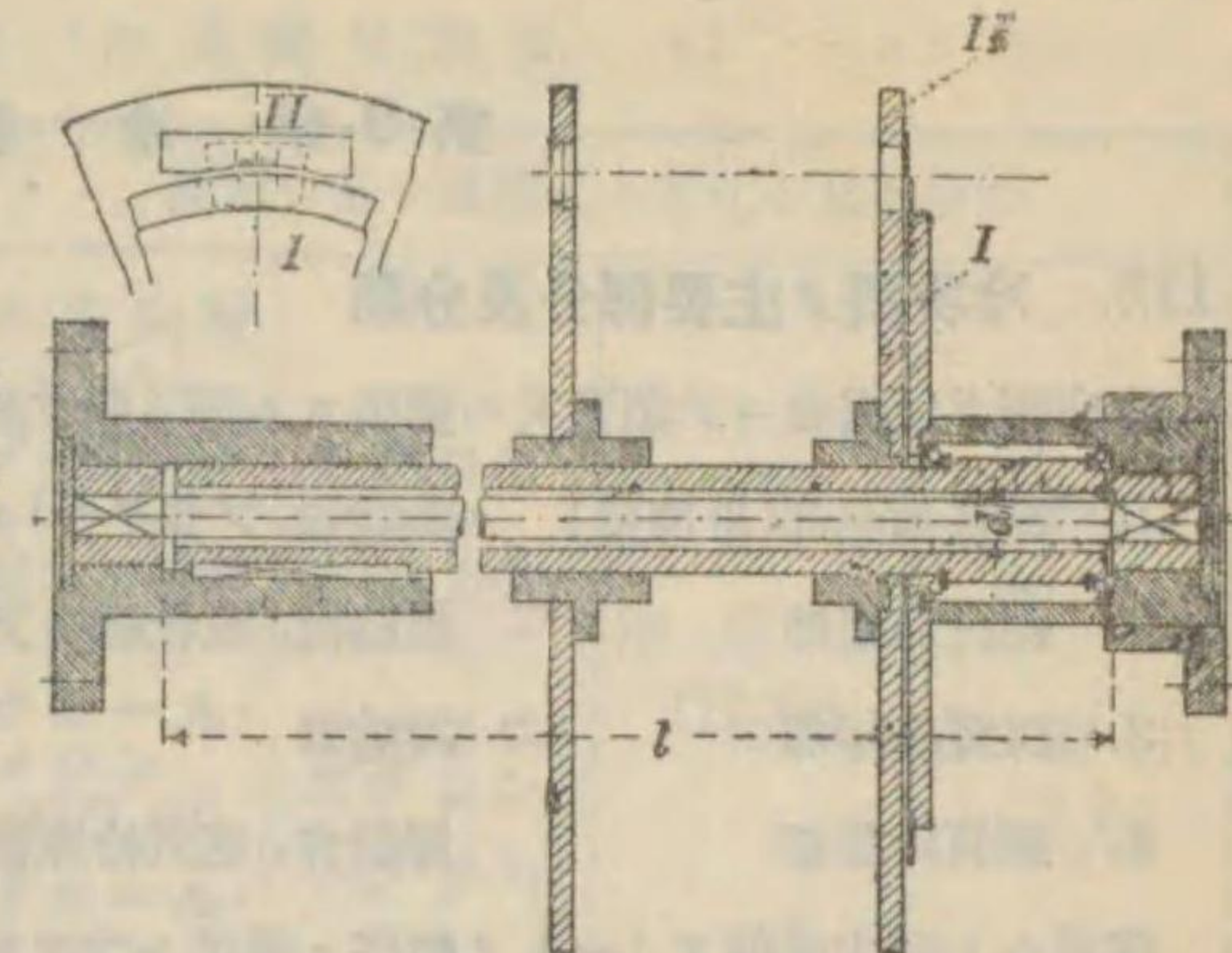
$$T = \frac{\alpha \pi (d^4 - d_0^4) G}{3200 \times l}$$

爰ニ l = 標點距離 cm, d = 軸ノ外徑 cm, d_0 = 軸ノ内徑 cm, α = 標點間ノ捻レ角 rad. G = 軸材料ノ橫彈性係數 (227 頁參照) = シテ船用推進軸ニ於テハ $829,000 \text{ kg/cm}^2$ ノ程度デアル。一般ニ

$$T = cc.$$

c = 動力計ニヨツテ定マル定數デアル。

回轉中ノ軸ノ捻レ角ヲ測定スルニハ記録紙上ニ自記セシメル (Föttinger 第 63 圖) カ同期裝置ヲ用イテ回轉體ヲ靜止セル如ク見得ル様ニスルモノ (Amsler-Laffon 第 64 圖) ガ多ク電氣的ニ之ヲ指示セシムルモノモアル。



第 64 圖

111. 動力計ノ使用範圍

測定シ得ベキ動力ノ限界及回轉速度ノ限界ハ動力計ニヨツテ異ナル。次表ハ大體ノ限界ヲ示ス。

動力計ノ型式	測定シ得ベキ限界		
	毎分回轉數	馬力	
吸 收 動力計	ブローニー 水動力計 (フロード) 空氣動力計 (ファンブレーキ)	1,000 2,500 2,000	10 2,000 200
	渦流動力計 電氣動力計 (スプレーグ)	2,000 750~4,000	100 30,000
傳 動 動力計	捻リ動力計 エマーソン	1,000~3,000 300	50,000 50

第 9 章 冷 凍 機

112. 冷凍機ノ主要部分及分類

冷凍劑ガ低溫度ニテ蒸發又ハ膨脹スル間ニ熱ヲ吸收スルコトヲ利用スル。其ノ主要部ハ

1. 媒質加熱部(冷凍部) 蒸發器, ブライン・クーラー, 製氷槽, 直接膨脹式ノ冷蔵庫等
2. 媒質加壓部 壓縮機, 吸收機ノアンモニア・ポンプ等
3. 媒質冷却部 凝縮器
4. 媒質降壓部 膨脹弁, 空氣冷凍機ノ膨脹氣筒

媒質ハ上記主要部ヲ 1→4 ノ順序ニ循環シ之ヲ冷凍サイクルト稱スル。各種冷凍機ヲ其ノ冷凍劑及主要部ニ從ツテ分類表示スレバ第 60 表ノ如クナル。

113. 壓縮冷凍機ノ冷凍效果及成績係數

p = 冷凍劑ノ壓力 kg/cm^2 , v = 比體積 m^3/kg , t = 溫度 $^{\circ}\text{C}$, i = 全熱量 kcal/kg .

冷凍サイクル中ノ四點即チ冷凍部出口ヲ a , 媒質加壓部出口ヲ b , 媒質冷却部出口ヲ c , 媒質降壓部出口ヲ d トシ p_a, v_a, t_a, i_a 等ヲ以テ a 點ニ於ケル壓力, 比體積, 溫度, 全熱量等ヲ表ワス。 r ハ 媒質 1kg ノ冷凍熱量 kcal/kg ニシテ之ヲ冷凍效果ト云ウ。

$$r = i_a - i_d = i_a - i_c$$

但シ上式ハ膨脹弁ヲ用ウル普通ノ冷凍機ニ關スルモノデアツテ此場合 $i_d = i_c$ デアル。空氣冷凍機ノ如ク膨脹氣筒ヲ有スルモノハ $i_d \neq i_c$, 依テ $r = i_a - i_d$ 且 $Aw' = i_c - i_d$ ノ仕事ヲ膨脹機ニ於テ利益スル。但シ $A = 1/J = 1/427 \text{ kcal/kgm}$.

w ヲ媒質 1kg ノ加壓仕事 kgm/kg トスレバ

$$Aw = i_b - i_a$$

又コノ仕事 w ハ壓縮變化ヲ $Pv^n = \text{一定}$ (P = 冷凍劑ノ壓力 kg/m^2) ナルポリトロープト假定スレバ

$$w = \frac{n}{n-1} P_0 v_0 \left\{ \left(\frac{p}{P_0} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\}$$

ニテ與エラレ, $n = 1.28 \sim 1.3$ [NH_3, SO_2], $n = 1.25$ [CO_2], $n = 1.2$ [CH_3Cl] ト假定シテ計算シ得ルガ, 壓縮變化ヲ斷熱ト假定シテ i_a 及 i_b ヨリ計算シクモノニ 0.95 位ヲ乘ズレバ大約ノ値ヲ得ルコトガ出來ル。

第 60 表 冷凍機分類表

		永久瓦斯	蒸發シ易キ液體又ハ液化シ易キ瓦斯			
		空氣	無水炭酸 (CO_2) アンモニア (NH_3) 無水亞硫酸 (SO_2) クロール・メタン (CH_3Cl) クロール・エタン ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$)	デクロロ・メタン (CH_2Cl_2) デクロロ・エチレン ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$)	水蒸氣 (H_2O)	アンモニア (NH_3) 水蒸氣 (H_2O)
分類		I. 空氣冷凍機	II. 壓縮冷凍機	III. 遠心冷凍機	IV. 噴射機冷凍機	V. 吸收冷凍機
1	部分名稱	冷凍器 (冷凍室)	蒸發器	蒸發器	蒸發器	蒸發器
	媒質ノ變化	定壓膨脹溫度上昇	定溫定壓ノ蒸發變化	定溫定壓ノ蒸發變化	定溫定壓ノ蒸發變化	定溫定壓ノ蒸發變化
2	部分名稱	往復壓縮機	往復壓縮機	遠心壓縮機	蒸氣噴射機	溶液ポンプ 吸收器 及 發生器
	媒質ノ變化	略斷熱壓縮溫度上昇 仕事ヲ要ス	略斷熱壓縮溫度上昇 仕事ヲ要ス	略斷熱壓縮溫度上昇 仕事ヲ要ス	噴射蒸氣ト 媒質ト混合 壓縮セラル	溶液ノ媒質 吸收, 冷却, 加壓, 及加 熱ニヨル瓦 斯發生
3	部分名稱	冷却器	凝縮器	凝縮器	凝縮器	凝縮器
	媒質ノ變化	定壓冷却 溫度下降 體積收縮	定溫定壓ノ 凝縮變化	定溫定壓ノ 凝縮變化	定溫定壓ノ 凝縮變化	定溫定壓ノ 凝縮變化
4	部分名稱	膨脹機	膨脹弁	(膨脹弁)*	膨脹弁	膨脹弁
	媒質ノ變化	略斷熱膨脹 溫度下降 仕事ヲ利ス	絞り膨脹 全熱量一定	絞り膨脹 全熱量一定	絞り膨脹 全熱量一定	絞り膨脹 全熱量一定

* 配管ニ依リ液面ノ高低差ヲ利用スルモノトシテ實際ノ膨脹弁ナシ。

s = 媒質 1 kg ノ冷却及液化ノ爲ニ排除スベキ熱量 kcal/kg, q_v = 壓縮機気筒單位體積ニツキ理論的冷凍熱量 kcal/m³, η = 理論的成績係數 (理論的 = 冷凍シ得ル熱量トソレニ要シタル仕事トノ比)トスレバ

$$s = i_b - i_c, \quad q_v = r/v_a = (i_a - i_c)/v_a,$$

$$\eta = r/Aw = (i_a - i_c)/(i_b - i_a).$$

壓縮機気筒ノ水冷却配管其他ヨリノ熱ノ出入ヲ無視シタ場合ハ

$$s = r + Aw.$$

完全冷凍機ナレバ $\eta = \eta_0 = T_2/(T_1 - T_2)$ トナル。而シテ完全熱原動機ノ熱効率ハ $\eta' = (T_1 - T_2)/T_1$ デアルカラ $\eta_0 = (1 - \eta')/\eta'$ ナル關係ガアル。但シ $T_1 > T_2$ ニシテ冷凍機ニ於テハ T_1 ハ媒質冷却部ノ絶對溫度, T_2 ハ冷却部即チ媒質加熱部ノ絶對溫度デアル。通常ノ場合ハ $\eta_0 > \eta > 1 > \eta'$.

