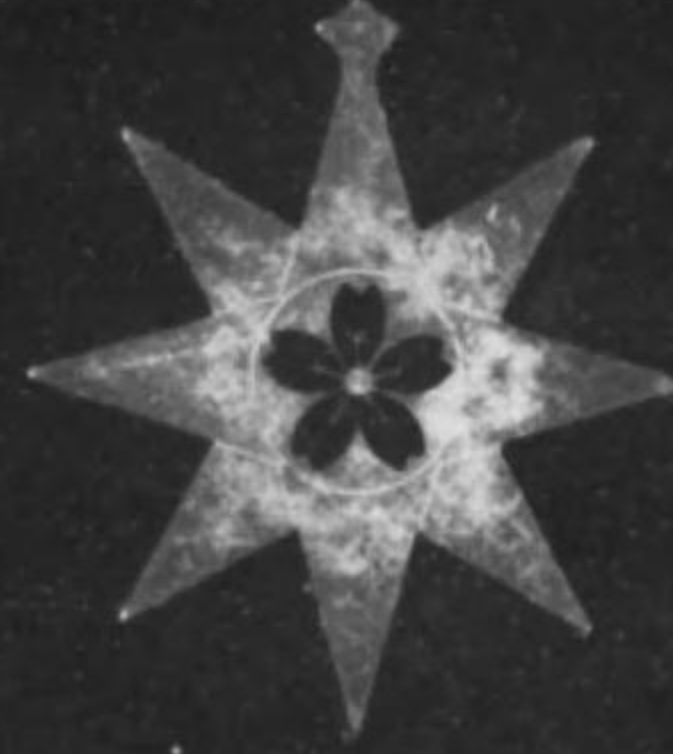


始



熱力學





力

學



大正十四年三月第一版

編者 戶田信行

昭和六年七月第二版

修補 工東信吉

322-4201

熱 力 學 目 次

第一章 熱力學ノ原理並ニ諸定義	頁
(一) 熱力學ノ研究範圍及ビ目的	1
(二) 熱	2
(三) 溫度	2
(四) 寒暖計	2
(五) 絕對溫度	3
(六) 熱ノ單位	4
(七) 比熱	4
(八) 壓力	6
(九) 容積	7
(一〇) 仕事	7
(一一) 工程	8
(一二) 實馬力	8
(一三) 軸馬力	9
(一四) 熱ノ仕事當量	9
(一五) 熱力學ノ第一法則	10
(一六) 熱力學ノ第二法則	10
(一七) 加熱ノ影響	11
(一八) 熱機關	12
(一九) 熱機關ノ熱効率	13
練習問題 (一)	14
第二章 完全氣體ノ性質	
(二〇) 氣體	16

(二一) 蒸發氣	16
(二二) 完全氣體ノ壓力、容積及ビ溫度ノ關係	16
(二三) 「ボイル」及ビ「チャールス」法則ノ結合	20
(二四) 完全氣體ノ法則	22
(二五) 氣體ニ對スル加熱ノ影響	24
(二六) 外部仕事	25
(二七) 内部「エネルギー」	26
(二八) 「ジュール」ノ法則	27
(二九) 比熱ト瓦斯定數トノ關係	28
(三〇) 兩比熱ノ比	30
(三一) 比熱ノ値	30
練習問題 (二)	31

第三章 氣體ノ膨脹及ビ壓縮

(三二) 等温及ビ斷熱變化	34
(三三) 斷熱變化ノ間ニ於ケル内部「エネルギー」ノ増減	43
(三四) 斷熱膨脹ニ於ケル完全氣體ノ容積、壓力及ビ溫度ノ關係	44
練習問題 (三)	47

第四章 氣體ヲ使用スル熱機械ノ「サイクル」

(三五) 熱機械ノ「サイクル」	50
(三六) 「カーノー、サイクル」	51
(三七) 可逆「サイクル」	56
(三八) 「カーノー」ノ定理	57
(三九) 「ホット、エア、エンヂン、サイクル」	60
(四〇) 内熱機械ノ「サイクル」	64

練習問題 (四)	73
----------	----

第五章 蒸發氣ノ性質

(四一) 飽和及ビ過熱蒸發氣	75
(四二) 蒸發ノ理論	75
(四三) 蒸發氣表	76
(四四) 飽和蒸氣ノ溫度、壓力及ビ容積關係	77
(四五) 液體ノ熱量	77
(四六) 蒸發潜熱	78
(四七) 蒸發作用中ニ於ケル外部仕事	79
(四八) 蒸氣ノ總熱量	80
(四九) 蒸發作用ニ於ケル内部「エネルギー」ノ増加並ニ蒸氣ノ内部「エネルギー」	81
(五〇) 定容積ニ於ケル蒸氣ノ醸成	82
(五一) 濕潤蒸氣	82
(五二) 過熱蒸氣	84
(五三) 過熱蒸氣ノ全熱量	84
(五四) 絞作用又ハ絞氣ニ依ル蒸氣ノ乾燥	86
(五五) 蒸氣中ニ存在スル濕分ノ決定	87
(五六) 「スロツトリング」或ハ「スーパーヒーティング、カロリメーター」	87
(五七) 「バラス、スロツトリング、カロリメーター」	91
(五八) 「セバレーティング、カロリメーター」	91
(五九) 「コンデンシング」或ハ「パーレル、カロリメーター」	93
(六〇) 蒸發當量及ビ蒸發係數	94
(六一) 冷却用媒介物トシテノ蒸發氣	96

練習問題 (五).....	96
---------------	----

第六章 「エントロピー」

(六二) 「エントロピー」ノ定義.....	101
(六三) 氣體ノ定壓膨脹ニ於ケル「エントロピー」ノ變化.....	102
(六四) 定容積變化ニ於ケル氣體ノ「エントロピー」ノ増減.....	103
(六五) 氣體ノ等温變化ノ間ニ於ケル「エントロピー」ノ増減.....	103
(六六) 氣體ノ可逆的斷熱變化ニ於ケル「エントロピー」ノ増減.....	103
(六七) 「カーノー、サイクル」ニ於ケル「エントロピー」ノ變化.....	104
(六八) 水及ビ蒸氣ノ「エントロピー」.....	106
(六九) 蒸氣ノ總「エントロピー」.....	107
(七〇) 蒸氣ノ温度「エントロピー」線圖.....	108
(七一) 熱量「エントロピー」線圖又ハ「モリエル」線圖.....	115
練習問題 (六).....	116

第七章 蒸發氣ノ膨脹及ビ壓縮

(七二) 蒸發氣ノ熱變化ニ關シ適用シ得ル一般公式.....	118
(七三) 蒸氣ノ等温線.....	123
(七四) 蒸氣ノ斷熱線.....	123
(七五) 蒸氣ノ斷熱曲線.....	124
(七六) 斷熱膨脹中ニ於ケル蒸氣ノ性狀.....	125
(七七) 蒸氣ノ「ポリトロピック、エキスパンション」.....	127
(七八) スロットリング、カロリメーター及ビ熱量「エントロピー」 線圖ニ依ル蒸氣ノ性狀ノ圖解的決定法.....	128
練習問題 (七).....	129

第八章 蒸發氣ヲ使用スル熱機關ノ「サイクル」

(七九) カーノー、サイクル.....	133
---------------------	-----

(八〇) 「ランキン、サイクル」.....	136
(八一) 「カーノー、サイクル」ト「ランキン、サイクル」トノ比較.....	141
(八二) 温度「エントロピー」線圖ニ依ル略算法.....	141
(八三) 實際機械ニ於ケル不完全膨脹.....	144
(八四) 實際ノ蒸氣機械ノ「サイクル」.....	148
(八五) 膨脹操作ナキ蒸氣機械ノ効率.....	150
(八六) 斷熱膨脹並ニ利用シ得ル勢力.....	151
(八七) 濕潤蒸氣ノ利用シ得ル勢力.....	154
(八八) 過熱蒸氣ノ利用シ得ル勢力.....	156
(八九) 蒸氣機關ノ解法ニ關スル温度「エントロピー」線圖ノ適用.....	158
(九〇) 絞氣又ハ絞作用ノ影響.....	166
(九一) 筒壁ノ作用.....	167
(九二) 蒸氣衣ノ効力.....	169
(九三) 數段膨脹機械.....	169
練習問題 (八).....	170

第九章 流體ノ流動

(九四) 吹出口ヲ通ジ流出スル時ノ流動.....	173
(九五) 流出量ノ計算法並ニ最大流出量ヲ得ルタメノ條件.....	176
(九六) 吹出口ニ於テ起ル空氣ノ流動.....	178
(九七) 空氣ノ容積ヲ計測スル「レシーバー」法.....	181
(九八) 蒸發氣ノ流動.....	181
(九九) 流出速度ニ及ボス輻射ノ影響.....	184
(一〇〇) 吹出口ニ於ケル摩擦損失.....	185
(一〇一) 衝動吹出口.....	187
(一〇二) 衝動「タービン」ニ於ケル蒸氣ノ作用.....	188

- (一〇三) 反動吹出口…………… 190
 (一〇四) 「インゼクター」…………… 191
 (一〇五) 「インゼクター」ヲ用ヒ蒸氣一吋ニヨリ汽罐ニ供給シ得ル
 給水量…………… 192
 (一〇六) 「インゼクター」ノ熱効率及ビ機械的効率…………… 193
 (一〇七) 吹出口ニ於テ起ル蒸氣ノ流動…………… 194
 (一〇八) 最終壓力ガ最初壓力ノ0.58倍ヨリ大ナル時ノ蒸氣流出量… 197
 練習問題 (九)…………… 198

第十章 壓搾空氣ニ關スル熱力學ノ適用

- (一〇九) 壓搾空氣ニ依ル力量ノ傳達…………… 200
 (一一〇) 空氣壓搾機械…………… 200
 (一一一) 空氣ヲ壓搾スルタメニ要セラル、仕事…………… 202
 (一一二) 「ボリュメトリック、エフヒシエンシー」ニ及ボス遊隙
 ノ影響…………… 204
 (一一三) 二段式壓搾…………… 206
 練習問題 (一〇)…………… 209

第十一章 冷却機械ニ關スル熱力學ノ適用

- (一一四) 冷却機械又ハ熱唧筒…………… 212
 (一一五) 空氣式冷却法…………… 214
 (一一六) 蒸發氣壓搾式冷却法…………… 218
 (一一七) 蒸發氣吸收式冷却法…………… 222
 (一一八) 冷却機械ノ効程係數…………… 224
 練習問題 (一一)…………… 226

熱 力 學 (Thermodynamics)

第一章 熱力學ノ原理竝ニ諸定義

(一) 熱力學ノ研究範圍及ビ目的

熱力學トハ熱ト其ノ熱ニヨリ發生セシメ得ラル、機械の仕事トノ關係ヲ論
 ズル學科ニシテ其ノ目的トスル處ハ熱力機械 (Heat power machinery) ノ
 効率ニ影響ヲ及ボス可キ諸要素ヲ考究スルニアリ

熱力學ノ研究ニヨリ次ニ示サガ如キ種々ノ狀況ノ下ニ於テ蒸氣機關
 (Steam engine) 及ビ蒸氣タービン (Steam turbine) ヲ作動セシメタル時
 如何ナル結果ヲ來ス可キカヲ知ルコトヲ得

- (1) 使用蒸氣壓力ヲ高メタルトキ
- (2) 真空度ヲ高メ且ツ膨脹度ヲバ増大セシメタルトキ
- (3) 過熱シタル蒸氣ヲ使用シタルトキ
- (4) 汽筒ニ Steam jacket ヲ裝置シタルトキ
- (5) 蒸氣ヲ各 Cylinder ニ於テ段落ヲ區分シテ膨脹セシメタルトキ
- (6) Cylinder ノ中間ニ蒸氣留 (Receiver) ヲ裝備シーノ cylinder ヲ
 リ次ノ cylinder ニ入ルニ先チ蒸氣ヲバ再ビ熱シタルトキ

且ツ又熱力學ノ研究ニ基ケル諸計算ニ依リ大凡次ノ諸項ヲ決定スルコトヲ得

- (1) Gas engine ノ cylinder 内ニ在ル爆發性瓦斯ヲシテ點火ニ先チ其
 ノ壓縮壓力ヲ高カラシメタルトキノ影響
- (2) Air compressor ニ於ケル不完全ナル冷却法ガ其ノ効率ニ及ボス
 可キ結果

並ニ之ニ類似スル諸事項

次ニ尙ホ熱力學ノ研究ニ依リ或ル状態ノ下ニ作動スル熱機關 (Heat engine) ニ於テ得ラル可キ最大効率ヲ知ルコトヲ得

例ヘバ或ル engine ニ關スル實驗成績ガ現存セル機關ノ如何ナル制式ノモノニ比スルモ遙ニ優良ナル場合熱力學上ノ計算ニ依リ果シテ此ノ如キ好成績ヲ得ラル、モノナルヤ否ヤヲ容易ニ判定シ得ルモノトス