q_c = 一馬力一時間ノ仕事ニヨツテ冷凍シ得ル理論的熱量 kcal/HP-h, R = 實際冷凍熱量 kcal/h, N = 壓縮機馬力, η_z = 實際成績係數トスレバ

$$q_c = 632 \eta, \quad \eta_z = R/632 N.$$

114. 壓縮冷凍機ノ實際冷凍熱量及馬力

壓縮冷凍機ノ實際熱量及馬力ハ前節ノ計算ニ依ル理論的ノ値ニ經驗ニ依ル效率係數ヲ乘ジテ推定シ得。次ニ其係數ノ大體ヲ示ス。

ξ_r = 比較效率, ξ_v = 壓縮機気筒ノ気密度ニヨル體積效率, ξ_c = 壓縮機気筒ノ隙間ニヨル體積效率トスレバ

$$\xi_r = \eta_z/\eta = 0.65 \sim 0.90, \quad \xi_v = 0.70 \sim 0.90, \quad \xi_c = 0.75 \sim 0.95.$$

V = 壓縮機ノピストン押退ケ量 m³/h, R = 實際冷凍熱量 kcal/h, N_i = 實際圖示馬力, S = 凝縮器ニ於テ冷却スベキ實際熱量 kcal/h トスレバ

$$R = \xi_v \xi_c V (r/v_a), \quad N_i = R/632 \eta \xi_r = \xi_v \xi_c V (r/v_a) / 632 \eta \xi_r,$$

$$S = R + 632 N_i.$$

115. 各種冷凍劑ノ壓力, 單位排出量ノ冷凍ニ關スル略表

媒質溫度ハ蒸發器内 -15°C , 膨脹弁ノ直前 30°C トシタル場合ノ吸入壓力 p_a kg/cm², 吐出壓力 p_b kg/cm², 單位排出量ノ冷凍 q_v kcal/m³ ノ値ヲ各種冷凍劑ニツキ表示スレバ下表ノ如クナル。但シ CO₂ 及 NH₃ 以外ノモノハ大體ノ値ヲ示スニ止マル。

冷凍劑	無水炭酸 CO ₂	アンモニア NH ₃	プロパン C ₃ H ₈	クメロ イ ル ン CH ₃ Cl	無水亞硫酸 SO ₂	クエ ロ イ タ ル ン C ₂ H ₅ Cl	ヂエ ク ロ レ ン C ₂ H ₂ Cl ₂	水 蒸 氣 H ₂ O
p_a	23.4	2.41	3.1	1.49	0.85	0.31	0.0615	0.0020
p_b	77.6	13.77	11.2	6.75	4.72	1.90	0.506	0.0432
q_v	2094	517.6	535	277	190	77	16.7	0.920

116. 冷凍效果, 單位排出量ノ冷凍, 一馬力一時間ノ冷凍及媒質ノ吐出溫度ノ表

第 113 節ノ各種理論的數量ヲ計算セルモノヲ次ノ第 61 表及第 62 表ニ掲グ。此表ヲ用イ第 114 節ノ式ニヨリ實際ノ冷凍熱量, 馬力等ヲ推定スルコトガ出來ル。

此等ノ表ニ於テ t_c = 膨脹弁直前ニ於ケル媒質ノ溫度 $^\circ\text{C}$, p_c = 同上壓縮壓力 kg/cm², i_c = 同上媒質ノ全熱量 kcal/kg, t_a = 蒸發器出口ニ於ケル媒質ノ溫度 $^\circ\text{C}$, p_a = 同上媒質ノ壓力 kg/cm², i_a = 同上媒質ノ全熱量 kcal/kg, v_a = 同上媒質ノ比體積 m³/kg, r = 冷凍效果 kcal/kg, q_v = 單位排出量ノ冷凍 kcal/m³, q_c = 一馬力一時間ノ冷凍 kcal/HP-h, t_b = 媒質ノ吐出溫度 $^\circ\text{C}$ デアル。

第 61 表アンモニアニ關スルモノハドイツ冷凍協會冷凍機試驗規格書 1929 年版ノ表及 Z. f. d. ges. Kälte-Industrie 1930, 頁 1, Kuprianoff ノ表及圖ニヨリ, 尙全熱量ハドイツ冷凍協會冷凍機試驗規格書 (1929) ノ値 = Bur. of Stand. 表ノ $\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_t$ ノ値ヲ加エテ算出シ, 壓縮壓力 p_c ハ $(t_c + 5)^\circ\text{C}$ = 相當スル飽和壓力ヲ取ツテアル。

第 62 表無水炭酸ニ關スルモノハ Z. f. d. ges. Kälte-Industrie 1929, 頁 41, Plank 及 Kuprianoff ノ表及線圖ニヨル。從ツテ 0°C = 於ケル液體無水炭酸ノ全熱量ヲ 100 kcal/kg トシテアル。又壓縮壓力 p_c = ハ大部分 $(t_c + 5)^\circ\text{C}$ = 相應スル飽和壓力ヲ取り, $t_c = 25^\circ\text{C}$ 以上ハ機械學會誌第 26 卷第 79 號井口論文ニヨル適當ノ値ニ取ツテアル。

第 61 表

膨脹弁直前ノ媒質			蒸 發 器 出 口			
			t_a	10	5	0
t_c °C	p_c kg/cm ²	i_c kcal/kg	p_a	6.271	5.259	4.379
			i_a	303.95	302.80	301.52
			v_a	·2058	·2435	·2897
10	7.427	11.126	r	—	291.7	290.4
			q_v	—	1198.3	1002.5
			q_e	—	17228	10851
			t_b	—	27	36
15	8.741	16.736	r	287.2	286.1	284.8
			q_v	1395.6	1175.2	983.1
			q_e	17885	11317	8014
			t_b	31.5	39	47.5
20	10.225	22.396	r	281.6	280.4	279.1
			q_v	1368.1	1152.0	963.6
			q_e	11543	8344	6189
			t_b	43	50	59.5
25	11.895	28.105	r	275.8	274.7	273.4
			q_v	1340.4	1128.5	943.9
			q_e	8542	6508	5152
			t_b	53.5	61	70.5
30	13.765	33.855	r	270.1	268.9	267.7
			q_v	1312.5	1104.9	924.0
			q_e	6648	5304	4296
			t_b	65	72.5	82
35	15.850	39.663	r	264.3	263.1	261.9
			q_v	1284.2	1081.0	904.0
			q_e	5399	4455	3707
			t_b	76	84	93.5

ア ン モ ニ ア

= 於 ケ ル 媒 質					
-5	-10	-15	-20	-25	-30
3.619	2.966	2.410	1.940	1.546	1.219
300.14	298.67	297.12	295.46	293.72	291.91
·3469	·4184	·5087	·6236	·7712	·9630
289.0	287.5	286.0	284.3	282.6	280.8
833.3	687.3	562.3	456.1	366.5	291.5
8055	6138	4924	4041	3409	2891
42.5	51.5	61.5	71.5	82	95
283.4	281.9	280.4	278.7	277.0	275.2
817.1	673.9	551.3	447.1	359.3	285.6
6223	4989	4140	3491	2964	2546
55	64	73.5	84	95.5	109
277.7	276.3	274.7	273.1	271.3	269.5
800.8	660.3	540.1	438.0	351.9	280.0
5156	4232	3550	3021	2620	2264
66	76	86	97	109	122.5
272.0	270.6	269.0	267.4	265.6	263.8
784.3	646.7	529.0	428.9	344.5	273.8
4318	3623	3113	2672	2332	2035
78	89	98	110	121.5	135.5
266.3	264.8	263.3	261.6	259.9	258.1
767.7	632.9	517.6	419.6	337.1	267.9
3692	3147	2715	2367	2079	1832
90	100.5	111	123	135	149
260.5	259.0	257.5	255.8	254.1	252.2
751.0	619.1	506.2	410.3	329.5	261.8
3205	2761	2415	2128	1874	1665
102.5	113	123.5	135	148.5	162

第 62 表

膨脹弁直前ノ媒質			蒸 發 器 出 口			
			t_a	10	5	0
t_c °C	p_c kg/cm ²	i_c kcal/kg	p_a	45.95	40.50	35.54
			i_a	154.59	155.45	156.13
			v_a	0.007519	0.008850	0.010383
			r	—	49.43	50.11
10	52	106.02	q_v	—	5585	4826
			q_e	—	14875	9127
			t_b	—	23.7	28.4
			r	45.49	46.35	47.03
15	58	109.10	q_v	6050	5237	4530
			q_e	14743	9542	6649
			t_b	28.2	31.9	36.6
			r	42.04	42.90	43.58
20	65	112.55	q_v	5591	4847	4197
			q_e	8946	7490	4936
			t_b	36.8	40.6	45.2
			r	38.31	39.17	39.85
25	73	116.28	q_v	5095	4426	3838
			q_e	6224	4826	4441
			t_b	45.1	49.1	53.9
			r	34.25	35.11	35.79
30	81	120.34	q_v	4555	3967	3447
			q_e	4427	3608	2893
			t_b	52.9	56.7	61.4
			r	30.67	31.53	32.21
35	92	123.92	q_v	4079	3563	3102
			q_e	3258	2733	2225
			t_b	62.3	66.2	71.1
			r	—	—	—

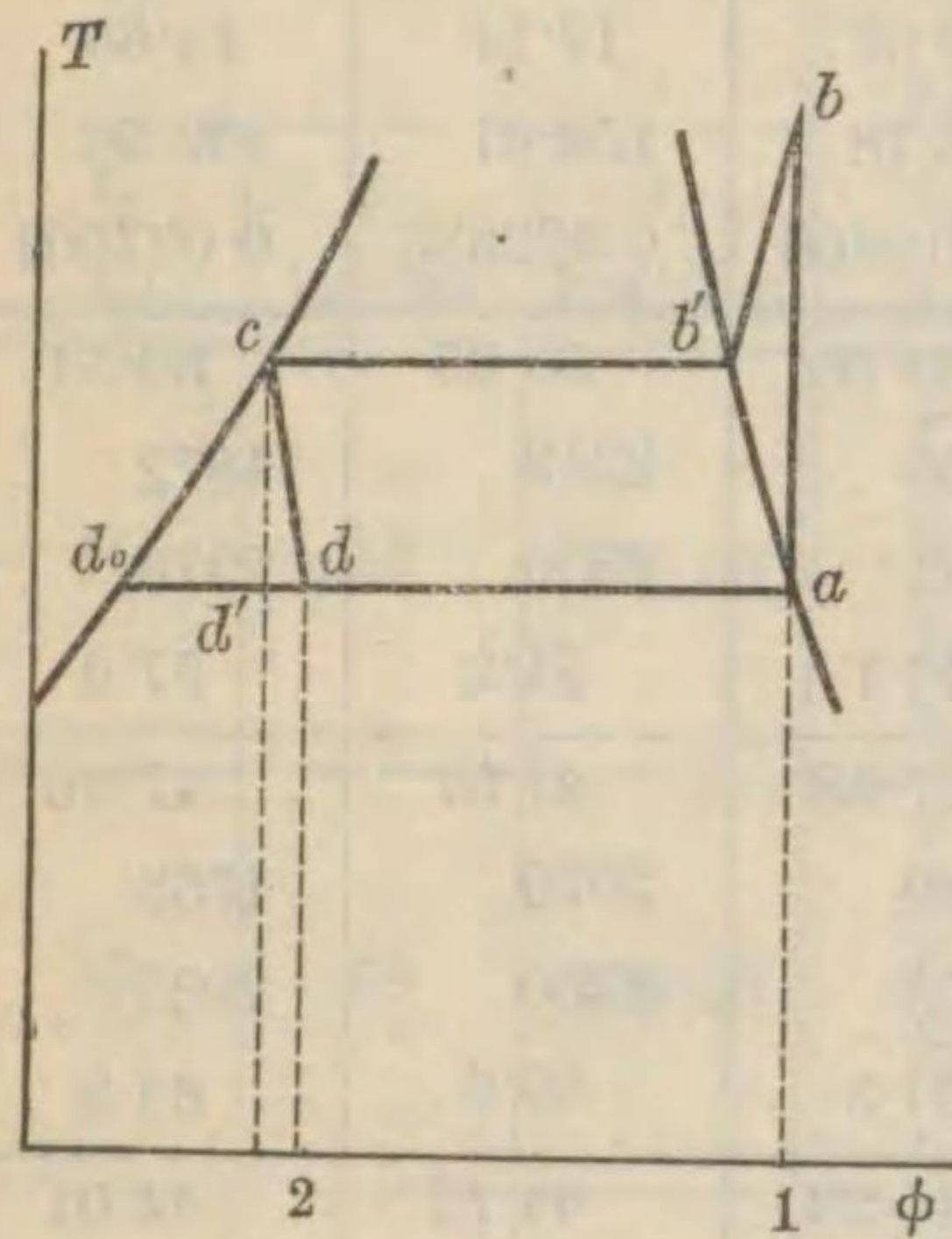
無 水 炭 酸

= 於 ケ ル 媒 質

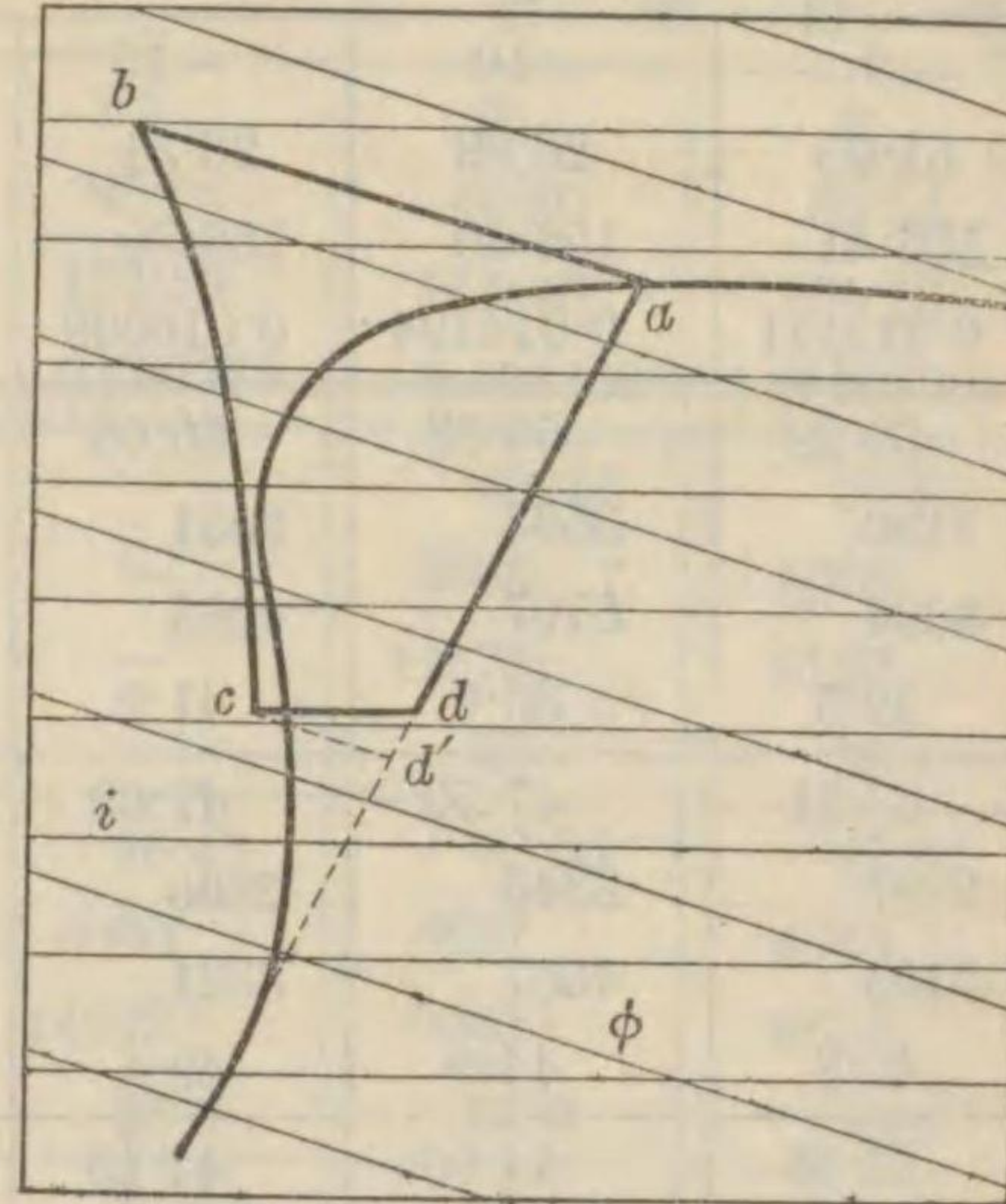
-5	-10	-15	-20	-25	-30
31.05	26.99	23.34	20.06	17.14	14.55
156.41	156.60	156.70	156.78	156.67	156.56
0.012141	0.014194	0.016609	0.019466	0.022885	0.027001
50.39	50.58	50.68	50.76	50.65	50.54
4150	3563	3051	2608	2213	1872
6634	5107	4065	3381	2800	2376
32.3	36.6	41.2	46.1	51.2	57.0
47.31	47.50	47.60	47.68	47.57	47.46
3897	3346	2866	2449	2079	1758
5103	4057	3321	2803	2360	2035
40.5	44.9	49.4	54.3	59.6	64.9
43.86	44.05	44.15	44.23	44.12	44.01
3613	3103	2658	2272	1928	1630
3954	3253	2712	2316	1977	1718
49.1	53.3	57.9	62.7	67.9	73.5
40.13	40.32	40.42	40.50	40.39	40.28
3305	2841	2434	2081	1765	1492
3070	2572	2187	1903	1641	1438
57.7	62.0	66.4	71.2	76.6	82.3
36.07	36.26	36.36	36.44	36.33	36.22
2971	2555	2189	1872	1588	1341
2425	2066	1773	1557	1358	1201
65.3	69.5	74.3	79.2	84.5	90.3
32.49	32.68	32.78	32.86	32.75	32.64
2676	2302	1974	1688	1431	1209
1890	1635	1423	1264	1109	990
75.2	79.6	84.3	88.3	94.7	100.3

117. ϕ, T, i, p 等ノ線圖上ニ表ワシタル冷凍サイクル

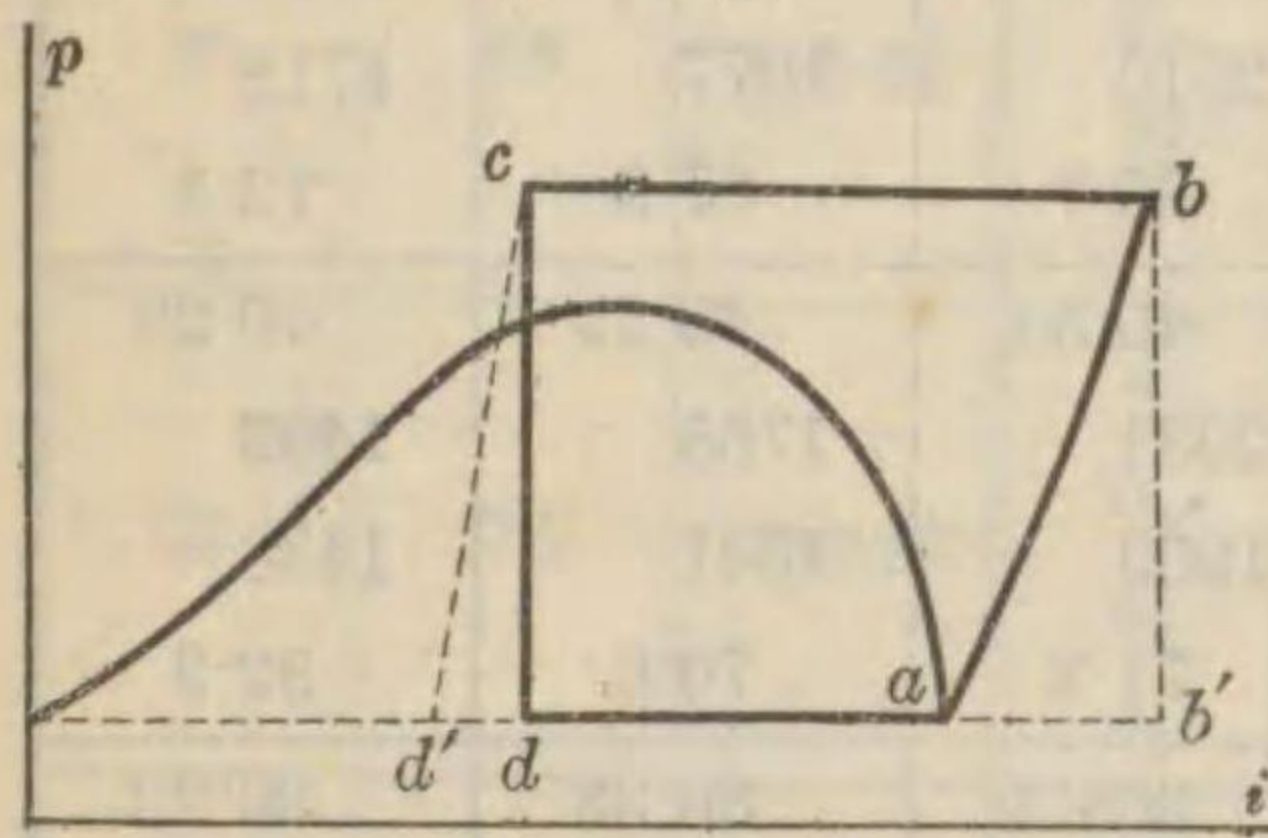
第 65 圖ハエントロピー ϕ ト絶對溫度 T , 第 66 圖ハエントロピー ϕ ト全熱量 i , 第 67 圖ハ壓力 p ト全熱量 i , 第 68 圖ハ $\log p$ ト全熱量 i トノ線圖上ニ冷凍サイクルヲ表ワシタルモノニシテ各々異ナレル利