要スルニ諸種ノ熱機關ニ就テ行ハレタル實驗ノ結果ノ正否ヲ精確ニ判斷セントメニハ熱力學ニ關スル基礎的原理ニ付テ充分ナル知識ノ涵養ヲ要ス

(二) 熱 (Heat)

熱ハ物質ニアラズシテ「エネルギー」ノ一種ナリ

而シテ或ル物體ノ有スル熱ハ其ノ物體ヲ構成スル分子ノ振動ニ起因スルモノニシテ其ノ速度早ク且ツ振動ノ振幅大ナレバ從ツテ其ノ物體ノ有スル熱ハ多量ニシテ其ノ温度高シ

此ノ熱ハ傳導 (Conduction) 輻射 (Radiation) 及ビ對流 (Convection) ノ作用ニ依リテ移動セシメラル

(三) 温度 (Temperature)

温度トハ或ル物質ノ有スル顯熱ノ表示 (indication) ニシテ寒暖計ヲ以ツテ計測シ得ルモノナリ即チ此ノ温度ナルモノハ物質ノ有スル熱「エネルギー」ノ量ヲ表ハスモノニアラズ單ニ人ノ知覺ニヨリテ認識シ得ル處ノ關係熱密度 (Relative heat intensity) ヲ示スモノナリ

(四) 寒暖計 (Thermometer)

寒暖計ニ三種アリ 攝氏、華氏、列氏、是ナリ

攝氏ノ寒暖計ニ在リテハ大氣壓力ノ下ニ於ケル水ノ沸騰點ヲ 100° 氷ノ融解點ヲ 0° トシ其ノ間ヲ百等分シテ之レヲ一度トセリ

華氏ニ在リテハ同壓力ノ下ニ於ケル水ノ沸騰點ヲ 212° 氷ノ融解點ヲ 32° トシ其ノ間ヲ 180 等分シテ一度トシ

又列氏ニ在リテハ沸騰點ヲ 80° 氷ノ融解點ヲ 0° トシ其ノ間ヲ 80 等分シテ目盛ヲ刻ミアリ

依テ華氏 (Fahrenheit) 及ビ攝氏 (Centigrade) 寒暖計目盛ノ間ニハ次ノ如キ關係アリ

$$\text{Degree C.} = \frac{5}{9}(\text{degree F.} - 32)$$

$$\text{Degree F.} = \frac{9}{5}\text{degree C.} + 32$$

普通ノ水銀寒暖計ノ如ク水銀面上ヲ真空トナシ置クトキハ水銀ノ boiling point ヲ低下セシムルヲ以ツテ 500°F. ノ如キ高温度ノ計測ニ適セズ故ニ温度計測ノ範圍ヲ擴大シ約 900°F. 迄ノ計測ニ適當ナラシメンガタメ Nitrogen ノ如キ不活潑ノ瓦斯ヲ以ツテ水銀面上ヲ充滿セシメタルモノアリ

又極メテ高キ温度ノ計測ニ對シテハ Pyrometer 最モ適當ナリ

(五) 絶對温度 (Absolute temperature)

温度計測ノ根本的劃度ハ Thomson's Absolute Thermometric scale ニ依ルヲ便トス

此ノ絶對劃度ノ零即ハチ absolute zero トハ物質ガ熱「エネルギー」ヲ有セザル點換言セバ分子振動ノ存セザルガ如キ點ナリ

例ヘバ 32°F. ニ於ケル 1 volume ノ gas ハ 212°F. 即チ 180° ノ温度ノ上昇ニ際シテ 0.3665 ノ volume ヲ増加スルモノナルガ故 32°F. ニ於ケル 1 volume ノ gas ハ温度ノ下降ニヨリテ其ノ容積ノ皆無トナルガ如キ點アルベシ、此ノ如キ假想的ノ温度ヲバ絶對温度ノ零ト稱ス

而シテ其ノ温度ハ次ノ如キ算式ヲ以ツテ求ムルコトヲ得ベシ

$$0.3665 : 1 = 180 : x$$

此ノ Absolute zero ハ華氏ノ目盛ヲ以ツテスレバ其ノ零點以下 459° 5 Practically ニハ 460° ニシテ攝氏ノ目盛ヲ以ツテスレバ其ノ零點以下 273° ナリトス

茲ニ絶對溫度ヲ T. 寒暖計ニ依ル溫度ヲ t. ヲ以ツテ表ハセバ

華氏ノ目盛ヲ以ツテスレバ T=t+460

攝氏ノ目盛ヲ以ツテスレバ T=t+273

(六) 熱ノ單位 (Unit of heat)

熱ハ heat unit ヲ以ツテ計測セラル、モノニシテ其ノ熱單位トシテハ水ノ

單位重量ヲバ溫度一度ダケ高ムルニ要セラル、熱量ヲ用ユ

英式ニ於テハ之ヲ British Thermal unit (B.T.U.) ト稱シ水ノ 1 pound

ヲバ 1°F. ダケ高ムルニ要セラル、熱量ヲ以ツテシ Metric system = 於テ

ハ calorie ヲ用ユ此ノ calorie ハ水ノ 1 Kilogramme ヲ 1°C. 丈高ムルニ

要スル amount of heat ナリ

而シテ 1 Kilogramme=2.204 pounds =シテ 1 degree C.=

F. ナルヲ以ツテ

1 Calorie = 2.204 = 3.968 B.T.U.

精確ニ考フレバ水ノ比熱ハ溫度ニヨリテ些少ノ差違アルヲ以ツテ B.T.U.

ノ定義ヲ與フルニ際シ其ノ溫度ヲ指摘スル必要アリ依リテ次ノ如ク定義ス

ルコトアリ、即チ

1. B.T.U. トハ maximum density ノ状態即チ 39°F. ト 40°F. ノ間ニ於ケ

ル水 1 pound ヲ 1°F. 丈高ムルニ要セラル、amount of heat ナリ、又一

般ニハ水 1 pound ヲバ 32°F. ヨリ 212°F. 迄溫度ヲ上昇セシムルタメ

ニ要セラレタル熱量ノ百八十分ノ一ヲ以ツテ一英熱量位トナスコトアリ

(七) 比熱 (Specific heat)

同一重量ヲ有スル異ナル物質ニ等量ノ熱ヲ與フルモ溫度ニ同一ノ變化ヲ生

ゼザルハ一般ノ現象ナリ

而シテ溫度變化ノ程度ハ各物質ノ熱ニ對スル容量 (Capacity) = 依リテ差

違アリ、故ニ各種ノ物質ニ就テハ夫々 Relative heat capacity 即チ Specific

heat ナルモノヲ定ムルノ必要アリ

定義 比熱トハ各種物質ノ單位重量ニツキ同一ノ溫度ノ變化ヲ生ゼシムル

タメニ必要ナル熱量ノ比ナリ

勿論基準トシテハ水ノ Unit weight ヲ一度高ムルニ要スル amount of heat

ヲ用ユルモノトス英式ニ於テハ

Specific heat is the number of B.T.U. required to raise the temperature

of a pound of the substance one degree Fahrenheit.

今 Q ナル熱量ヲバ或ル物質ノ 1 pound ニ加ヘタルトキ其ノ溫度ノ變化ガ

t₂-t₁ ナリトセバ

t₂-t₁ = Q/C or Q=C(t₂-t₁)

上式ニ於ケル C ハ specific heat ヲ示ス

若シ Specific heat C ガ variable ナルトキハ

Q = ∫_{t₁}^{t₂} C dt ナリ

例題 或ル物質アリ其ノ Specific heat ハ次式ニヨリ示サル、モノトス

C = 0.24112 + 0.000009 t

然ルトキハ此ノ物質 1 pound ヲバ 0°F. ヨリ 100°F. 迄高ムルニ要セラル

ル熱量幾許ナルカ

[解]

Specific heat ハ variable ナルガ故

Q = ∫_{t₁}^{t₂} C dt ノ式ヲ用ヒ C ノ値ヲ代入シ

Q = ∫_{t₁}^{t₂} (0.24112 + 0.000009 t) dt

= 0.24112(t)¹⁰⁰ + 0.000009 [t²/2]¹⁰⁰

= 0.24112 × 100 + 0.000009 × 5000

= 24.112 + 0.045 = 24.157 B.T.U. ナリ

Handwritten notes: d- Q = E1 - E2 + W, dQ = dE = dW = dB + Pdv, dQ = dE + PdV, dE = Cv dT, E = CvT

抑モ gas 又ハ vapour ノ比熱ハ熱ノ加エラル、状態ニ依リテ著シク其ノ値ヲ異ニスルモノニシテ若シ密閉器内ニ之ヲ充タシ加熱スレバ其ノ容積ニハ變化ナキニヨリ外部ニ對シテハ何等仕事ヲナスコト無キヲ以ツテ加ヘラレタル熱全部ハ其ノ溫度ヲ高ムルコトニ利用セラルベシ、是レ即チ蒸氣ノ供給ヲ絶チタルトキノ汽罐ノ状態ナリ此ノ場合ノ比熱ニハ記號 C_v ヲ用ユ從テ C_v ハ Specific heat at constant volume during heat application ヲ示ス

若シ又加熱スルニ際シ其ノ壓力ヲ一定ニ保タシムタメニ容積ヲ増大セシムルトキハ膨脹ノ結果其ノ氣體或ハ蒸發氣ハ外部ニ對シテ仕事ヲナスヲ以ツテ加ヘラレタル熱ノ幾部分ハ其ノ仕事ヲナスタメニ消費セラレ殘リノ部分ノミ溫度ヲ上昇セシムルタメニ利用セラル此ノ場合ノ比熱ニハ C_p ナル記號ヲ用ユ從ツテ

C_p ハ Specific heat at constant pressure during heat application ヲ示ス今 unit weight ノ代ハリニ或ル物質ノ W pounds ニ就テ考フルトキハ

$$\text{Quantity of heat added } Q = W \int_{t_1}^{t_2} C dt$$

(八) 壓力 (Pressure)

單位面積ニ加ハルカラバ壓力ト稱ス

gas 又ハ vapour ニ依リテ加ヘラル、壓力ハ英式 (English system) ニテハ pounds per square inch, pounds per square foot, inches of mercury 又ハ atmospheres ニヨリテ表ハサレ佛式 (Metric system) ニテハ Kilo-grammes per square c.m. 又ハ milimetres of mercury ニ依リテ表示セラル

壓力計ニヨル壓力ハ大氣壓力以上又ハ眞空以上ノ pressure ヲ示スモノニシテ絶對壓力 (Absolute pressure) ハ gauge pressure ト大氣壓力トノ和

ナリ、例ヘバ壓力計ニテ示サル、壓力 75 pounds per square inch ニシテ barometer ガ 29.65 inches of mercury ヲ示セルトキハ大氣壓力即チ Barometer 壓力ハ $29.65 \times 0.491 = 14.56$ pounds per sq. in. ナリ

[註] 0.491 ハ $70^\circ F.$ ニ於ケル水銀一立方吋ノ重量ヲ示セルモノナリ依リテ絶對壓力ハ

$$75 + 14.56 = 89.56 \text{ pounds per sq. in. ナリ}$$

一般ニ熱力學ノ方程式ニ用ユル壓力ノ單位ハ pounds per square foot ニテ示サル、モノトス

(九) 容積 (Volume)

比容積 (Specific volume) トハ或ル物質ノ單位重量ニ依リテ充サル、容積ノ意ナリ普通立方呎又ハ立方「メートル」ニ依リテ表ハサル

大氣壓力ニ於ケル Steam 1 pound ノ容積即チ其ノ Specific volume = 26.79 cubic feet ナリ

(一〇) 仕事 (Work)

仕事ハ作動スルカト其力ニ依リテ生ゼシメラレタル變位 (displacement) トノ積ニシテ時間ニハ無關係ノモノナリ、英式ニ於ケル仕事ノ單位ハ呎所 (foot-pound) ナリ

茲ニ 1 pound ノ重量ヲ有スル物體アリ此ノ物體ヲ垂直ニ 1 foot ダケ引揚タルトキ爲サレタル仕事ハ 1 foot-pound ナリ

同様ニ每平方呎ニツキ pound ニテ計リタル壓力ト立方呎ニテ計リタル容積トノ積ハ foot-pound 單位ニ於ケル仕事ニ等シ

今

A = piston area in square foot

P = mean effective pressure in pound per square foot

L = stroke of piston in feet

トスレバ

total pressure exerted = A.P. pounds

故 = work done by steam

= total pressure × displacement

= P.A.L. = pressure in lbs. per sq. ft. × volume in cubic foot.

(一一) 工程 (Power)

Power トハ仕事ノナサル、割合、即チ

$$\text{Power} = \frac{\text{work done}}{\text{time required to do it}} \text{ ナリ}$$

英式 = 於テハ power ノ單位トシテハ馬力 (Horse power) ヲ用ユ一馬力トハ 550 pounds ノ重量ヲ一秒間 = 一呎丈垂直 = 引揚グル時要セラル、power ナリ、依リテ毎分爲サル、foot-pound 單位ノ仕事ヲ馬力 = 換算セントセバ 33000 = テ之レヲ除スルヲ要ス

Metric system = 於ケル單位ハ watt ナリ而シテ一馬力ハ 746 watts = 等シ

(一二) 實馬力 (Indicated Horse Power)

實馬力ナル語ハ engine cylinder 内 = 於テ gas 又ハ vapour ノナス仕事ノ割合ヲ表示スルタメ = 用ヒラル、モノニシテ指壓圖 = ヨリテ算出セラル
今 P = mean effective pressure pounds per square inch or average unbalanced pressure shown by indicator card.