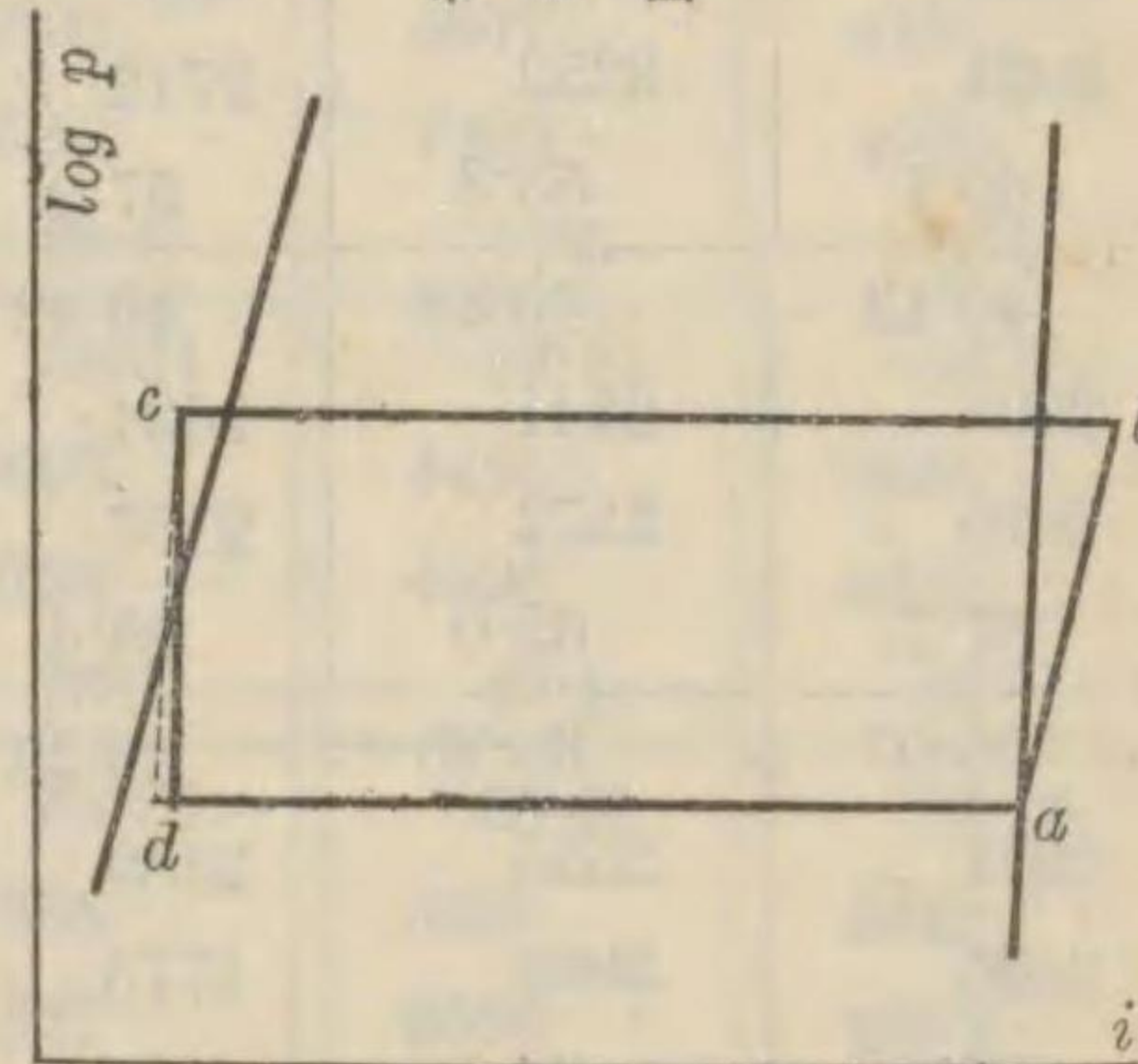
第 65 圖



第 66 圖



第 67 圖



第 68 圖

點ヲ有スル。但シ圖中 a, b, c, d ハ第 113 節ニ説明セル各點ニ相當スル。Ostertag, Eicherberg 等ノ $\text{NH}_3, \text{CO}_2, \text{SO}_2$ 圖及 Plank-Kuprianoff ノ CO_2 圖ハ第 65 圖ノ例ニシテ, Mollier, Jenkin, Langen 等ノ CO_2 圖ハ第 66 圖ノ例, Mollier, Macintire, Plank-Kuprianoff 等ノ CO_2 圖ハ第 67 圖ノ例, Bureau of Standards, Kuprianoff ノ NH_3 圖, Goodenough-Fisk ノ SO_2 圖ハ第 68 圖ノ例デアアル。

各圖ニ於テ冷凍効果 r kcal/kg, 壓縮機動力 A_w kcal/kg ハ下表ニ示ス如シ。

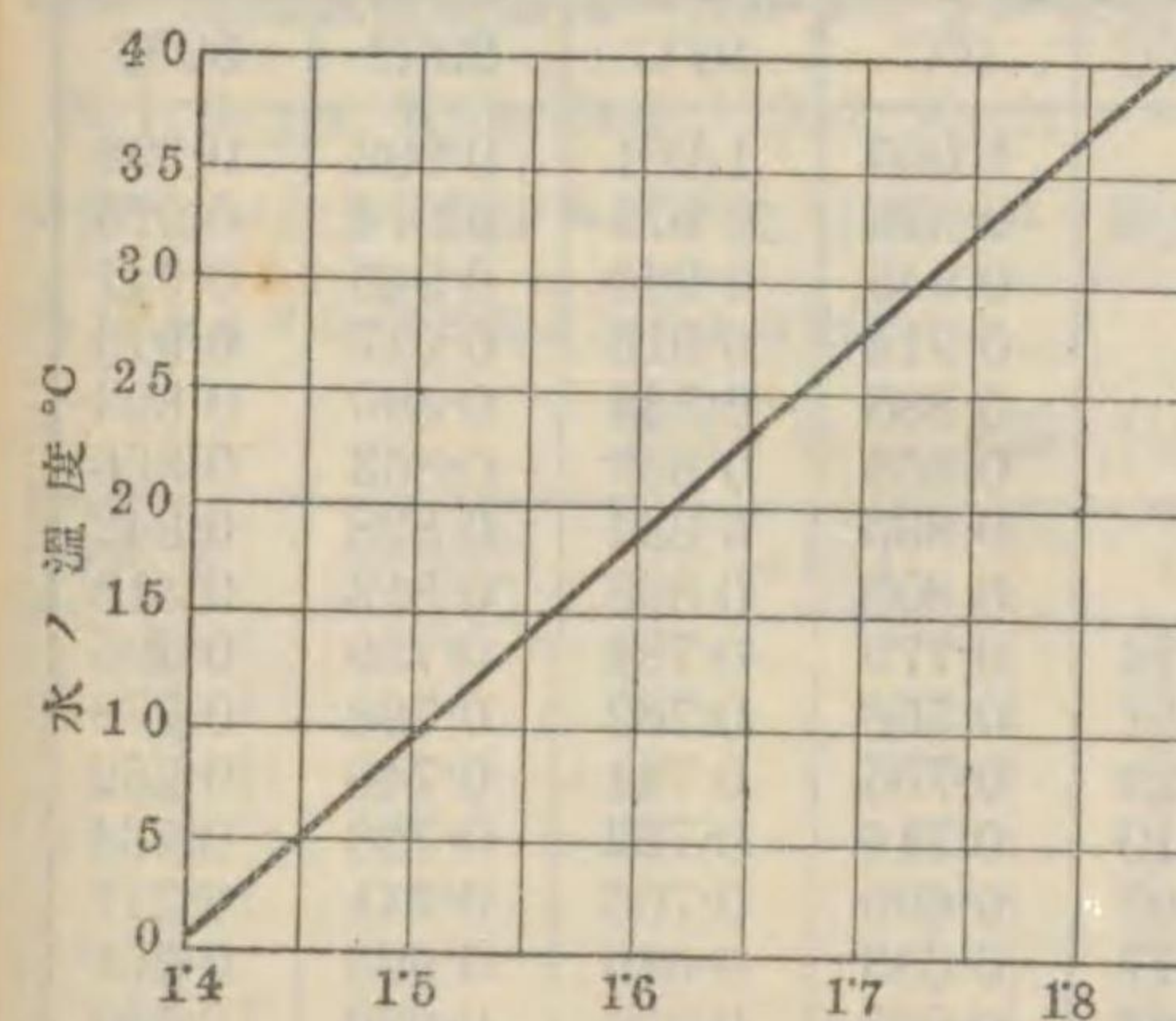
	第 65 圖	第 66 圖	第 67 圖	第 68 圖
冷凍効果	面積 $iad2$	ad ノ垂直距離	da ノ水平距離	da ノ水平距離
壓縮機動力	面積 $abcd_0a$	ab ノ垂直距離	ab ノ水平距離	ab ノ水平距離

118. 氷ノ溶解潜熱, 冷凍噸及製氷噸

冷凍噸ハ一晝夜 = 0°C ノ水 1 噸ヲ 0°C ノ氷ニスル冷凍能力ヲ云フ。氷ノ溶解潜熱ハ 79.68 kcal/kg 即チ 143.424 B.T.U./lb デアルカラ下表ノ如クナル。

單 位	kcal/h	B.T.U./h	B.T.U./24 h
冷 凍 噸	3320.0	13174.8	316195.2
冷 凍 英 噸	3373.3	13386.2	321269.8
冷 凍 米 噸	3024.0	12000	288000

米國 A.S.M.E. 及 A.S.R.E. 聯合會規定ハ 200 B.T.U./min (288000 B.T.U./24h) ヲ冷凍 1 噸ト稱シ, フランスデハ 1 kcal/h ノ冷凍能力ヲ frigorie ト稱スル。イギリス機械學會冷凍委員會(1914)ノ提唱スル冷凍單位ハ 1 kcal/s (342860 B.T.U./24h), 國際



製氷一噸ニ對スル冷凍噸

第 69 圖

冷凍噸比較表

噸	英噸	米噸
1	0.9842	1.0979
1.0161	1	1.1155
0.9108	0.8954	1

冷凍協會ノ國際冷凍單位委員會ハ之ヲ採用シテ frigorie ト命名セントスル氣運ニアルガ未ダ確定シナイ(1930)。

製氷噸トハ冷凍機ニテ實際ニ製氷スル場合ニ得ベキ氷ノ噸數ヲ基トシタモノデアツテ冷凍噸ノ $1.5 \sim 2$ 倍ニ相當スルト稱セラレルガ冷凍機ノ能力表示

法トシテ適當デ無イ。又實際ニ冷凍機ノ能力ヲ指定スルニハ冷凍溫度及冷却水溫度ヲ限定スル必要ガアルガ一定ノ標準ガ無イ。第 69 圖ハ實際ノ製氷噸ト冷凍機ノ冷凍力量噸トノ比ヲ示シ米國ヨーク會社スローン博士ノ實驗値デアアル。

119. 各種ブライン比熱表

次表ハ各種ブラインノ比熱 kcal/kg, 表中數字ノ記入ナキ部ハ結氷スル範圍デアル。

第 63 表 食鹽 (NaCl) 溶液ノ比熱

濃度 %	-20°C	-10°C	0°C	+10°C	+20°C	+30°C
0			1.006	1.002	0.999	0.998
2			0.966	0.969	0.973	0.977
4			0.944	0.947	0.951	0.955
6			0.923	0.927	0.930	0.933
8			0.904	0.907	0.910	0.913
10			0.885	0.889	0.892	0.895
12			0.869	0.872	0.875	0.878
14		0.851	0.854	0.857	0.860	0.862
16		0.838	0.840	0.843	0.845	0.848
18		0.825	0.827	0.830	0.832	0.834
20		0.812	0.814	0.816	0.818	0.821
22	0.795	0.798	0.801	0.804	0.806	0.808
24		0.787	0.789	0.791	0.793	0.795
26		0.776	0.778	0.780	0.781	0.783

(H. Gröber, Z. f. d. ges. Kälte-Industrie, 1909, 頁 41)

第 64 表 鹽化カルシウム (CaCl₂) 溶液ノ比熱

濃度 %	-40°C	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C
0					1.005	1.001	0.999	0.998
2					0.976	0.975	0.974	0.973
4					0.945	0.946	0.946	0.947
6					0.914	0.916	0.917	0.919
8					0.885	0.888	0.890	0.893
10					0.858	0.860	0.863	0.866
12					0.830	0.834	0.838	0.842
14					0.803	0.808	0.813	0.818
16				0.774	0.779	0.784	0.789	0.795
18				0.751	0.756	0.762	0.768	0.773
20				0.729	0.735	0.741	0.746	0.752
22			0.704	0.710	0.716	0.722	0.728	0.734
24			0.687	0.693	0.699	0.705	0.711	0.717
26		0.665	0.671	0.677	0.683	0.689	0.695	0.701
28	0.644	0.650	0.656	0.662	0.668	0.674	0.680	0.686
30	0.630	0.636	0.642	0.648	0.654	0.660	0.666	0.672
32		0.621	0.627	0.633	0.639	0.645	0.651	0.658
34				0.620	0.626	0.633	0.639	0.646
36					0.613	0.620	0.627	0.633
38						0.606	0.614	0.621
40							0.602	0.609

(W. Koch, Z. f. d. ges. Kälte-Industrie, 1922, 頁 37)

第 65 表 鹽化マグネシウム (MgCl₂) 溶液ノ比熱

濃度 %	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C
0				1.005	1.001	0.999	0.998
2				0.973	0.973	0.974	0.974
4				0.943	0.944	0.945	0.947
6				0.913	0.915	0.918	0.920
8				0.883	0.886	0.889	0.893
10				0.853	0.857	0.861	0.865
12			0.821	0.825	0.830	0.835	0.840
14			0.794	0.799	0.804	0.810	0.815
16		0.762	0.768	0.774	0.780	0.786	0.792
18		0.739	0.745	0.751	0.758	0.765	0.771
20	0.712	0.719	0.724	0.730	0.737	0.743	0.749
22		0.698	0.708	0.710	0.716	0.723	0.729
24		0.678	0.684	0.690	0.697	0.703	0.710
26		0.659	0.665	0.671	0.677	0.684	0.690
28			0.647	0.653	0.659	0.665	0.671
30			0.627	0.633	0.640	0.646	0.652
32			0.609	0.615	0.621	0.627	0.634
34				0.596	0.602	0.609	0.615

(W. Koch, Z. f. d. ges. Kälte-Industrie, 1922, 頁 37)

120. 濃度及溫度變化ニヨルブライン比重ノ變化

Z. f. d. ges. Kälte-Ind., 1924, Koch ニヨル値ヲ次表ニ示ス。任意ノ溫度ニ於ケルブラインノ比重ヲ測定スレバ次ノ三表ニヨリ溶液ノ濃度ヲ定メ得ル故之ヲ用イテ第 63~65 表ニヨリ比熱ヲ求ムルコトガ出來ル。

第 66 表 食鹽 (NaCl) 溶液ノ比重

濃度 %	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C
0			1.000	1.000	0.998
2			1.015	1.014	1.012
4			1.030	1.028	1.026
6			1.045	1.043	1.040
8			1.061	1.058	1.055
10			1.077	1.073	1.070
12			1.092	1.089	1.085
14		1.111	1.108	1.105	1.101
16		1.127	1.124	1.120	1.116
18		1.144	1.140	1.136	1.132
20		1.160	1.156	1.152	1.147
22	1.181	1.177	1.173	1.168	1.163
24		1.194	1.189	1.184	1.179
26		1.211	1.206	1.201	1.196

第 67 表 鹽化カルシウム (CaCl₂) 溶液ノ比重

濃度 %	-40°C	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C
0					1.000	1.000	0.998
2					1.018	1.017	1.016
4					1.035	1.034	1.033
6					1.053	1.052	1.050
8					1.071	1.069	1.067
10					1.089	1.087	1.084
12					1.108	1.105	1.102
14					1.127	1.124	1.120
16				1.149	1.146	1.143	1.139
18				1.169	1.166	1.162	1.158
20				1.190	1.186	1.182	1.178
22			1.214	1.211	1.207	1.202	1.198
24			1.236	1.232	1.227	1.223	1.218
26		1.263	1.258	1.253	1.249	1.244	1.239
28	1.290	1.285	1.280	1.275	1.270	1.265	1.260
30	1.313	1.308	1.302	1.298	1.293	1.287	1.282
32		1.332	1.326	1.321	1.315	1.310	1.305
34			1.350	1.344	1.338	1.332	1.326
36					1.361	1.354	1.348
38						1.377	1.371
40							1.393

第 68 表 鹽化マグネシウム (MgCl₂) 溶液ノ比重

濃度 %	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C
0			1.000	1.000	0.998
2			1.017	1.017	1.015
4			1.035	1.034	1.032
6			1.052	1.051	1.049
8			1.070	1.069	1.066
10			1.088	1.086	1.084
12			1.106	1.104	1.102
14			1.125	1.122	1.120
16		1.146	1.143	1.141	1.138
18	1.167	1.165	1.162	1.160	1.157
20	1.187	1.185	1.182	1.179	1.176
22	1.207	1.205	1.202	1.199	1.196
24	1.228	1.225	1.222	1.219	1.216
26	1.248	1.246	1.243	1.240	1.237
28		1.267	1.264	1.261	1.258
30		1.288	1.285	1.282	1.279
32		1.309	1.306	1.302	1.299

121. ブラインノ比重及體積比熱線圖

各種ブラインノ單位體積ニ對スル比熱ハ實用上便利ナル。第 70 圖ハ鹽化カルシウム・ブラインノ體積比熱 kcal/l·°C, 第 71 圖ハ其ノ比重ヲ示ス。コレハ Z. f. d. ges. Kälte-Industrie, 1924, 頁 105, Koch ノ値ヲ用イテ作製シタモノナル。