A = effective area of the piston in square inches

トスレバ

total pressure exerted on the piston = PA ナリ、而シテ

L = length of piston stroke in feet

トスレバ

Work per stroke = PAL ft. lbs. ナルベシ

故 = N ヲ毎分回轉數トスレバ毎分間ニナサル、仕事ノ割合ハ

2. PALN foot-pounds ナルヲ以テ

$$\text{實馬力} = \frac{\text{Work per minute}}{33000} = \frac{2PALN}{33000}$$

(一三) 軸馬力 (Brake Horse Power)

軸馬力トハ機械ガ仕事ヲナス爲メ = 實際供給シ得ル所ノ power ナリ

即チ indicated horse power — horse power lost in friction = brake or shaft horse power

此ノ軸馬力ハ friction brake ノ一種ナル Absorbition dynamometer 又ハ Transmission dynamometer = 依リテ計測セラル何レノ dynamometer = 於テモ

F = effective pull in pounds,

L = lever arm, in feet, through which the weight is exerted,

N = number of revolutions of shaft per minute,

トスレバ

$$\text{B.H.P.} = \frac{2\pi PLN}{33000}$$

(一四) 熱ノ仕事當量 (Mechanical equivalent of heat)

消費セラレタル仕事ト發生シタル熱量トノ間 = ハ一定ノ關係アリ此ノ關係

ヲハ熱ノ仕事當量ト稱シ普通 J ヲ以テ表示ス

English system = 於テハ

$$J = 778$$

或ハ 1 B.T.U. = 778 foot-pounds.

Metric system = 於テハ

$$J = 427$$

或ハ 1 Calorie = 427, kilogramme-meters ナリ

何ントナレバ 1 Calorie = $4.2 \times 10^7 + 1000$ ergs

$$= \frac{4.2 \times 10^7 \times 10^8}{981} \text{ gramme-centimeters}$$

$$= \frac{4.2 \times 10^7 \times 10^8}{981} \times \frac{1}{10^3} \times \frac{1}{10^2} \text{ kilogramme-meters}$$

$$= \frac{4.2 \times 10^5}{981} = 427 \text{ kilogramme-meters.}$$

熱ノ仕事當量 J ノ反數ヲバ A ヲ以ツテ表ハス

$$\text{英式} = \text{テハ} \quad A = \frac{1}{778}$$

$$\text{佛式} = \text{テハ} \quad A = \frac{1}{427}$$

(一五) 熱力學ノ第一法則 (First Law of Thermodynamics)

熱及機械の仕事ノ相互間ノ一定ナル關係ヲバ云ヒ表ハセル法則ナリ

(第一法則) 熱ト機械的「エネルギー」トハ互ニ轉換スルコトヲ得ルモノニシテ熱ハ仕事當量ノ割合ニ於テ其ノ發生ニ際シ仕事ヲ要シ又其ノ消失ニ際シテハ同一割合ヲ以ツテ仕事ヲ發生スルモノナリ

Heat and mechanical energy are mutually convertible and heat requires for its production and produces by its disappearance mechanical work in the ratio of the mechanical equivalent of heat.

換言セバ此ノ法則タルヤ機械の仕事ト熱ノ轉換ニ際シ「エネルギー」不滅ノ原理ヲ叙述セルモノナリ

(一六) 熱力學ノ第二法則 (Second Law of Thermodynamics)

物體ノ有スル熱ヲ仕事ニ轉換セントセバ其ノ熱ヲバ低溫度ノ他ノ物體ニ移動セシムルコト必要ナリ

即チ熱ヲ仕事ニ轉換スル爲メニハ必ず溫度ノ異ナル二物體ヲ要ス、而シテ第二法則ハ次ノ如ク云ヒ表サル

熱ハ高溫度ノ物體ヨリ低溫度ノ物體ニ自然ニ移行スレドモ他ヨリ仕事ヲ

費スニアラザレバ之ヲ逆行セシムルコト能ハズ

又次ノ如ク云ヒ表ハサルコトアリ

自働機械 (Self acting engine) ハ一物體ヨリ高溫度ナル他物體ニ熱ヲ輸送スルコト能ハズ

此ノ法則ハ熱機關 (Heat engine) ニ於ケル熱ト仕事ノ轉換ニ關シ極メテ要用ナル制限ヲ與ヘタルモノナリ

第一法則ニアリテハ熱ヲ機械の仕事ニ轉換スル上ニ於テ何等ノ制限ヲ示スコトナキモ此ノ法則ニ依リ heat engine ニ供給セラレタル熱全部ハ仕事ニ轉換セシメ得ルモノニアラズシテ只其ノ幾部分ノミ機械的ノ仕事ニ轉換セラレ大部分ノ熱ハ必ず其儘空シク捨テラル、モノナルコトヲ示スモノナリ

(一七) 加熱ノ影響 (Effects of heat application)

Q ナル熱量ヲ或ル物體ニ與フル時ハ次ノ如キ影響ヲ生ズベシ

(1) 溫度ノ上昇

(The temperature of the body will rise)

(2) 容積ノ増加

(The volume of the body will increase)

(3) 外部仕事ノ可能性

(The body will be capable of doing external work)

以上ノ三影響ヲ生ゼシムル爲メニ要セラル、熱量ヲバ夫々 S.V.W. ヲ以ツテ表ハセバ

S. ハ物體分子間ノ振動ニ起因スル顯熱ノ變化即チ物體ノ溫度ヲ上昇セシムル爲メニ利用セラル、熱量

V. ハ顯熱ニ關聯セズシテ内部「エネルギー」ノ貯蓄 (store) ヲ増加スル爲メニ其ノ物體ニヨリテ吸收セラレタル熱量

W. ハ外部壓力ニ打ち勝チ其ノ volume ヲ増加シツ、外部仕事ヲナス

爲メ=吸收セラル、熱量

等ヲバ夫々示スモノニシテ勿論

$$Q=S+V+W \text{ ナル關係ヲ存ス}$$

S ト V トハ特=別個=考慮スルノ必要ナク S+V ハ内部「エネルギー」ノ増加ト認ムベキ熱ノ一部分ナルヲ以ツテ此ヲ内部「エネルギー」ノ増加 (intrinsic energy increase) ト稱シ I ヲ以ツテ表ハス

一般=物質ガ熱ヲ受ケツ、仕事ヲナス時極メテ少量ノ熱ガ加ヘラレタル場合=ハ次ノ式ヲ以ツテ表ハスコトヲ得

(受ケ取りタル熱)=(内部「エネルギー」ノ増加)+(外部仕事)

即チ $dQ=dI+dW$

$$\text{or } Q = \int_{I_1}^{I_2} dI + \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

上式ハ物體受熱ノ影響ヲ示ス一般ノ方程式ナリ

内部「エネルギー」ノ變化 (intrinsic energy change) $\int_{I_1}^{I_2} dI$ ハ物體ノ物理的狀態 (physical state) 即チ固體液體蒸發氣又ハ氣體ナルカニヨリ變化シ外部仕事 $\int_{V_1}^{V_2} p dV$ ハ work diagram ノ curve ノ形狀即チ膨脹收縮ノ有様ニヨリテ變化スルモノナリ

(一八) 熱機關 (Heat engine)

Heat engine トハ固體液體又ハ氣體燃料ノ有スル heat energy ヲバ仕事ニ轉換スル機械 (machine) ノ總稱ナリ

如何ナル heat engine ニ於テモ熱ヲ仕事ニ轉換セントセバ必ず交互ニ熱ヲ出入セシムベキ操作物質 (working substance) ナルモノヲ要ス

而シテ此ノ轉換作用ハ熱出入ノ際 working substance タル gas 又ハ Vapour ガ壓力容積並ニ溫度ニ變化ヲ生ジ其ノ結果抵抗ニ打ち勝チテ遂行セシメラル、モノニシテ此ノ轉換法ハ次ノ二種ニ區分スルコトヲ得

第一 外部燃焼=依ル法

燃料ハ engine cylinder ノ外部ニ於テ燃焼シ此ノ燃焼ニヨリテ發生セシメラレタル熱ハ壁 (wall) ヲ經テ working substance 即チ heat medium = 傳導セシメラル。而シテ此ノ working substance ハ reciprocating engine ナレバ piston, steam turbine ナレバ vane 又ハ blade = 作動シ仕事ヲナスモノニシテ此ノ方法ニ屬スベキモノニハ

(1) Steam engine of reciprocating type

(2) Rotary type or turbine

(3) External combustion hot air engine 等アリ

例ヘバ steam engine ノ場合ニ就テ考フレバ石炭、木、石油又ハ瓦斯ノ如キ燃料ハ爐内ニ於テ燃焼セシメラレ之レニヨリテ發生シタル熱ハ罐胴ノ金屬板ヲ經テ傳導作用ニヨリ水ナル working substance = 移動セシメラル、物理的狀態ヲ變化スルニ充分ナル熱ガ水ニ加ヘラル、トキハ水ハ所要壓力ニ於テ蒸氣ニ變化セシメラレシテ發生シタル蒸氣ハ乾燥、濕潤、過熱何レノ狀態ニアルニセヨ之レヲシテ engine ノ piston = 作動セシムレバ仕事ヲナスコトヲ得

第二 内部燃焼=依ル法

熱ヲ機械的「エネルギー」ニ轉換スル他ノ方法ハ機械ノ cylinder 又ハ communicating vessel 内ニ於テ急速又ハ緩徐ニ燃料ヲ燃焼セシメ其ノ成果物 (product of combustion) ヲシテ直接 engine ノ piston = 作動セシムル方法ナリ

此ノ方法ニ屬スルモノニハ gas, petroleum 及ビ alcohol engine アリテ所謂内燃機關 (internal combustion engine) ト稱セラル、ノナリ

(一九) 熱機關ノ熱効率 (Thermal efficiency of a Heat engine)

engine = 供給セラレタル熱 Q_1 = 對スル仕事 = 轉換セラレタル熱 (A. W)

ノ比ヲバ其ノ heat engine ノ thermal efficiency ト稱ス

即チ Thermal efficiency $E = \frac{A.W}{Q_1}$

而シテ前述ノ如ク engine = 供給セラレタル熱ハ其ノ一部分ノミ仕事ニ
轉換セシメラル、モノナルガ故ニ此ノ比ハ常ニ 1ヨリモ小ナル分數ナリ

練習問題 (一)

- (1) If the specific heat of a substance is 0.65, how many B.T.U. are required to raise the temperature of 10 pounds of the substance through 10°F?
- (2) Convert -40°C. into degree Fahrenheit.
- (3) Change 350°F. and 150°C. to absolute Fahrenheit temperature.
- (4) Prove that the weight of 1 cubic inch of mercury is equal to 0.491 pound.
- (5) If the barometric reading is 29.2 inches, change 140 lbs. per sq. in. gage pressure and also 27 inches vacuum into pounds per square inch absolute pressure.
- (6) One pound of fuel has a heating value of 14500 B.T.U. How many foot-pounds of work is it capable of producing, if all this heat is converted into work?
- (7) A heat engine receives 100,000 B.T.U. of heat in the form of fuel and during the same period 30,000 B.T.U. are converted into work. What percentage (thermal efficiency) of the heat received by the engine was converted into work?

(8) A gas engine receives 20,000 B.T.U. of heat in the form of fuel and during same period 3,112,000 foot-pounds of work are developed. What is the thermal efficiency of the engine?

(9) An oil engine uses 0.74 pound of fuel per B.H.P. per hour. Calculate the thermal efficiency of this engine if the oil has a calorific value of 18,600 B.T.U. per pound.