122. 凝 縮 器

凝縮器ニテ排除スベキ熱量 S kcal/h ハ第

114 節ニ示シタ如ク

$$S = R + 632 N_i$$

凝縮器ノ冷却水ノ溫度ヲ入口 t_c°C, 出口

t_b°C トスレバ冷却水量

M m³/h ハ

$$M = S / \{1000(t_b - t_c)\}$$

水漬ケ凝縮器ニテハ

(t_b - t_c) ハ 5~10°C,

傳熱係數ハ 1200~

1500 kcal/m²·hニシテ

媒質ノ冷却ハ冷水溫度

以上約 3~5°Cトナル。

注水凝縮器ニテハ水

漬ケ型ヨリモ冷却水所

要量ハ少ナク蒸發ニ依

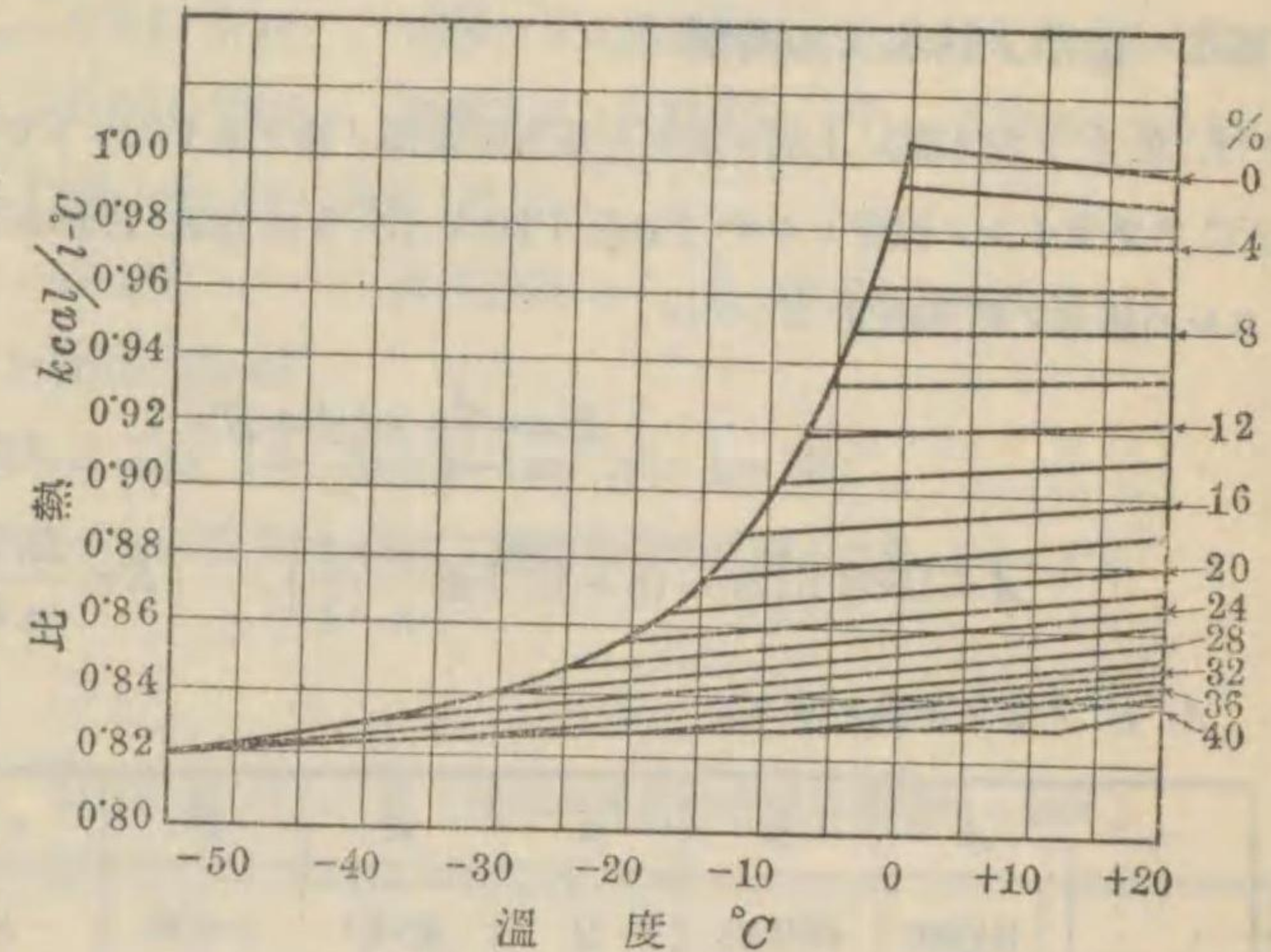
ル損失ヲ補給スレバヨ

イカラ水漬ケノ場合ノ

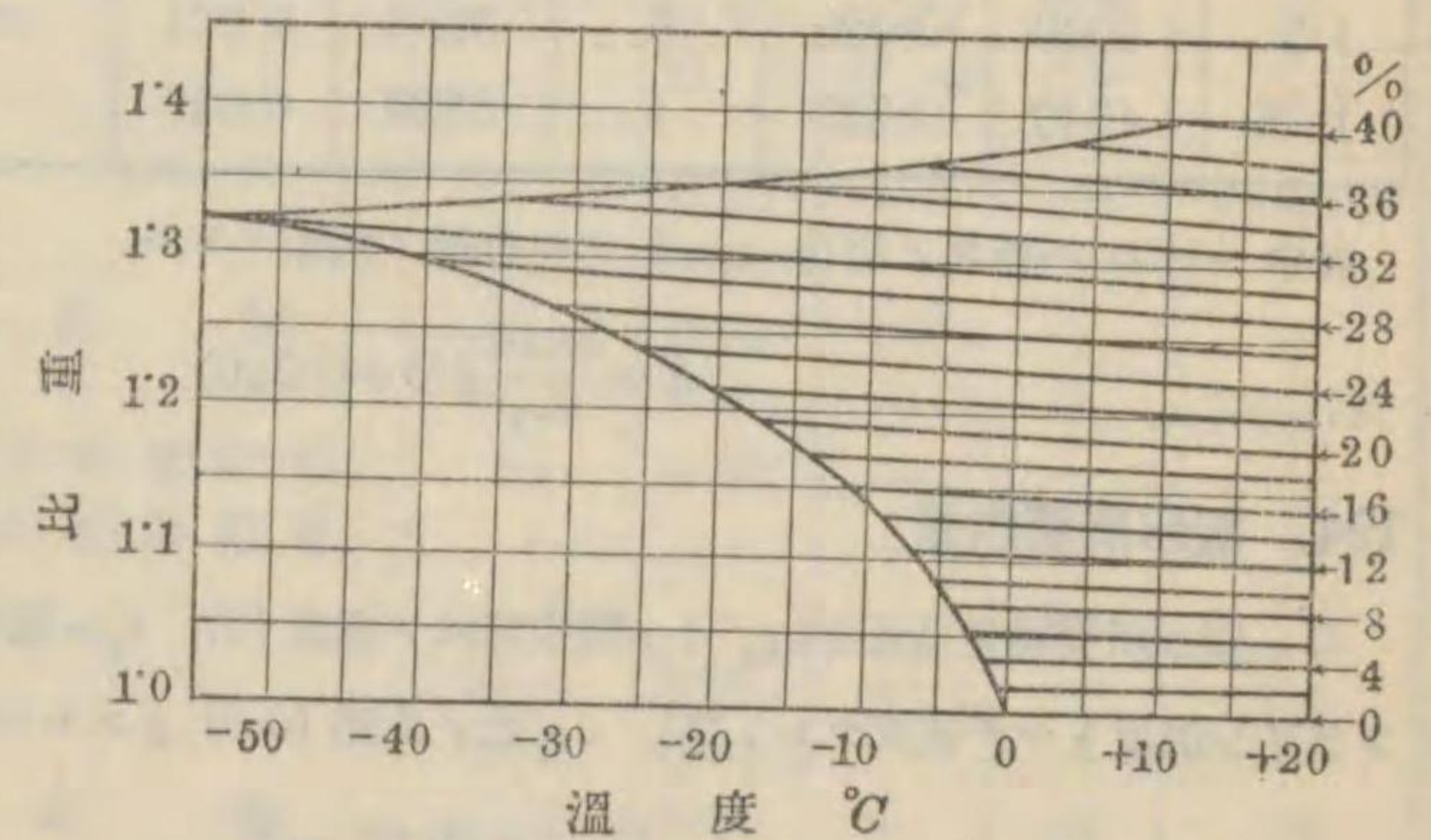
約 1/3 位ナル。傳熱

係數ハ 900~1200 kcal/m²·h, 媒質ノ冷却溫度ハ冷却水溫度以上 3°C 位ナル。但シ

過熱ガス・アンモニアヲ下部ヨリ注入スル型ニ於テハ傳熱係數 3000~5000 kcal/m²·hト



第 70 圖



第 71 圖

モノリ媒質ノ冷却モ冷却水溫度以上 3°C 未滿=マデ至ラシメ得。

二重管型凝縮器=テハ二重管内=高速〔最高 2 m/s〕ノ冷却水ヲ循環セシムル故傳熱係數大=シテ 4000~6000 kcal/m²-h, 媒質ノ冷却モ冷却水溫度以上 2°C 未滿=達シ得。

蒸發器=於テモ大約上記ト同様ノ傳熱係數ヲ使用スルコトガ出來ル。

123. 罐氷ノ結氷スル時間

h 及 b ヲ製氷罐ノ上部=於ケル矩形型断面ノ邊ノ長サ m トシ, $n=h/b$ (但シ $h>b$), t °C ヲブラインノ溫度トシテ Prof. Plank (Z. f. d. ges. Kälte-Ind. 1913, 頁 109) = ヨレバ罐氷ノ結氷時間 Z ハ

$$Z = \frac{A}{-t} \times b(b+B).$$

$$A = 1562.5 \left\{ 2n - (n-1)^2 \log \frac{n+1}{n-1} \right\}, \quad B = \frac{5n+4}{n+1} \cdot \frac{25}{A}$$

A, B ノ値ヲ下表=示ス。

n	A	B	n	A	B	n	A	B
1	3120	0.036	2	4540	0.026	8	5770	0.0215
1.25	3690	0.031	2.5	4830	0.025	20	6100	0.0205
1.5	4060	0.029	3	5050	0.024	∞	6250	0.0200
1.75	4340	0.027	4	5320	0.023			

表中 $n=\infty$ ハ板氷ノ場合, $n=2$ ナル普通ノ氷罐=テハ

$$Z = \frac{4540}{-t} b(b+0.026)$$

124. 製氷所要熱量

Q =製氷所要熱量 kcal/kg, t =製氷用水ノ溫度 °C, t_i =製出スベキ氷ノ溫度 (大約ブライン溫度トシテ差支ナシ) °C, c =氷ノ比熱 (0.5) トスレバ

$$Q = t + 79.68 - ct_i.$$

此ノ他=溶解損失 5~8% アルカラ全部ヲ含シテ 120~160 kcal/kg ヲ用ウレバヨイ。

125 固形炭酸ノ熱性質

i. 二酸化炭素 (CO₂) ノ三重點=於ケル性質

三重點壓力 $p_{tr} = 5.28 \text{ kg/cm}^2 \text{ abs.}$, 三重點溫度 $t_{tr} = -56.6^\circ\text{C}$

飽和瓦斯體積 $v'_{tr} = 72.220 \text{ l/kg}$

飽和液體體積 $v''_{tr} = 0.849 \text{ l/kg}$ 液體ヨリノ蒸發潛熱 $r''_{tr} = 83.12 \text{ kcal/kg}$

飽和固體體積 $v'''_{tr} = 0.661 \text{ l/kg}$ 固體ヨリノ昇華潛熱 $r'''_{tr} = 129.88 \text{ kcal/kg}$

ii. 二酸化炭素ノ常壓 (760 mmHg) 固體ノ性質

昇華溫度 $t'''_{at} = -78.5^\circ\text{C}$ 昇華潛熱 $r'''_{at} = 136.82 \text{ kcal/kg}$

比重 $\gamma'''_{at} = 1.5633 \text{ g/cm}^3$

iii. 固形二酸化炭素 (商品名 Dry Ice, Magic Ice, Air Ice 等)

液化 CO₂ ノ膨脹=依テ生ズル固體 CO₂ 粉末ヲ壓縮集塊セルモノノ比重 1.1~1.2.

126. 冷凍溫度ノ表

第 69 表ノ 1 冷凍溫度ノ表 (日本冷凍協會冷凍計畫資料=依ル)

品 名	狀 態	溫度 °C	比 熱		凍結ノ潛熱 kcal/kg	關係溫度 %
			凍結點以上ノ場合	凍結點以下ノ場合		
林檎	—	-1~2	0.92	—	—	78~79
バナナ	—	1~2	0.92	—	—	—
櫻桃	新 鮮	-1~2	0.92	—	—	—
葡萄	—	0~5	0.90	—	—	78~79
蜜柑	短距離輸送	10	0.92	—	—	—
"	長距離輸送	1	—	—	—	—
煙草	—	2~6	—	—	—	—
胡瓜	—	3~5	0.91	—	—	—
タマネギ	—	0~5	0.91	—	—	—
豌豆	乾 燥	5~7	0.90	—	—	—
馬鈴薯	—	1~5	0.80	0.42	59.5	—
穀物	乾 燥	1~7	—	—	—	—
麥	—	2~5	—	—	—	—
米	—	5~7	—	—	—	—

第 69 表ノ 2 冷 凍 温 度 ノ 表 (日本冷凍協會冷凍計畫資料ニ依ル)

品 名	状 態	温 度 °C	比 熱		凍 結 ノ 潜 熱 kcal kg	關 係 温 度 %
			凍 結 點 以 上 ノ 場 合	凍 結 點 以 下 ノ 場 合		
蠶 種	—	1~3	—	—	—	—
牛 肉	新鮮短距離輸送	1~4	0.68	0.38	47.8	—
"	新鮮長距離輸送	-1	0.68	0.38	47.8	—
"	凍 結	-9~-4	—	—	—	—
バ タ ー	—	1~3	0.64	0.84	46.7	—
"	凍 結 ス ル 場 合	-7	—	—	—	—
罐 詰 品	—	1~2	—	—	—	—
家 禽	凍 結 セ ル モ ノ	-7~-1	0.78	0.40	56.7	—
"	凍 結 ス ル ニ ハ	-18	—	—	—	—
毛 皮	ナメサザルモノ	-2~2	—	—	—	—
卵	—	-2~2	0.76	0.40	56.2	82~83
豚	—	-1~1	—	—	—	—
チ ー ス	—	-2~1	0.64	—	—	—
チョコレート	冷 ス 場 合	5	0.65	—	—	—
アイスクリーム	短 距 離 輸 送	-9	—	—	—	—
牛 乳	—	-1~2	0.90	0.47	70.0	—
清 酒	—	-4~2	0.90	—	—	—
ビ ー ル	樽 詰	1~6	0.90	—	—	—
サイダー	—	-1~5	0.90	—	—	—
ホルドー葡萄酒	—	7~10	0.90	—	—	—
魚	新鮮凍結セザルモノ 短距離輸送	-7~1	0.82	0.40	61.7	—
淡水魚	凍 結	-8~-7	—	—	—	—
鹹水魚	凍 結	-10	—	—	—	—
魚 類	乾 燥	1~3	0.58	—	—	—
"	凍 結 ス ル 場 合	-15	—	—	—	—
節 類	—	1~5	—	—	—	—
鍊 鉢	油漬, 罐詰	5	—	—	—	—
蒲 鉾	—	0~1	—	—	—	—
鮭	薄 鹽 物	0	—	—	—	—
蝦	—	-9~-6	0.81	0.42	60.0	—
羅 紗 類	—	-4~2	—	—	—	—

第 10 章 煖 房 及 換 気

127. 本邦主要都市ノ平均温度及湿度

第 70 表 本邦主要都市ニ於ケル一日平均温度ノ最低及最高温度 °C

地 名	大 泊	札 幌	函 館	青 森	秋 田	東 京	新 潟	名 古 屋	金 澤
最 高	25.7	30.9	29.8	32.4	32.8	33.3	34.7	34.9	34.2
最 低	-15.5	-11.8	-7.3	-4.5	-4.9	-1.3	-1.1	-0.9	-0.5

地 名	京 都	大 阪	廣 島	福 岡	釜 山	仁 川	奉 天	大 連
最 高	35.3	35.2	34.6	—	32.3	33.4	34.6	32.4
最 低	-2.3	0.3	-0.1	1.0	-1.7	-7.2	-19.2	-9.1

第 71 表 本邦主要都市ニ於ケル平均湿度 %

地 名	大 泊	札 幌	函 館	青 森	秋 田	東 京	新 潟	名 古 屋	金 澤
1 月	82	80	77	80	81	64	83	75	80
2 月	82	80	75	78	79	62	81	70	78
7 月	82	80	86	82	86	83	83	78	—
8 月	88	84	84	81	85	82	81	78	78

地 名	京 都	大 阪	廣 島	福 岡	釜 山	仁 川	奉 天	大 連
1 月	78	72	72	74	50	67	64	66
2 月	75	71	70	73	50	67	61	64
7 月	78	77	79	82	82	84	74	83
8 月	77	75	76	82	78	80	77	79

128. 煖房温度表

煖房ニヨツテ保ツベキ温度ハ場所ニヨツテ多少異ナルガ大體下表ノ値ヲ標準トスル。

建物ノ種類	住 宅	寢 室	浴 場	事 務 所	學 校	病 室
温 度 °C	18~21	12~14	20~22	18~21	18	20~21

建物ノ種類	診 察 室 及 手 術 室	教 會	劇 場	工 場	温 室
温 度 °C	22~27	18	18	13	20~22

129. 換 気

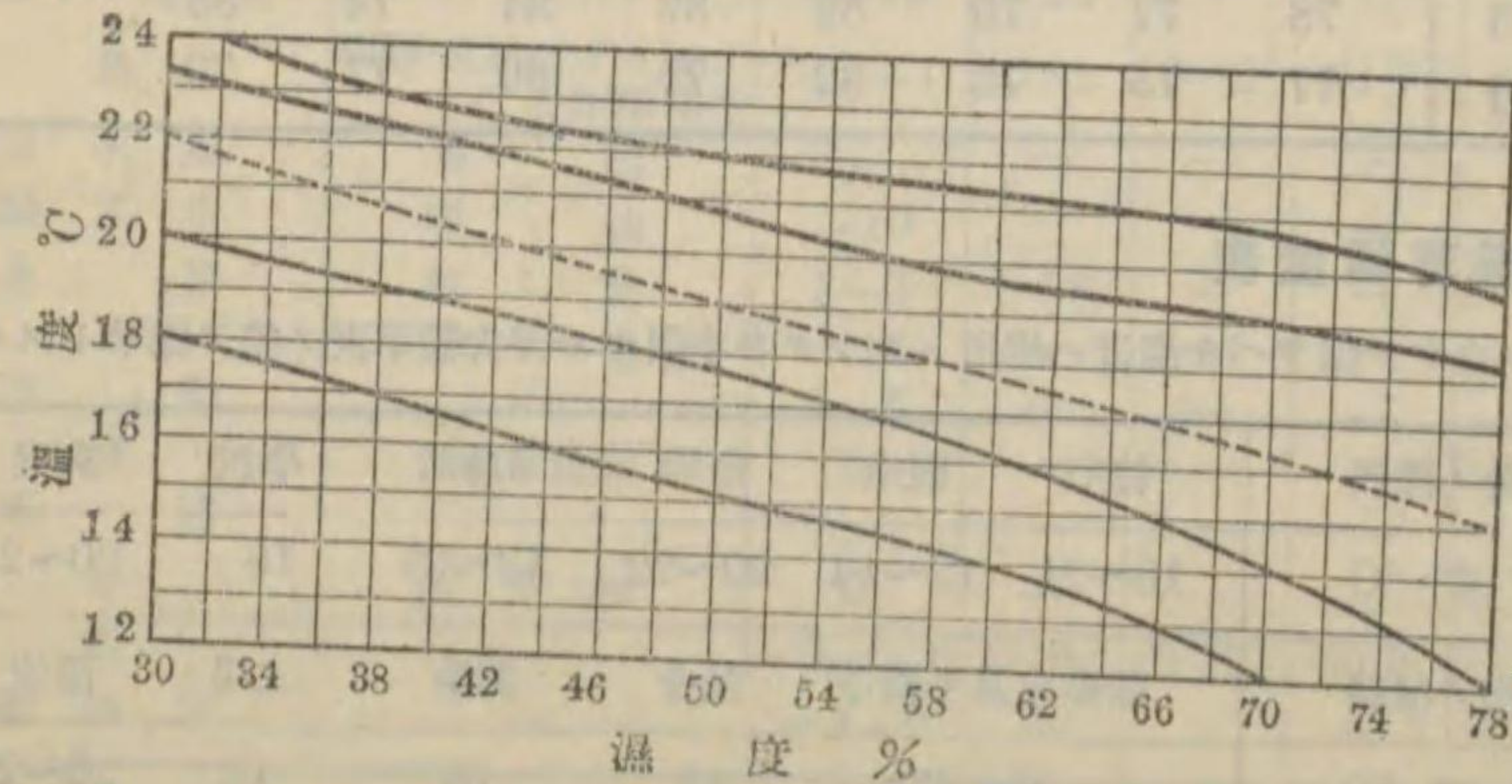
室内空気ハ人ノ呼吸、發汗其他ノ原因ニヨリテ汚サレル。人ノ呼吸ノミニヨツテ空気ノ汚サレル程度ハ次表ノ通りデアル。

成分名		酸素	窒素	二酸化炭素	水(水蒸気)
成分ノ重量比 %	清浄ナル空気	20.26	78.00	.04	1.50
	呼吸セシ空気	16.2	75.0	4.0	5.0

肺臟ヨリ排出スル空気ノ温度ハ 31~37°C, 關係湿度ハ殆ド 100% デアル。二酸化炭素ハ上表ニヨリテ明カナルガ如ク呼吸ノタメニ 100 倍ノ増加ヲ示ス。空气中ニ於ケル二酸化炭素ノ含有量ガ 0.1% ニナルト頭痛其他ノ不快ヲ感ズルカラ 0.07% ノ含有量ヲ限度トナスベキモノデ、大人 1 分間ノ呼吸量ハ 0.068 m³ デアルカラ此等條件カラ換気スベキ量ヲ求メ得ル。燃燒ニヨリテ生ズル瓦斯、人、燈火、機械類ヨリ發生スル熱及蒸気等ハ室内空気状態ヲ甚シク不淨不快ナラシメル。人體ニ及ボス快不快ノ感ハ唯ニ温度湿度ノミナラズ空気ノ流動ニモ大イニ關係スルケレドモ後者ハ人ニ依リ差異ガ甚シイカラ前二者ノ關係ノミニ就テ論ズレバ、快感ヲ感ズル温度ト湿度トノ關係ハ $\lambda = \text{關係湿度} \%$, $t = \text{温度} \text{ } ^\circ\text{C}$ トスレバ

$$\lambda = 100 - 8(t - 11.25)$$

ニテ表ワスコトガ出來ル。第 72 圖ニ示ス如ク之ヲ標準トスル或範圍ヲ快感帶ト稱シ室内空気ノ状態ハ此快感帶内ニ存在スル様心掛クベキデアル。



第 72 圖

第 72 表 換 気 量 表

場 所		每人毎時間ニ要スル空気量 m ³	場 所		每人毎時間ニ要スル空気量 m ³
學 校	小 人	50~60	劇 場 共 他	大 集 會 場	40~50
	大 人	60~70			
病 院	一般病室	70~80	工 場	非衛生的仕事ヲナス工場	40~50
	外科病室	90~100			
	傳染病室	180~200			

第 73 表 換 気 回 數 表

場 所	毎時間ノ換気回数	場 所	毎時間ノ換気回数
事 務 所	2	化 粧 室	6
住 宅	2	便 所	8
地 下 室	4	臺所料理場	10~15

130. 人體燈火ヨリ發生スル熱量

人體又ハ燈火ヨリ發生スル熱量ハ劇場、集會場等ノ如キ多人數ノ集合スルモノデハ之ヲ考慮スルガ其他ノ場合ニ於テハ之ヲ無視シテモヨイ。

第 74 表 毎時間發散スル熱量 cal

靜止スル人	100	電 燈	(電燈ノワット數) × (電燈數) × 860
運動スル人	125	瓦 斯 燈	照明ガス 1 m ³ = 付 6400

131. 建築物ノ損失熱量

室ノ内外ニ温度ノ差アル時、周壁ヲ通シテ失ワル、熱量ハ壁、窓、扉、床、天井及屋根ヨリ屋外ニ傳達スルモノト室内換気ノ爲窓、扉、其他ヨリ侵入スル外氣ヲ暖ムルニ要スルモノトノ和デアル。

各種傳熱面ヨリ失ワル、熱量ヲ第 75 表ニ示ス。尙次ノ如キ場合ニハ更ニ次表ノ通り増加スル。

外氣ニ接スル壁面過多ナル時	5%	天井ノ高サ 4 m 以上ノ時	3.3%
東、西ニ面スル壁	10%	天井ノ高サ 4.5 m 以上ノ時	6.7%
北、北西ニ面スル壁	20%	天井ノ高サ 5.5 m 以上ノ時	10%

第 75 表 損 失 熱 量 表 (kcal/m²-h)

傳導面種類	壁厚 mm	溫 度 差 °C							
		1	5	10	15	18	20	23	25
	12	2.80	14.0	28.0	42.0	50.0	56.0	65.0	70.0
	25	2.00	10.0	20.0	30.0	36.0	40.0	46.0	50.0
	38	1.50	7.5	15.0	22.5	27.0	30.0	35.5	37.0
	51	1.30	6.5	13.0	19.5	23.5	26.0	30.0	32.0
	64	1.10	5.5	11.0	16.5	19.8	22.0	25.0	27.5
	77	.90	4.7	9.5	14.2	17.0	19.0	22.0	23.0
	90	.80	4.0	8.0	12.0	14.4	16.0	18.4	20.0
	103	.70	3.5	7.0	10.5	12.6	14.0	16.1	17.5
	116	.65	3.25	6.5	9.75	11.7	13.0	15.0	16.3
	砂 岩 石 壁 (石灰石壁 ノトキハ 10%増シ)	30	2.70	13.5	27.0	40.5	48.5	54.0	62.0
40		2.30	11.5	23.0	34.5	41.5	46.0	53.0	59.5
51		2.10	10.5	21.0	31.5	38.0	42.0	48.0	52.5
64		1.90	9.5	19.0	28.5	34.0	38.0	43.0	47.5
71		1.70	8.5	17.0	25.5	30.0	34.0	39.0	42.5
81		1.50	7.5	15.0	22.5	27.0	30.0	34.5	37.0
90		1.40	7.0	14.0	21.0	25.0	28.0	32.0	35.0
103		1.30	6.5	13.0	19.0	23.5	26.0	30.0	32.5
116		1.20	6.0	12.0	18.0	21.5	24.0	27.5	30.0
130		1.10	5.5	11.0	16.0	20.0	22.0	25.0	27.5
漆 喰 壁	4~9	3.50	17.5	35.0	52.5	63.0	70.0	80.0	87.5
	9~10	2.80	14.0	28.0	42.0	50.0	56.0	65.0	70.0
床		.41	2.05	4.1	6.5	7.3	8.2	9.5	10.25
		1.20	6.0	12.0	18.0	21.5	24.0	28.5	30.0
		.95	4.75	9.5	14.25	17.0	19.0	22.0	23.75
		1.20	6.0	12.0	18.0	21.5	24.0	28.5	30.0
		.54	2.8	5.4	8.4	9.7	11.4	12.4	14.1
	.48	2.4	4.8	7.2	8.6	9.6	11.0	12.0	
天 井		.60	3.0	6.0	9.0	10.4	12.0	13.8	15.0
		.80	4.25	8.5	12.75	15.3	17.0	19.5	21.0
窓	一重	6.00	30.0	60.0	90.0	108.0	120.0	138.0	150.0
	二重	2.70	13.5	27.0	40.5	48.5	54.0	62.0	67.5
スカイライト	一重	6.30	31.5	63.0	94.5	114.0	126.0	145.0	157.5
	二重	2.80	14.0	28.0	42.0	50.0	56.0	64.0	70.0
戸		2.40	12.0	24.0	36.0	43.0	48.0	55.0	60.0