第二章 完全氣體ノ性質

(Properties of Perfect Gases)

熱機關=於テ熱ヲ仕事ニ轉換セントメ=ハ完全氣體 (perfect gas) 又ハ蒸發氣 (vapour) ノ状態ニアル操作物質 (working substance) 即チ熱媒介物 (heat medium) ヲ必要トス

此等物質ノ作動ニ關スル法則ニハ若干ノ差異アルガ故熱力學ノ研究ハ氣體及ビ蒸發氣ニ關スルニ=區分スルヲ要ス

(二〇) 氣體 (Gas)

此ノ言葉ハ主トシテ完全氣體ノ意味ニ於テ用ヒラル、而シテ此ノ完全氣體ナルモノハ壓力、溫度ノ變化ヲ受クルモ尙氣體ノ状態 (gas-eous state) = 在ル所ノ流體 (fluid) ト定義スルヲ至當トス

依リテ凝縮點 (point of condensation) 附近ニアル氣體ハ完全氣體ト認ムベキモノニアラズ

Oxygen, Hydrogen, Nitrogen, Air 及ビ Carbon dioxide ノ如キモノハ完全氣體ノ實例ナリ

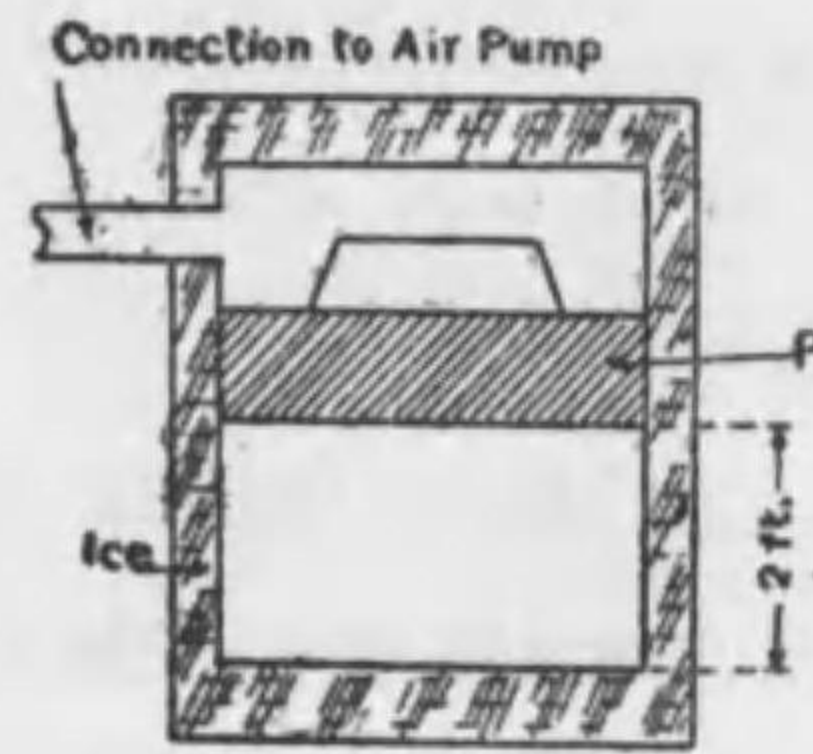
(二一) 蒸發氣 (Vapour)

Vapour トハ速度ノ溫度下降或ハ壓力ノ増加ニヨリ容易ニ液體ニ變化スル處ノ流體 (fluid) ナリ此ノ vapour トシテノ卑近ノ例ハ蒸氣 (steam) 及ビ「アムモニア」ナリ

(二二) 完全氣體ノ壓力、容積及ビ溫度關係 (Relation between Pressure, Volume and Temperature of a Perfect Gas)

總テノ熱機關ニ於テ仕事ハ流體ノ容積ノ變化ニヨリテ遂行セシメラル而シテ其ノ仕事ノ量タルヤ其ノ變化ノ間ニ於ケル容積ニ對スル壓力ノ關係ニ依ルモノニシテ毫モ其ノ流體ヲ抱容セル器ノ形狀ニ關係スルモノニアラズ

Fig. 1.



第一圖ニ示ス處ノモノハ氷ノ小片ヲ以テ充サレタル jacket ヲ有シ其ノ内部ニ完全氣體ヲ入レタル器ナリ故ニ器ノ周圍ノ溫度ハ 32°F. ナルコトハ明カナリ而シテ此ノ器ノ内部ニハ氣密ニ滑動シ得ル吸鑄アリテ其ノ面積ハ 1 平方呎ナリト

ス圖ノ如ク吸鑄 P ガ器ノ底部ヨリ 2 呎ノ距離ニ在ル時ハ吸鑄下ノ容積ハ 2 立方呎ニシテ吸鑄下ノ空積ニ充タサレタル氣體ノ受クル壓力ハ吸鑄及ビ其ノ上ニ乗セラレタル重量 W トノ和ニ等シ

今其ノ總重量ヲ 100 pounds ト假定シ吸鑄上部ノ空積ヲバ空氣唧筒ニテ排氣シ真空ニ保チタリトセバ吸鑄下ノ氣體ノ受クル壓力ハ 100 pounds per square foot ナル可シ

茲ニ於テ重量 W ヲ増加シ氣體ニ加ハル可キ壓力ヲバ 200 pounds per square foot ナラシメ且ツ ice jacket ニヨリテ氣體ノ溫度ヲバ同一ニ維持セシムルトキハ吸鑄ハ器ノ底部ヨリ 1 呎ノ所迄下降スルヲ見ルナラン

然レ共溫度ヲ一定ニ保タザルトキハ氣體ハ壓縮セラル、結果溫度ノ上昇ヲ來シ膨脹セントスル傾向ヲ生ズルヲ以テ一立方呎ノ容積迄其ノ氣體ヲ壓縮スルタメニハ 200 pounds ヨリ大ナル重量ヲ加フルノ必要アリ

次ニ加エラレタル壓力ヲバ 50 pounds ニ減少シ且ツ其ノ溫度ヲ一定ニ保ツトキハ piston 下ノ容積ガ 4 立方呎ニ増加スル迄吸鑄ノ上昇スルヲ見ル可シ

以上ノ實驗ニ依リテ溫度ヲ一定ニ保ツ時ハ氣體ノ壓力ト容積トノ積ハ常ニ一定數 (constant) ナルコトヲ知ルベシ而シテ上述ノ實例ニ於テハ終始 200 ft.-lbs. ニ等シ

此ノ事實ヲ Boyle's Law = ヨリテ述ブレバ次ノ如シ

Boyle's Law. If a unit weight of gas is compressed or expanded at constant temperature, the pressure varies inversely as the volume, or the product of pressure and volume remains a constant.

氣體ガ壓縮セラル、カ又ハ膨脹スルトキ其ノ溫度一定ナレバ單位重量ノ氣體ノ容積ハ壓力ニ反比例ス換言スレバ壓力及ビ容積ノ積ハ常ニ一定數ナリ
茲ニ

$P_1 V_1$...initial pressure and volume

$P_2 V_2$...final pressure and volume

トスレバ $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ナリ

一般ニ溫度變化ニ伴フ容積及ビ壓力増減ニ關スル熱力學上ノ法則ハ次ノ如ク述ベラル

- (1) 一定壓力ノ下ニ於テハ氣體ノ與ヘラレタル質量ノ容積ハ絕對溫度ニ正比例ス

Under constant pressure the volume of a given mass of gas varies directly as the absolute temperature.

- (2) 一定容積ニ於テハ氣體ノ與ヘラレタル質量ノ絕對壓力ハ絕對溫度ニ正比例ス

Under constant volume the absolute pressure of a given mass of gas varies directly as the absolute temperature.

以上ノ根本的原理ハ Gay-Lussac's 又ハ Charles' Law ト呼バル、モノニシテ式ヲ以テ示セバ次ノ如シ

With pressure constant,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

With volume constant,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

但シ V_1, V_2 ...initial and final volume

P_1, P_2 ...initial and final absolute pressure

T_1, T_2 ...initial and final absolute temperature

茲ニ此ノ法則ヲ證明スレバ次ノ如シ

氣體ハ一定壓力ノモトニ熱セラルレバ膨脹ノ結果其ノ容積ヲ増加ス

今 V_0 ...volume of a given mass of gas at 0°C .

V_t ...volume of a given mass of gas at $t^\circ\text{C}$.

トスレバ $V_t = V_0(1 + \alpha t)$

式中 α ハ膨脹係數ト稱セラル、モノニテ溫度一度ノ上昇毎ニ増加シタル容積ヲ溫度零度ニ於ケル容積ニテ除シタル分數ナリ

實驗ノ結果

$$\alpha = \frac{1}{273} \text{ for Centigrade scale.}$$

$$\alpha = \frac{1}{492} \text{ for Fahrenheit scale ナリ}$$

依リテ

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) = V_0 \frac{273+t}{273}$$

T ヲ以テ $t^\circ\text{C}$. T_0 ヲ以テ 0°C . ヲ absolute temperature ニテ示サシムルト

キハ

$$V_t = V_0 \frac{T}{T_0} \text{ 即チ } \frac{V_t}{V_0} = \frac{T}{T_0}$$

一般ニ

$T_1 T_2$...initial and final absolute temperature

$V_1 V_2$...initial and final volume

トスレバ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ ナリ

次=又氣體ノ容積ヲ一定ニ保チ之ヲ熱スルトキハ其ノ壓力ハ増加スベク溫度 1° ノ上昇ニ對スル壓力ノ増加ヲ 0°C .ノ時ニ於ケル壓力ヲ以テ除スル

トキハ實驗上膨脹係數ト等シク $\frac{1}{273}$ ナルコトヲ知ルベシ

依リテ P_0 ...absolute pressure at 0°C .

P_t ... " " " $t^\circ\text{C}$.

トスレバ $P_t = P_0(1 + \alpha t) = P_0 \frac{T}{T_0}$

$$\therefore \frac{P_t}{P_0} = \frac{T}{T_0}$$

一般ニ

P_1, P_2 ...absolute initial and final pressure,

T_1, T_2 ... " " " " temperature,

トスレバ $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$ ナリ

Charles' Law ヲ適用シタル實例

二立方呎ノ容積ヲ有シ壓力 14.7 lbs. per square inch absolute ニシテ 60°F .

ナル氣體アリ

(1) 一定壓力ノ下ニ於テ 120°F . 迄溫度ヲ高メタルトキノ容積

(2) 一定容積ニ於テ 120°F . 迄溫度ヲ高メタルトキノ壓力如何

解 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ ノ式ニヨリ $\frac{2}{V_2} = \frac{60+460}{120+460}$

$$\therefore V_2 = 2.23 \text{ cubic feet.}$$

次ニ $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ ナルガ故

$$\frac{14.7}{P_2} = \frac{60+460}{120+460} \therefore P_2 = 16.39 \text{ pounds per square inch absolute.}$$

(二三) 「ボイル」及ビ「チャールズ」法則ノ結合 (Combination of Boyle's and Charles' Laws.)

$$P_1 V_1 = P_2 V_2, \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

ナル諸公式ハ三ツノ variable ノ内一ヲ一定ノモノトシ他ノ二者ノ關係ヲ表ハスモノナルガ故實用ニ供セラル、場合至テ稀ナリ蓋シ一般ニハ P.V.T. 共ニ變ズル場合多キヲ以テナリ

此ノ P.V.T. 共ニ變化スル場合ニ於ケル相互ノ關係式ハ上記ノ諸式ヲ結合スルコトニヨリテ求ムルコトヲ得ベシ

今 P.V.T. ヲ以テ夫々最初ノ pressure, volume 及ビ temperature ヲ示シ

P_1, V_1, T_1 ヲ以テ夫々最後ノ状態ヲ表ハサシム

先ヅ最初ニ溫度 T_1 ヲ一定ニ保チ壓力 P_1 ヲバ P_2' ナル中間壓力迄及ビ容積 V_1 ヲ V_2 迄變ゼシメタル場合ヲ考フレバ

$$P_1 V_1 = P_2' V_2 \therefore P_2' = \frac{V_1}{V_2} P_1$$

次ニ容積 V_2 ヲ一定ニ保チ壓力ヲ P_2' ヲ P_2 ニ溫度ヲ T_1 ヲ T_2 迄變化セシメタル場合ヲ考フレバ容積ハ一定ナルヲ以テ $\frac{P_2'}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$

$$\text{即チ } P_2 = \frac{T_2 P_2'}{T_1}$$

P_2' ノ代リニ前ニ得タル結果ヲ代入スレバ

$$P_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 V_2} \text{ 即チ } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

以上ノ equation ニ於ケル P.V.T. ハ氣體ノ simultaneous condition ヲ表

ハスモノナルガ故ニ次ノ如ク一般ノ形式ニヨリテ示スコトヲ得

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = a \text{ constant}$$

此ノ constant ヲバ R ヲ以テ表ハセバ

$$\text{一般ニ } PV = RT$$

式中ノ R ハ gas constant ト稱セラレ $\frac{PV}{T}$ ニ等シキモノナリ

例. 大氣壓力ノ下ニ於テ 2000 立方呎ノ容積ヲ有スル空氣アリ晴雨計ノ水銀ノ高さ 28.8 吋ニシテ其ノ溫度ハ 40°C . ナリ、然ルトキハ晴雨計ノ

指度 29.96 吋トナリ 0°C 迄温度ノ下降シタルトキ空氣ノ容積ハ幾許

トナルカ

$$\text{解 } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{ノ式ニヨリ}$$

$$\frac{29.8 \times 2000}{40 + 273} = \frac{29.96 \times V_2}{0 + 273} \quad \therefore V_2 = 1676 \text{ 立方呎}$$

barometric reading ハ特ニ absolute pressure = 換算スル要ナシ

(二四) 完全氣體ノ法則 (The Law of Perfect Gases)

PV=RT ナル equation ハ完全氣體ノ壓力、容積及ビ温度ノ相互關係ヲ示スモノナリ

式 中

V.....比容積 (Specific volume) 即チ絶對壓力 P、絶對温度 T ニ於ケル

氣體ノ單位重量ニヨリテ充タサル、容積

R.....foot-pound 單位ニテ示サレタル gas constant ニシテ氣體ノ

密度及ビ用ヒラル、計測單位ニヨリテ異ナル値ヲ有ス

此ノ gas constant R ハ或ル状態ニ於ケル氣體ノ壓力容積及ビ温度ヲ知レ

バ PV=RT ナル式ニヨリテ求ムルコトヲ得

例. 大氣壓力ニ於ケル 32°F. ノ空氣 1 pound ノ滿タス容積ハ 12.39 立方

呎ナリ英式單位ニ於ケル R ノ値ヲ算出セヨ

解 P₀.....大氣壓力 (14.7 × 144 pounds per square foot)

V₀.....specific volume of air (12.39 cu. ft.)

T₀.....absolute temperature (32 + 460)

$$\text{トスレバ } R = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{14.7 \times 144 \times 12.39}{32 + 460} = 53.3$$

而シテ此ノ R ハ氣體ノ單位重量ガ一定壓力ノ下ニ於テ熱セラレ膨脹スル

際温度一度ノ上昇毎ニナサル、仕事即チ foot-pounds per pound per

degree ヲ表ハスモノナリ

何ントナレバ最初ノ状態ニ關シテ PV₁=RT₁

最終ノ状態ニ關シテ PV₂=RT₂ トスレバ

$$\text{work} = P(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1) \quad \text{ニシテ}$$

T₂-T₁=1 トセバ R=P(V₂-V₁) ナルガ故ナリ

例. 華氏 200 度ニ於テ空氣ノ 1 pound ガ五立方呎ノ容積ヲ有シタル場合

其ノ壓力ハ幾許ナルカ

解 既ニ算出シタル R ノ値ヲ用ヒ

$$P_1 = \frac{RT_1}{V_1} = \frac{53.3 \times (460 + 200)}{5} = 7040 \text{ pounds}$$

此ノ壓力ハ per square foot absolute ニテ示サル、モノナルガ故此ヲ gauge

pressure = 換算スレバ

$$\text{pressure by gauge} = \frac{7040}{144} - 14.7 = 34.2 \text{ lbs. per square inch.}$$

例. 60 pounds per square inch by gage ノ壓力ヲ有スル 100°F. ノ空氣

3 pounds アリ其ノ容積ハ幾許ナルカ

解 PV=RT ノ式ニヨリ

$$V = \frac{RT}{P} = \frac{53.3 \times (100 + 460)}{144 \times (60 + 14.7)} \times 3 \\ = 8.3 \text{ cubic feet}$$

R ヲ算出スルニ當リテハ其ノ計測單位ヲ混亂セザル様注意ス可シ

茲ニ種々ナル氣體ニ就テ R ノ値ヲ摘記スレバ次ノ如シ

Kind of gas, Value of R(C), Specific volume (cubic feet).

Air	96.0	12.39
Hydrogen	1382.0	178.2
Oxygen	86.9	11.21
Nitrogen	99.2	12.8

以上ノ例題ニ於テ求メタル R ノ値ハ空氣ノ 1 pound ニ關スルモノナル

ガ故 = w pounds ノ空氣 = 對シテハ wR ヲ以テ constant トセザル可カラズ

依ツテ一般式ハ $PV = wRT$ ナリ

式中 P = absolute pressure in pounds per square foot.

V = volume in cubic feet,

w = weight of gas in pounds,

R = "gas constant" for one pound of gas in foot-pound units,

T = absolute temperature in Fahrenheit degrees.

此ノ $PV = wRT$ ナル equation ハ通常機關學上ニ用ヒラル、壓力及ビ温度ノ範圍ニ於テハ完全氣體ニ對シ適用シ得ルモノナリ

氣體ノ熱力學上ノ状態ハ其ノ壓力容積温度重量及ビ RT ガ既知ナレバ容易ニ知ルコトヲ得ベク又式中ノ四ヲ知レバ他ノ一ヲ求ムルコトヲ得ベシ

(二五) 氣體ニ對スル加熱ノ影響 (Heat and Its Effect upon a Gas)

今 Q = quantity of heat imparted to a gas,

$$\int_{I_1}^{I_2} dI = \text{intrinsic energy change,}$$

$$\int_{V_1}^{V_2} pdV = \text{external work done,}$$

トスレバ既ニ述ベタル如ク

$$Q = \int_{I_1}^{I_2} dI + \int_{V_1}^{V_2} pdV$$

此ノ方程式ハ物體ニ熱ヲ加ヘタル時ノ一般ノ影響ヲ示スモノニシテ若シ物體ガ熱セラル、トキハ其ノ結果内部「エネルギー」ヲ増加スルト共ニ外抵抗ニ打ち勝チ外部仕事ヲ爲スモノナルコトヲ示ス

即チ Heat supplied.

= increase in intrinsic energy + external work done.

而シテ此ノ逆モ亦眞ニシテ

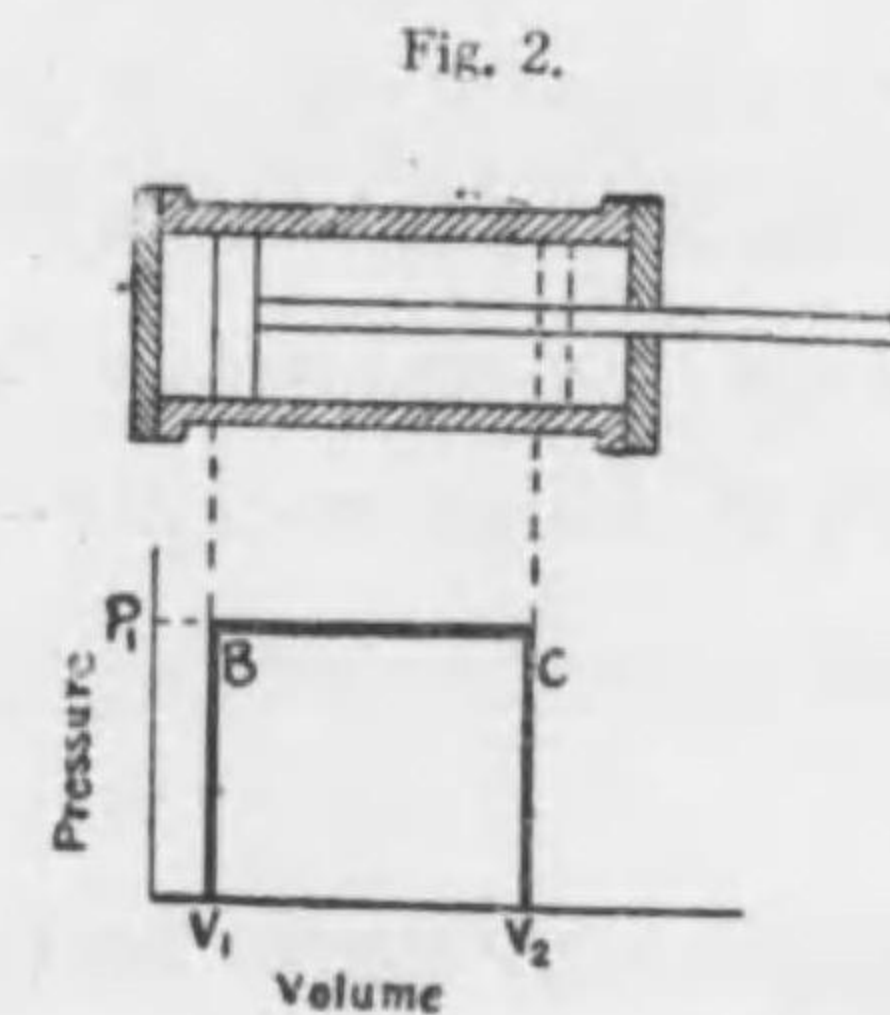
Heat abstracted from a gas.

= decrease in intrinsic energy + negative work.

ナル關係ヲ存ス

(二六) 外部仕事 (External work)

外部仕事即チ氣體ノ膨脹ニヨリテ爲サル、仕事ハ圖上ニ於テ次ノ如ク説明スルコトヲ得



若シ氣體ガ一定ノ壓力ノ下ニ於テ膨脹スルモノトスレバ第二圖ニ於ケル膨脹線 BC 下ノ面積ハ膨脹ニ依リ爲サレタル仕事ヲ表示スベシ

何ントナレバ壓力容積ニ關シ B 點ニ於ケル氣體ノ最初ノ状態ヲ P_1V_1 トシ C 點ニ於ケル最終状態ヲ P_1V_2 ヲ以テ表ハセバ膨脹中 piston ニ加ヘラル

ル壓力 P_1 ハ一定ナルヲ以テ

$$\text{work done} = P_1(V_2 - V_1) \text{ ナリ}$$

又 BC 線ガ底邊ニ平行ナラザル場合ニ於テ BC 線下ノ面積ヲ A ヲ以テ表ハセバ

$$\frac{A}{V_2 - V_1} = \text{average value of } P_1 \text{ ナルヲ以テ}$$

$$\text{work done} = \frac{A}{V_2 - V_1} \times (V_2 - V_1) = \text{area } A$$

ナルガ故ナリ

此ノ原理ハ上述ノ場合ノ如ク BC 線ガ直線ナルトキモ又後述ノ如ク曲線ナルトキモ勿論同様ニ成立スルモノナリ

(二七) 内部「エネルギー」(Internal energy)

potential energy ト同一ノ状態ニ於テ gas 又ハ vapour ノ有スル heat energy ヲバ内部「エネルギー」(internal energy) ト稱ス又此ノ「エネルギー」ハ物質ノ内部ニ存在シ他物ニ移動セザルガ故ニ intrinsic energy ト稱セラレハコトアリ

今或ル物質ニ熱ヲ加ヘタルトキ其ノ物質ガ毫モ外部仕事ヲナサザルトキハ加ヘラレタル熱量全部ハ其ノ物質内ニ内部「エネルギー」トシテ貯ヘラルモノナレ共其ノ物質ガ膨脹シ外部仕事ヲナス場合ニ於テハ其ノ内部「エネルギー」ハ加ヘラレタル熱ト爲シタル仕事ノ差丈ケ増加スルモノナリ此ノ内部「エネルギー」ハ氣體又ハ蒸發氣ガ其ノ温度ノ爲メニ有スル「エネルギー」ト定義スルコトヲ得ベシ、從ツテ氣體ノ有スル内部「エネルギー」ハ唯其ノ温度ニ依リテ變化ス

茲ニ氣體ノ 1 pound = 付キ考フルトキハ

外部ヨリ加ヘタル熱量即チ氣體ノ内部「エネルギー」ノ増加 $= C_v dT$ (in B.T.U. ナリ

但シ式中

T absolute temperature,

C_v 定容比熱

容積ヲ一定ニ保チ氣體ヲ熱シタル場合ニハ氣體ハ何等外部仕事ヲナサザルヲ以テ加ヘラレタル熱全部ハ其ノ物質ノ内部「エネルギー」トシテ貯ヘラル依リテ内部「エネルギー」ニ關シテハ常ニ C_v ヲ用ユルヲ要ス

同様ニ或ル氣體ノ 1 pound ヲ取り其ノ温度ヲ T_1 ヨリ T_2 迄高メタルトキニ於テハ

内部「エネルギー」ノ増加 $= C_v(T_2 - T_1)$ ナリ

次ニ熱ヲ加ヘタルトキ其ノ物質ガ膨脹シ外部仕事ヲ爲ス場合ヲ考究センニ

是レ恰モ定壓力ノ下ニ於テ熱シタルトキト同様ニシテ膨脹ノ結果ナサレタル仕事ハ定壓力ト増加容積トノ積ニ等シ今氣體ノ單位重量ヲ取り定壓力 P ノ下ニ熱シ其ノ温度ヲ T_1 ヨリ T_2 迄高メタルモノトシ且ツ其ノ initial 及ビ final volume ヲ $V_1 V_2$ トスレバ

$$\text{加ヘラレタル熱量} = C_p(T_2 - T_1)$$

ニシテ

$$\text{膨脹ノ結果ナサレタル仕事} = P(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1) \text{ ナリ}$$

依リテ定壓力ノ下ニ熱セラレタル場合ニ於ケル

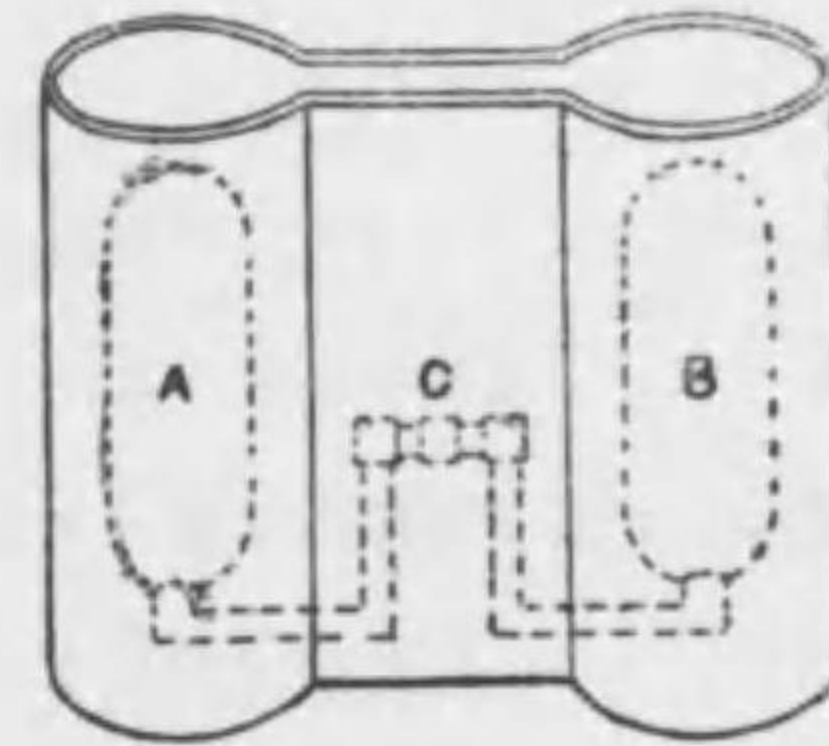
$$\begin{aligned} \text{内部「エネルギー」ノ増加} &= C_p(T_2 - T_1) - AR(T_2 - T_1) \\ &= (C_p - AR)(T_2 - T_1) \end{aligned}$$

ナリ

(二八) 「ジュール」ノ法則 (Joule's Law):

理想的ノ完全氣體 (ideally perfect gas) ガ外部仕事ヲナサズシテ膨脹セルトキ又ハ熱ノ受授ヲ爲サズシテ膨脹スルトキ (從ツテ内部「エネルギー」ニハ變化ナシ) 其ノ温度ニ變化ナキコト並ニ氣體ニ關シテモ同様ナルコトハ久シキ以前ヨリ確證セラレタル處ニシテ是レ即チ Joule 氏ノ著明ナル實驗ニ依リテ得ラレタル結果ナリ

Fig. 3.