尙建築物ノ壁、窓、扉等ノ隙間ヨリ寒冷ナル外氣ガ侵入スルカラ之ヲ適當ナル溫度迄上昇セシメナケレバナラス。從ツテ建築物ノ損失熱量ヲ計算スルニハ此等ノ熱量モ共ニ計算スベキモノニシテ此ノ熱量計算ノ一方法トシテ室内空氣全部ガ1時間ニ幾回換ルカヲ假定スル。第 76 表ハ侵入空氣ニヨツテ換ルト假定スル回数ヲ示ス。

第 76 表 外 氣 侵 入 量 表

普 通 ノ 室			入口横間	百貨店、劇場集會場 等ノ入口
一方窓	二方窓	三方窓		
1	1 1/2	2	2	4~6

132. 暖房換気ノ種類

使用スル熱媒介物ニ依ツテ暖房装置ヲ區別スレバ蒸気暖房装置、温水暖房装置、温風暖房装置ノ三種トナル。他ニ電気暖房装置、瓦斯暖房装置、オンドル及ペーチカ等アレドモ採暖法トモ稱スベキモノナルヲ以テ省略スル。

蒸気暖房法ハ更ニ細分スレバ (1) 高壓蒸気暖房 (2) 低壓蒸気暖房 (3) 大気壓蒸気暖房 (4) 眞空蒸気暖房ノ四種類トナリ、更ニソノ還水處理ノ方法ニヨリ (a) 吹放シ式蒸気暖房 (b) 重力式蒸気暖房 (c) 半重力式蒸気暖房 (d) 眞空式蒸気暖房ニ分レル。

(1) ハ 1 kg/cm² 内外ノ壓力アル蒸気ヲ、(2) ハ 0.14~0.36 kg/cm² ノモノヲ、(3) ハ大気壓ニ近キモノヲ使用スル時、(4) ハ眞空ポンプニ依リ還水管内ノ壓力大気壓以下ナル時、(a) ハ蒸気トラップヲ使用シテ凝結水ヲ外部ニ吹出サシムル場合、(b) ハ凝結水ガ重力作用ニヨリ自然ニ罐ニ復歸スル時、(c) ハ (b) ト同様デアルガポンプヲ用イテ還水ヲ罐ニ復歸セシムル場合デ (d) ハ眞空ポンプニ依リ還水管ニ眞空ヲ生ゼシメ凝結水ヲ復歸セシムル場合デアル。

温水暖房装置ハ温水ノ循環ヲ誘起スル方法ニヨリ (1) 重力式温水暖房、(2) 加速循環式温水暖房、(3) 強制循環式温水暖房装置ニ分レル。(1) ハ重力作用ニヨリテ自然循環ヲナスモノ (2) ハ重力ノミニヨル循環作用ヲ補ウ爲ニ蒸気又ハ空氣ヲ利用スルモノ、(3) ハ重力作用ノミニ因ル循環作用ヲ補ウタメ循環ポンプヲ用ウルモノデアル。

蒸気暖房装置ハ温気爐暖房及温気暖房装置ノ二種ニ分レ前者ハ小建築物ニ用イラレ火力ヲ直接使用シテ空氣ヲ暖メ之ニ依リテ室内ヲ暖ムルモノ後々ハ所謂換気暖房装置トシテ

般=使用セラル、モノデアル。尙蒸気又ハ温水暖房法=於テ室内=放熱器ヲ設置シタルモノヲ直接暖房装置ト云イ、別=熱気器ヲ置キテ温メタル空氣ヲ室内ニ導キテ暖房スルモノヲ間接暖房装置ト稱シテ區別スルコトガアル。

133. 放熱器及熱気器種類

現今一般=使用セラルルノハ鑄鐵製及鐵管製ノモノニシテ後者ハ鐵管ヨリ組立テラル、モノデアルカラ其ノ形狀ガ一定シナイガ前者ハ鑄型ノ關係上各製造會社ニヨリ一定セルモノデアル。現今我國=於テ使用セラル、型ハアメリカン・ラヂエーター會社製品型(第77表參照)ノモノデアルガ衛生工業協會ニテ決定セシ基本型ハ第78表ノ如キモノデアツテ全部温水型デアル。其他衛生工業協會ノ基本型以外ニ一般=使用セラル、モノ=壁掛型放熱器7-BB, 9-B等ガアル。温風暖房=使用セラル、モノ=ハセントヒーターガアル。

放熱器ノ放熱量ハ大體=於テ低壓蒸気ヲ用ウル直接暖房装置ニテハ 1000 kcal/m²-hノ熱量ヲ放出シテ約 0.55 kg/m²-hノ凝縮水ヲ生ジ、温水暖房装置ニテハ 650 kcal/m²-hノ熱量ヲ出スモノト見込デヨイ。セントヒーター其他ノ熱気器=於テハ風速及蒸気ノ壓力如何=依リ放出スル熱量=大差アルモノデアル。

第77表 鑄鐵製放熱器主要寸法(現今我國=使用セラル、モノ)

公 稱 高 in		45	38	32	26	23	20
一 柱	放熱面積 ft ²		3	2 $\frac{1}{2}$	2	1 $\frac{2}{3}$	1 $\frac{1}{2}$
	長サ(刻ミ) in		2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$
	足 幅 in		5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$
二 柱	放熱面積 ft ²	5	4	3 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{2}{3}$	2 $\frac{1}{3}$	2
	長サ(刻ミ) in	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$
	足 幅 in	8 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$
三 柱	放熱面積 ft ²	6	5	4 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{3}{4}$	3	2 $\frac{1}{4}$
	長サ(刻ミ) in	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$
	足 幅 in	10	10	10	10	10	10

第78表 衛生工業協會撰定鑄鐵製放熱器主要寸法表

公 稱 高 mm		1150	950	800	700	600	500
二 柱	放熱面積 m ²	0.44	0.35	0.29	0.25	0.21	0.17
	長サ(刻ミ) mm	65	65	65	65	65	65
	柱間連結部段數	0	0	0	0	0	0
三 柱	放熱面積 m ²	0.52	0.42	0.35	0.30	0.25	0.25
	長サ(刻ミ) mm	65	65	65	65	65	65
	柱間連結部段數	1	1	1	0	0	0
コルト	放熱面積 m ²		0.39	0.32	0.28	0.23	0.18
	長サ(刻ミ) mm		50	50	50	50	50
	柱間連結部段數		1	1	1	0	0

現在我國=於テ一般=使用セラル、放熱器タッピングハ次表ノ如シ。

1. 低壓蒸気暖房=於ケルタッピング(二管式)

放熱面積 m ²	入 口 mm	出 口 mm	放熱面積 m ²	入 口 mm	出 口 mm
2.4迄	14	14	11	25	14
5	20	14	11以上	34	20

2. 眞空式低壓蒸気暖房=於ケルタッピング

放熱面積 m ²	入 口 mm	出 口 mm	放熱面積 m ²	入 口 mm	出 口 mm
2.8	14	14	11.2	25	14
5.6	20	14	11.2以上	34	20

3. 上向重力式温水暖房=於ケルタッピング(二管式)

タッピング (出入口同ジ) mm	放 熱 面 積 m ²			
	一 階	二 階	三 階	四 階
20	2.8	3.7	4.2	4.6
25	5.6	7.0	7.5	7.9
34	10.0	11.2	11.5	14.0
39	17.0	17.5	20.0	21.5

4. 下向重力式温水暖房=於ケルタッピング(二管式)

タッピング(出入口同ジ) mm	20	25	34
放熱面積 m ²	4.5	11.2	18.5

134. 温水暖房装置ノ配管

温水暖房装置ハ種類多ク、配管寸法ハ種類=從ツテ變化スル。

1. 重力式温水暖房装置

第79表 上向重力式温水暖房装置=於ケル主管徑

管 徑 mm		34	39	49	63	76	88	100
放熱器面積 m ²		10	13	20	32	73	65	80
管 徑 mm	119	131	156	169	192	216	264	290
放熱器面積 m ²	102	125	160	335	450	560	910	1300

第80表 上向重力式温水暖房装置=於ケル支管及立上リ管內徑

管 徑 mm		20	25	34	39	49	65	76	88	100	119
放熱器面積 m ²	一階	2.7	5.5	10	17	27	37	57	75	100	125
	二階	4	7	11	18	30	45	60	81	103	130
	三階	5	8	12	19	32	47	64	86	110	137
	四階	6.5	9	14	21	34	50	69	90	116	145

第81表 下向重力式温水暖房装置=於ケル主管徑

管 徑 mm		34	39	49	65	76	88	100
放熱器面積 m ²		14	23	33	50	85	120	170
管 徑 mm			131	156	169	192	264	290
放熱器面積 m ²			195	460	670	930	1200	1450

第82表 下向重力式温水暖房装置=於ケル立上リ管徑

管 徑 mm	20	25	34	39	49	65	76
放熱器面積 m ²	4.5	11	18	32	56	110	180

温水暖房装置=於ケル膨脹水槽ノ大キサハ装置内=於ケル水量=ヨリ差異アルモノニシテ

開放水槽式温水暖房装置=於ケル水槽ノ大キサハ第83表ノ如シ。

第83表 膨脹水槽表

容積(直徑×高) cm	放熱器面積 m ²	容積(直徑×高) cm	放熱器面積 m ²
25×50	23	40×90	120
30×50	27	40×120	180
30×75	46	45×150	270
35×75	65	50×150	460
40×75	87	55×150	550

2. 加速式循環温水暖房装置 加速式循環温水暖房=於テハ其方法=ヨリ鐵管寸法ヲ決定スベキモノデアル。強制循環式温水暖房ノ如クポンプヲ使用スルモノニアリテハ水量及鐵管内ノ摩擦損失ヨリポンプノ大キサヲ決定スルガ放熱器=對シ 30~40kg/m²-h ノ水ヲ循環セシメ得ル=足ルポンプヲ使用シ、鐵管ノ大サハコノ水量ヲ移動セシメ得ル丈ノ大サヲ與ウレバヨイ。而シテ温水ノ速度ハ大體第84表ノ如シ。

第84表 強制循環式温水暖房=於ケル水ノ速度

主管ノ内徑 in	2	3	4	5	6	7	8
速 度 m/mn	60	75	90	105	120	135	150

135. 蒸気暖房装置ノ配管

低壓蒸気暖房装置=於テハ蒸気壓力 0.14~0.36 kg/cm²、使用鐵管寸法ハ次表ノ如シ。

第85表 低壓蒸気暖房装置=於ケル主管內徑(二管式)

蒸気主管 mm	還水主管		放熱器面積 m ²	蒸気主管 mm	還水主管		放熱器面積 m ²
	水準上	水準下			水準上	水準下	
25	20	20	3.7	119	65	25	250
34	25	20	7	131	65	34	340
39	25	25	12	156	76	34	550
49	34	25	26	169	88	34	870
65	39	25	50	192	100	49	1100
76	39	25	80	216	119	49	1200
88	49	25	125	264	131	65	2200
100	49	25	180	290	156	76	3200