最初 Joule 氏ノ實驗ニ用ヒタル装置ハ第三圖ニ示スガ如キモノニシテ A 器内ニハ 20 氣壓以上ノ壓搾空氣ヲ充タシ之レヲ真空ナル B 器内ニ放出セシメタリ而シテ最初交通嘴 C ヲ開クニ先ダチ水槽内ノ水ヲ攪拌シ温度ヲ計測シ置キ又 C ヲ開キテ氣體ガ兩器内ニ充滿シタル後再ビ水ヲ攪拌シ温度ヲ計測ヲ行ヒタルニ其ノ際實驗ニ供シタル甚ダ鋭敏ナル

寒暖計ノ示ス範圍ニ於テハ何等溫度ニ變化ヲ生ゼザルコトヲ知り得タリ
此ノ場合壓縮空氣ハ熱ヲ受授スルコトナク且ツ外部仕事ヲナサマルヲ以テ
實驗ノ前後ニ於テ有スル内部「エネルギー」ハ相等シク壓力及ビ容積ヲ變
ジタルノミナリ然レ共溫度ハ不變ナルガ故氣體ノ内部「エネルギー」ハ單
ニ溫度ニノミヨリテ變化シ壓力容積ノ増減ニ關シテハ無關係ノモノナルコ
トヲ斷定セリ換言セバ溫度ノ變化ヲ伴ハザル壓力容積ノ變化ハ氣體ノ内部
「エネルギー」ニハ何等影響ヲ及ボスモノニアラザルコトヲ推定セリ
而シテ Joule's Law ハ次ノ如ク述ベラル

The internal energy of a given quantity of a gas depends only on the temperature.

其ノ後 Lord Kelvin 及ビ Linde 兩氏ノ氣體ニ關スル實驗ノ結果ハ以上ノ
事實ハ精確ナルモノニアラズシテ實驗ノ前後ニ於テ溫度ニ僅少ノ變化ヲ生
ズルコトヲ立證セリ

此ノ溫度ノ變化ハ Joule-Thomson Effect トシテ周知ノ事實ナリ

故ニ此ノ法則モ理想的完全氣體ニ就テノミ精確ニ眞ナリト認メ得ラルベク
實際ノ氣體ニ關シテハ僅少ノ差異アルモノナリ

然レ共僅少ノ溫度變化ヲ生ズルハ實際ノ氣體ガ理想的ニ完全ナラザル爲メ
ニ起ルモノト認メ得ルガ故此ノ事實ヲ推論シテ上述ノ法則ヲ定メタルモノ
ナリ

前述ノ如ク氣體ノ有スル内部「エネルギー」ハ唯溫度ニノミ依リテ増減ス
ルモノニシテ $C_v(T_2 - T_1)$ ナル内部「エネルギー」ノ増加ハ氣體ガ如何ナ
ル方法ニヨリテ熱セラル、モ又熱セラル、間ニ於テ其ノ容積及ビ壓力ヲ如
何ニ變ズルモ其等ニハ何等ノ關係ナク單ニ T_1 ヨリ T_2 迄溫度ノ變化セシ
メラル、トキノミ内部「エネルギー」ハ變化スルモノナリ

(二九) 比熱ト瓦斯定數トノ關係 (Relation of Specific heats and the Gas

constant)

定壓力ノ下ニ於テ w pounds ノ氣體ヲ T_1 ヨリ T_2 迄熱スルトキハ

$$\text{所要熱量 } Q = wC_p(T_2 - T_1)$$

又定容積ノ下ニ於テ w pounds ノ氣體ヲ T_1 ヨリ T_2 迄熱シタルトキノ

内部「エネルギー」ノ増加ハ既ニ知ル如ク

$$wC_v(T_2 - T_1)$$

次ニ定壓力ノ下ニ於テ氣體ヲ熱シタル時ノ最初及ビ最終ノ容積ヲ V_1, V_2

トシ定壓力ヲ P トスレバ

加熱中氣體ノ膨脹ニヨリテ爲サル、仕事

$$= P(V_2 - V_1) \text{ foot-pounds} = \frac{P(V_2 - V_1)}{778} \text{ B.T.U.}$$

然ルニ heat added

$$= \text{increase in internal energy} + \text{external work.}$$

ナル關係アルガ故ニ

$$wC_p(T_2 - T_1) = wC_v(T_2 - T_1) + \frac{P(V_2 - V_1)}{778}$$

又既ニ知ル如ク

$$P_1V_1 = wRT_1 \quad P_2V_2 = wRT_2 \quad \text{ナルガ故}$$

此ノ關係式ヲ代入スルトキハ

$$wC_p(T_2 - T_1) = wC_v(T_2 - T_1) + w \frac{R(T_2 - T_1)}{778}$$

$$\text{即チ } C_p = C_v + \frac{R}{778}$$

$$\text{or } C_p - C_v = \frac{R}{778} = AR$$

以上ノ equation ハ二ツノ比熱ノ差ハ gas constant R ニ等シキコトヲ示
ス而シテ此ノ R ハ foot-pound 單位ニテ計測スレバ定壓力ノ下ニ於テ其
ノ溫度ヲ一度高ムルトキ氣體ノ 1 pound ニヨリ膨脹ノ結果ナサル、仕事
ニ等シキモノナリ

例. 空氣ノ定壓比熱 $C_p = 0.2375$ B.T.U. = シテ gas constant

$R = 53.3$ foot-pounds ナリ定容比熱ヲ算出セヨ

$$C_v = C_p - AR = 0.2375 - \frac{53.3}{778} = 0.1690 \text{ B.T.U.}$$

(三〇) 兩比熱ノ比 (Ratio of Two Specific heats $\frac{C_p}{C_v}$)

perfect gas ノ兩比熱ノ比ヲ示ス constant ハ一般ニ γ ヲ以テ表示セシメ

ラル

$$\text{即チ } \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{C_p}{C_p - AR} = \frac{1}{1 - \frac{AR}{C_p}}$$

$$\text{又 } C_v = C_p - AR \therefore 1 = \frac{C_p}{C_v} - \frac{AR}{C_v}$$

$$1 = \gamma - \frac{AR}{C_v} \quad \text{即チ } \gamma = 1 + \frac{AR}{C_v} \text{ ナリ}$$

例. 空氣ニ在リテハ

$$C_p = 0.2375 \text{ B.T.U.}, R = 53.3 \text{ foot-pounds}$$

ナリ、然ラバ γ ノ値如何

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{AR}{C_p}} = \frac{1}{1 - \frac{53.3}{778 \times 0.2375}} = 1.405$$

$C_v = 0.1690$ B.T.U. 及ビ $R = 53.3$ ヲ知リ空氣ノ γ ヲ求メンニハ

$$\gamma = 1 + \frac{AR}{C_v} = 1 + \frac{53.3}{778 \times 0.1690} = 1.405$$

空氣ニ就テ兩比熱ノ比ヲ示ス constant ニハ時トシテ K ナル記號ヲ用フルコトアリ

(三一) 比熱ノ値 (Values of the Specific heats)

水素酸素空氣及ビ二酸化炭素ノ比熱ニ關シ Regnault 氏ノ行ヒタル實驗ノ結果ニヨレバ總テノ氣體ノ比熱ナルモノハ種々ナル壓力及ビ溫度ニ於テ一定値ヲ有スルモノナルコト證明セラレタリシガ最近ニ至リ壓力及ビ溫度ノ變化ニ伴ヒ若干ノ増減アルコトヲ發見セリ、但シ此ノ比熱ノ値ノ増減ハ熱

力學上ノ計算ニ關シテハ概シテ著シキ影響ヲ及ボスコトナシ

然レ共内燃機關ニ關シ熱力學ヲ適用スル場合ニ於テハ其ノ爆發ハ極メテ高溫度ニ於テ起ルモノナルヲ以テ比熱ノ精確ナル値ハ最モ肝要ナルモノナルガ故此ノ比熱ノ増減ハ決シテ輕視スベカラザルモノナルコトヲ注意スルヲ要ス (第一表參照)

練習問題 (二)

(1) Air at constant pressure with an initial volume of 2 cu. ft. and temperature of 60°F. is heated until the volume is doubled. What is the resulting temperature in degrees Fahrenheit?

(2) Air is cooled at constant volume, the initial pressure is 30 lbs. per square inch and the initial temperature is 101°F. The final condition has a temperature of 50°F. What is the final pressure?

(3) One pound of hydrogen is cooled at constant pressure from a volume of 1 cu. ft. and temperature of 300°F. to a temperature of 60°F. What is the resulting volume?

(4) A tank whose volume is 50 cu. ft. contains air at 105 lbs. per square inch absolute pressure and temperature of 80°F. How many pounds of air does the tank contain?

(5) A quantity of air at a temperature of 70°F. and a pressure of 15 lbs. per square inch absolute has a volume of 5 cu. ft. What is the volume of the same air when the pressure is changed at constant temperature to 60 lbs. per square inch absolute?

(6) How many pounds of air are required for the conditions in problem (5)?

(7) The volume of a quantity of air is 10 cu. ft. at a temperature of 60°F. when the pressure is 15 lbs. per square inch absolute. What is the pressure of this air when the volume becomes 60 cu. ft. and the temperature 60°F.?

(8) How many pounds of air are required for the conditions in problem (7).?

(9) A tank contains 200 cu. ft. of air at a temperature of 60°F. and under a pressure of 200 lbs. per square inch absolute.

(a) What weight of air is present?

(b) How many cubic feet will this air occupy at 14.7 lbs. per square inch absolute and at a temperature of 100°F.?

(10) The volume of a quantity of air at 70°F. and at a pressure of 14.2 lbs. per square inch absolute is 20 cu. ft. What is the temperature of this air when the volume becomes 5 cu. ft. and the pressure 80 lbs per square inch absolute?

(11) If the specific heat of carbon dioxide under constant pressure C_p is 0.2012 and the value of R is 35.10, find the value of the specific heat under constant volume C_v .

(12) How many B.T.U. are required to double the volume of one pound of air at constant pressure from 50°F. assuming C_p of air 0.23788.

第三章 氣體ノ膨脹及ビ壓縮

(Expansion and Compression of Gases)

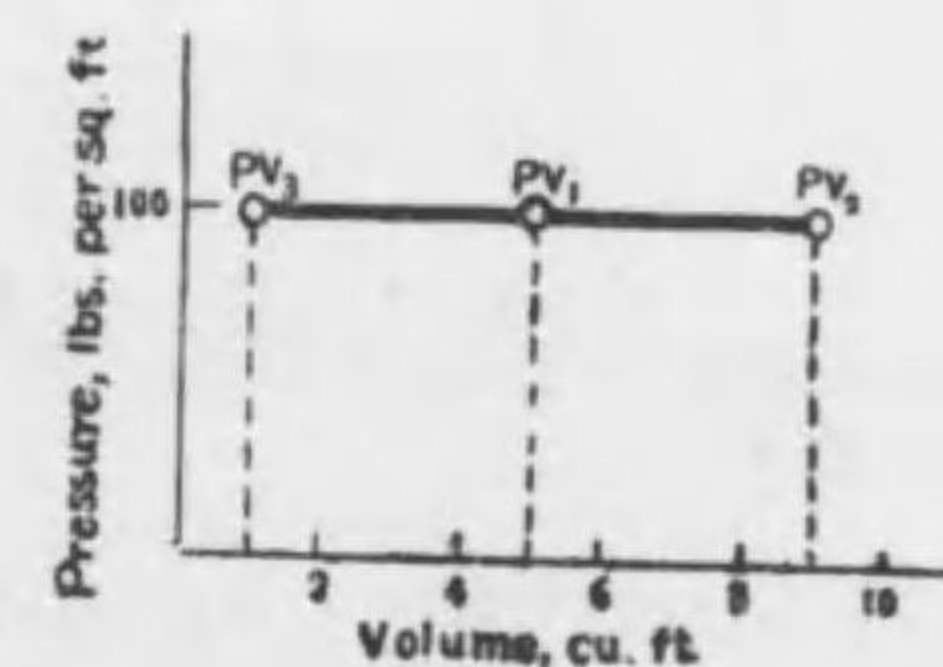
氣體ノ膨脹及ビ壓縮ニ關スル方程式

$$PV = wRT$$

ニハ壓力 P . 容積 V . 及ビ溫度 T . ナル三ツノ變數 (variable) アリ依リテ或ル氣體ノ與ヘラレタル重量ニ就テ此等變數ノ内ニツヲ知ルヲ得ハ容易ニ第三者ヲ求ムルコトヲ得

熱機械 (heat engine) ノ作動ヲ研究スルニ當リテハ壓力ト容積ノ關係ヲ知ルコト最モ必要ナリ壓力容積線圖 ($P-V$ diagram) ノ屢々用ヒラル、ハ此ノ理由ニ依ルモノニシテ彼ノ指壓圖 (indicator diagram) トハ指壓器 (indicator) ト稱スル機械的裝置ニヨリ紙上ニ自記セラレタル $P-V$ diagram ニ外ナラズ

Fig. 4.



此ノ $P-V$ diagram ノ一例ハ第四圖ニ示スガ如キモノナリ、但シ此ノ場合ニ於ケル膨脹及ビ壓縮ハ一定壓力ノ下ニ於テ行ハル、モノトス

此ノ diagram ニ於テハ垂直距離ノ長サハ壓力水平距離ノ長サハ容

積ヲ示ス

茲ニ與ヘラレタル氣體 1 pound ノ壓力及ビ容積ガ diagram 上ニ於テ P 及ビ V_1 ニヨリテ示サレタルモノトシ此ノ壓力 P ハ膨脹壓縮作用中ニ於テ終始一定ニ保タル、モノトス

今此ノ氣體ガ其ノ容積ガ V_2 トナル迄膨脹シタリトスレバ其ノ時ノ壓力容

積=關スル状態ハ PV_2 =依リテ示サレ之レ=反シ此ノ氣體ガ一定壓力ノ下ニ於テ壓縮セラレ其ノ容積ガ V_3 トナリタル場合ニ於テハ其ノ時ノ状態ハ PV_3 =ヨリテ示サルベシ此ノ如ク PV_1 ナル最初ノ状態ヨリ引カル、線ガ直線又ハ曲線ナルニセヨ零容積ヨリ遠ザカル方向ニ引カレタルトキハ膨脹ヲ表ハシ零容積ニ近ヅク方向ニ引カレタルトキハ壓縮ヲ表ハスモノナリ

而シテ此ノ線圖ニ於ケル膨脹線又ハ壓縮線下ノ面積ハ壓力ト容積ノ積ヲ示スモノナルガ故ニ仕事 (work) 或ハ「エネルギー」(energy) ヲ表ハス即チ膨脹ノ時ニハ氣體ノナシタル仕事壓縮ノ場合ニハ外部ヨリ費サレタル仕事ヲ表ハスモノナリ

圖ニ於テ PV_3 ヨリ PV_2 =至ル曲線下ノ面積ハ scale =ヨリテ 100 lbs. per square foot \times (9-1) cu. ft. = 800 foot-pounds ヲ示ス

(三二) 等温及ビ断熱變化 (Isothermal and Adiabatic changes)

熱機關 (heat engine) ノ線圖ニ於テ考究セラル可キ操作物質ノ膨脹又ハ壓縮線ハ直線ナルカ又ハ次式ニヨリテ示サル、如キ曲線ナリ

$$PV^n = \text{constant}$$

但シ上式ニ於ケル指數 n ハ實驗上決定セラルベキモノニシテ種々ナル値ヲ有スレドモーツノ曲線ニ付テハ一定値ヲ有ス

若シ diagram ニ於ケル線ガ眞直ナル場合ナレバ work done ハ單ニ方形又ハ三角形ノ面積ノ計算ニヨリテ求ムルコトヲ得レドモ一般ニ膨脹壓縮變化ヲ表ハス所ノモノハ曲線ナリ、而シテ此等ノ曲線ハ次ノ二種ニ區分スルコトヲ得

(A) 等温曲線 (Isothermal curve)

常ニ外部ヨリ熱ノ供給ヲ受ケ溫度ヲ一定ニ保チツ、膨脹スルカ又ハ熱ヲ外部ニ與ヘツ、溫度ヲ一定ニ保チ壓縮セシメラル、トキノ變化ヲ表ハス曲線

(B) 断熱曲線 (Adiabatic curve)

操作物質ガ熱ノ取捨ヲ行ハズシテ膨脹又ハ壓縮セシメラル、場合ニ於ケル變化ヲ示ス曲線ナリ、從ツテ断熱膨脹ノ場合ニ於テハ氣體ハ膨脹スル結果外部仕事ヲナスヲ以テ其ノ有スル内部「エネルギー」ノ幾部分ヲ消費シ又断熱壓縮ニ際シテハ外部ヨリ費サレタル仕事ニ等シキ「エネルギー」ヲバ其ノ内部ニ貯藏スルモノナリ

而シテ第一ノ變化ヲバ等温膨脹又ハ壓縮ト云ヒ第二ノ變化ヲバ断熱膨脹又ハ壓縮ト云フ

茲ニ種々ナル膨脹方法ニ就キ上述ノ原理ヲ適用セル實例ヲ示サン

(1) 定壓力ニ於ケル膨脹

(Expansion at constant pressure)

最初ノ溫度 60°F. ナル空氣 1 pound アリ定壓力ノ下ニ於テ 100°F. ニ達スル迄膨脹セシメタリトセヨ

(a) 膨脹中ニ於テ爲シタル外部仕事

(b) 膨脹セシムルタメニ要セラレタル熱量

ヲ求メヨ

解. 總テノ場合ニ於テ heat added = increase in internal energy + external work done.

ナル關係アリ

依リテ如何ナル膨脹ニ際シテモ必要ナル熱量ヲ求メントセバ先ヅ膨脹曲線下ノ面積ニ等シキ外部仕事ヲ見出し之ニ内部「エネルギー」ヲ増加スル爲メニ要セラレタル熱量ヲ加フレバ可ナリ

而シテ外部仕事 $W = P_1 (V_2 - V_1) = wR(T_2 - T_1) = 1 \times 53.3 [(100 + 460) - (60 + 460)] = 2132 \text{ f. - lbs.}$

次ニ increase in internal energy

$$I = wC_v(T_2 - T_1) = 1 \times 0.169[(100 + 460) - (60 + 460)] \\ = 6.76 \text{ B.T.U.}$$

依リテ heat required

$$Q = 6.76 + \frac{2132}{778} = 6.76 + 2.74 = 9.50 \text{ B.T.U.}$$

他ノ方法ニヨリ膨脹ニ要セラル、熱量ヲ求メントスレバ

$$Q = wC_p(T_2 - T_1) = 1 \times 0.237[(100 + 460) - (60 + 460)] \\ = 9.50 \text{ B.T.U. approximately}$$

(2) 定容積ニ於ケル膨脹

(Expansion at constant volume)

最初ノ温度 60°F. ナル空氣 1 pound アリ定容積ノ下ニ於テ 100°F. 迄熱シタリ

(a) 外部仕事 (b) 所要熱量

ヲ求メヨ

解 heat added (Q) = increase in internal energy + external work.

ナル關係ハ一般的ニ成立ス

然ルニ constant volume ニ於テ加熱シタルガ故 external work = 0

$$\therefore \text{heat added} = \text{increase in internal energy} + 0 = wC_v(T_2 - T_1)$$

$$+ 0 = 1 \times 0.169[(460 + 100) - (60 + 460)] = 6.76 \text{ B.T.U.}$$

(3) 等温膨脹及ビ壓縮

(Expansion and Compression at constant temperature or Isothermal)

等温膨脹又ハ壓縮ニ於テハ操作物質ノ温度ハ其ノ作用中一定ニ保タル而シテ P-V diagram ニ於ケル等温曲線ノ形状ハ物質ノ種類ニヨリテ異ナレドモ完全氣體ニ就テハ Boyle's Law ヲ適用シ次ノ如キ公式ニヨリテ表ハスコトヲ得

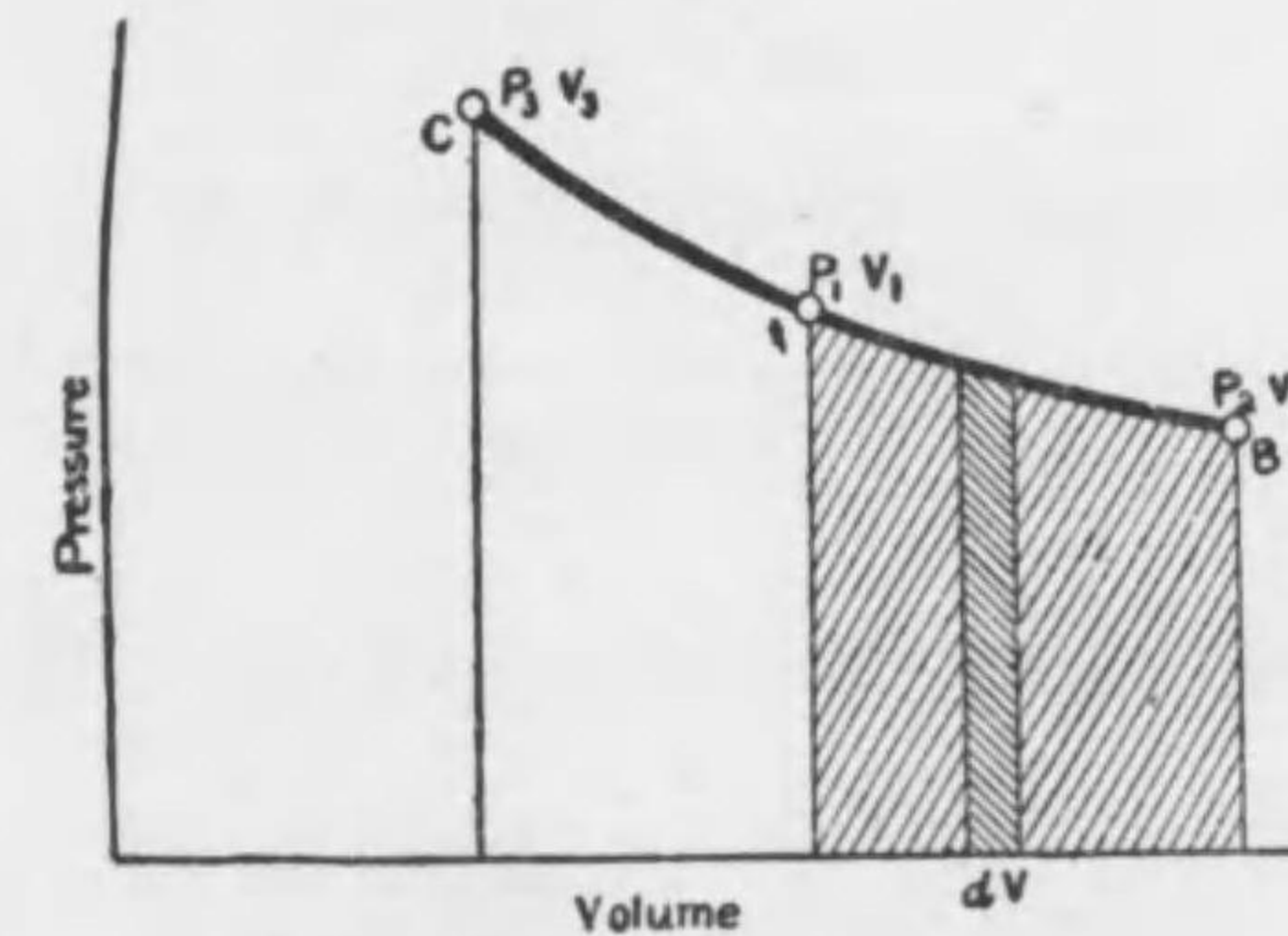
$$PV = C = \text{a constant}$$

此ノ方程式ハ rectangular hyperbola ヲ示スモノニシテ一般公式

$$PV^n = \text{constant}$$

ニ於テ n=1 ナル特別ノ場合ナリ

Fig. 5.



(等温膨脹壓縮ヲ示ス P-V diagram)

第五圖ニ示ス P-V diagram ニ於テ line CAB ヲバ isothermal line トス今 A ニヨリテ示サレタル状態ヨリ等温膨脹ヲナシ B ニヨリテ示サレタル状態ニ變化シタリトスレバ此ノ膨脹作用中ニ於テ爲サレタル外部仕事ハ AB 二點間ノ曲線下ノ面積ニヨリテ表ハサル

圖ニ於テ接近セル二垂直線間ニ挾マレタル影線ノ部分ノ幅ハ僅少ナル容積ノ變化 (infinitesimal volume change) dV ヲ表ハスモノナルガ故ニ此ノ僅少ナル容積ノ増加ニ際シ氣體ニヨリテ爲サレタル仕事

$$dW = PdV \text{ ナル可シ}$$

但シ此ノ變化ノ間ニ於テハ容積ノ増加極メテ僅少ナルヲ以テ壓力 P ハ一定ト考フルコトヲ得

依リテ V1 ナル容積ヨリ V2 ナル容積トナル迄膨脹シタル場合 foot-pound 單位ニ於ケル仕事

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P dV \text{ ナルベシ}$$

今 P.V. ヲ以テ PV=C ナル方程式ニヨリテ表ハサル、膨脹曲線上ノ一點ニ於ケル壓力及ビ容積ヲ表ハサシムルトキハ

$$P = \frac{C}{V} \text{ ナリ}$$

上式ニ於テ P ノ代ニリ $\frac{C}{V}$ ヲ用ユレバ

$$W = \int_{v_1}^{v_2} \frac{C}{V} dV = C \int_{v_1}^{v_2} \frac{dV}{V} = C(\log_e V_2 - \log_e V_1)$$

然ルニ氣體ノ initial condition ハ P₁V₁ = C ヲ以テ表ハサル、ガ故ニ

$$W = P_1 V_1 (\log_e V_2 - \log_e V_1) = P_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1} \text{ (in ft.-lbs.)}$$

以上ノ式ハ氣體ノ單位重量ニ關スルモノナルガ故ニ同一ノ狀況ノ下ニ於ケル

ル W ナル重量ヲ有スル氣體ニ關シテハ

$$P_1 V_1 = wRT \text{ (in ft.-lbs.) ニシテ}$$

$$\text{且ツ } \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \text{ ナルヲ以テ}$$

w pounds ノ氣體ニヨリテ爲サル、仕事

$$W = wRT \log_e \frac{V_2}{V_1} = wRT \log_e \frac{P_1}{P_2} \text{ (in ft.-lbs.)}$$

上式ニ於ケル $\frac{V_2}{V_1}$ ハ膨脹比 (ratio of expansion) ト稱セラル、モノニシテ

一般ニ r ヲ以テ表ハサル

$$\text{依リテ } W = wRT \log_e r$$

$$\text{茲ニ } W = C(\log_e V_2 - \log_e V_1) = P_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1}$$

$$= wRT \log_e \frac{P_1}{P_2} = wRT \log_e r$$

ナル諸關係式ハ P₁V₁ ナル狀態ヨリ P₂V₂ ナル狀態迄氣體ガ膨脹シタル場

合ニ於テ爲シタル仕事ヲ示スモノナレドモ若シ反對ニ P₁V₁ ナル狀態ヨリ

P₂V₂ ナル狀態迄壓縮セラレタル場合ニ於テハ壓縮曲線ハ AC ニヨリテ示

サレ曲線 AC 下ノ面積ハ壓縮スル爲メニ氣體ノ上ニ爲サレタル仕事ヲ表

TABLE 1.

SPECIFIC HEAT OF GASES AND VAPORS.						
Substance.	Range of Temp. C.	C _p	Authority	$\frac{C_p}{C_v}$	Authority	Calculated C _p
Air	-30-10	0.23771	Regnault	1.4066	Various	0.1691
	0-100	0.23741	"			
	0-200	0.23751	"			
	20-100	0.2389	Wiedemann			
	Mean	0.23788			
Alcohol (ethyl)	108-220	0.4534	Regnault	1.136	{ Jaeger Neyreneuf }	0.3991
	Alcohol (methyl)	101-223	0.4580			
Ammonia	23-100	0.5202	Wiedemann	1.31	{ Cazin, Wüllner }	0.3991
	27-200	0.5356	"			
	24-216	0.5125	Regnault			
	Mean	0.5228			
Benzene	34-115	0.2990	Wiedemann
	35-180	0.3325	"			
	116-218	0.3754	Regnault			
Carbon Dioxide	-28-77	0.1843	Regnault	1.300	{ Wüllner Rontgen. }	0.1548
	15-100	0.2025	"			
	11-214	0.2169	"			
	Mean	0.2012			
Carbon Monoxide	23-99	0.2425	Wiedemann	1.403	{ Cazin, Wüllner }	0.1729
	26-198	0.2426	"			
Ether	69-224	0.4797	Regnault	1.029	Muller	0.4436
	27-189	0.4618	Wiedemann			
	25-111	0.4280	"			
	Mean	0.4565			
Hydrogen	-28-9	3.3996	Regnault	1.410	Cazin	2.419
	12-198	3.4090	"			
	21-100	3.4100	Wiedemann			
	Mean	3.4062			
Nitrogen	0-200	0.2438	Regnault	1.410	Cazin	0.1729
Sulphur Dioxide	16-202	0.1544	Regnault	1.26	{ Cazin Müller }	0.1225
	Water	128-217	0.4805			
Water	100-125	0.3787	{ Gray, Macfarlane,			
	Mean	0.4296			

TABLE II.

Absolute Pressure. Pounds per Square Inch.	Temperature, Degrees F.	Heat of the Liquid.	PROPERTY	
			Heat of Vaporization.	Total Heat
<i>p</i>	<i>t</i>	<i>h</i>	<i>L</i>	<i>H</i>
10.1	35.03	3.05	1071.7	107
10.2	53.15	27.23	1061.6	108
10.3	64.49	32.57	1055.3	108
0.4	72.91	40.95	1050.6	109
0.5	79.68	47.71	1047.0	109
0.6	85.32	53.34	1043.8	109
0.7	90.18	58.18	1041.1	109
0.8	94.46	62.45	1038.7	110
0.9	98.33	66.31	1036.6	110
1	101.83	69.8	1034.6	110
2	126.15	94.0	1021.0	111
3	141.52	109.4	1012.3	112
4	153.01	120.9	1005.7	112
5	162.28	130.1	1000.3	113
6	170.06	137.9	995.8	113
7	176.85	144.7	991.8	113
8	182.86	150.8	988.2	113
9	188.27	156.2	985.0	114
10	193.22	161.1	982.0	114
11	197.75	165.7	979.2	114
12	201.96	169.9	976.6	114
13	205.87	173.8	974.2	114
14	209.55	177.5	971.9	114
14.7	212.00	180.0	970.4	115
15	213.0	181.0	969.7	115
20	228.0	196.1	960.0	115

TABLE II.

PROPERTIES OF SATURATED STEAM. (Marks and Davis.)											
Absolute Pressure, Pounds per Square Inch.	Temperature, Degrees F.	Heat of the Liquid.	Heat of Vaporization.	Total Heat.	Heat Equivalent of Internal Work.	Heat Equivalent of External Work.	Entropy of the Liquid.	Entropy of the Vapor.	Total Entropy.	Specific Volume.	Density Weight per Cubic Foot, Pounds.
p	t	h	L	$H = h + L$	p	Ap_u	θ	$\frac{L}{T}$	$\theta + \frac{L}{T}$	v	w
10.1	35.03	3.05	1071.7	1074.7	1017.3	54.4	0.0662	2.1666	2.1728	2935.0	0.000340
10.2	53.15	21.23	1061.6	1082.8	1005.2	56.5	0.0423	2.0704	2.1127	1524.0	0.000656
10.3	64.49	32.57	1055.3	1087.9	997.7	57.6	0.0640	2.0135	2.0775	1041.0	0.000961
0.4	72.91	40.95	1050.6	1091.6	992.4	58.5	0.0800	1.9730	2.0530	794.0	0.001259
0.5	79.68	47.71	1047.0	1094.6	987.6	59.3	0.0926	1.9413	2.0332	642.0	0.001553
0.6	85.32	53.34	1043.8	1097.1	983.9	59.9	0.1029	1.9135	2.0184	541.0	0.001850
0.7	90.18	58.18	1041.1	1099.3	980.7	60.4	0.1117	1.8936	2.0053	467.0	0.002143
0.8	94.46	62.45	1038.7	1101.2	977.8	61.0	0.1195	1.8747	1.9942	412.0	0.002431
0.9	98.33	66.31	1036.6	1102.9	975.2	61.4	0.1265	1.8578	1.9843	367.9	0.002719
1	101.83	69.8	1034.6	1104.4	972.9	61.7	0.1327	1.8427	1.9754	333.0	0.00300
2	126.15	94.0	1021.0	1115.0	956.7	64.5	0.1749	1.7431	1.9180	173.5	0.00576
3	141.52	109.4	1012.3	1121.6	946.4	65.8	0.2008	1.6840	1.8843	118.5	0.00845
4	153.01	120.9	1005.7	1126.5	938.6	67.0	0.2198	1.6416	1.8614	90.5	0.01107
5	162.28	130.1	1000.3	1130.5	932.4	68.0	0.2348	1.6084	1.8432	73.33	0.01364
6	170.06	137.9	995.8	1133.7	927.0	68.8	0.2571	1.5814	1.8285	71.89	0.01616
7	176.85	144.7	991.8	1136.5	922.4	69.4	0.2579	1.5582	1.8161	53.56	0.01867
8	182.86	150.8	988.2	1139.0	918.2	70.0	0.2673	1.5380	1.8053	47.27	0.02115
9	188.27	156.2	985.0	1141.1	914.4	70.6	0.2756	1.5202	1.7958	42.36	0.02361
10	193.22	161.1	982.0	1143.1	910.9	71.1	0.2832	1.5042	1.7874	38.38	0.02606
11	197.73	165.7	979.2	1144.9	907.8	71.5	0.2902	1.4895	1.7797	35.10	0.02849
12	201.96	169.9	976.6	1146.5	904.8	71.8	0.2967	1.4760	1.7727	32.36	0.03090
13	205.87	173.8	974.2	1148.0	902.0	72.2	0.3025	1.4639	1.7664	30.03	0.03330
14	209.53	177.5	971.9	1149.4	899.3	72.6	0.3081	1.4523	1.7604	28.02	0.03569
14.7	212.00	180.0	970.4	1150.4	897.6	72.9	0.3118	1.4447	1.7565	26.79	0.03732
15	213.0	181.0	969.7	1150.7	896.8	72.9	0.3133	1.4416	1.7549	26.27	0.03806
20	228.0	196.1	960.0	1156.2	885.8	74.3	0.3355	1.3965	1.7320	20.08	0.04980
25	240.1	208.4	952.0	1160.4	876.8	75.3	0.3532	1.3604	1.7136	16.30	0.0614
30	250.3	218.8	945.1	1163.9	869.0	76.2	0.3680	1.3311	1.6991	13.74	0.0728
35	259.3	227.9	938.9	1166.8	862.1	76.9	0.3868	1.3060	1.6868	11.89	0.0841
40	267.3	236.1	933.3	1169.4	855.9	77.6	0.3920	1.2841	1.6761	10.49	0.0953
45	274.3	243.4	928.2	1171.6	850.3	78.1	0.4021	1.2644	1.6665	9.39	0.1065
50	281.0	250.1	923.5	1173.6	845.0	78.6	0.4113	1.2468	1.6581	8.51	0.1175
55	287.1	256.3	919.0	1175.4	840.2	78.9	0.4196	1.2309	1.6505	7.78	0.1283
60	292.7	262.1	914.9	1177.0	835.6	79.7	0.4272	1.2160	1.6432	7.17	0.1394
65	298.0	265.7	911.0	1178.5	831.4	79.8	0.4344	1.2034	1.6368	6.65	0.1503
70	302.9	272.6	907.2	1179.8	827.3	80.1	0.4411	1.1896	1.6307	6.20	0.1612
75	307.6	277.4	903.7	1181.8	823.5	80.5	0.4474	1.1778	1.6252	5.81	0.1721
80	312.0	282.0	900.3	1182.3	819.8	80.7	0.4535	1.1665	1.6200	5.47	0.1829
85	316.3	286.3	897.1	1183.4	816.3	81.0	0.4590	1.1561	1.6151	5.16	0.1937
90	320.3	290.5	893.9	1184.4	813.0	81.2	0.4644	1.1461	1.6105	4.89	0.2044
95	324.0	294.5	890.9	1185.4	809.7	81.5	0.4694	1.1367	1.6061	4.65	0.2151
100	327.8	298.3	888.0	1186.3	806.6	81.7	0.4743	1.1277	1.6020	4.429	0.2258
105	331.4	302.0	885.2	1187.2	803.6	81.9	0.4789	1.1191	1.5980	4.230	0.2365
110	334.8	305.5	882.5	1188.0	800.7	82.1	0.4834	1.1108	1.5942	4.047	0.2472
115	338.1	309.0	879.8	1188.8	797.9	82.3	0.4877	1.1030	1.5907	3.880	0.2577
120	341.3	312.3	877.2	1189.6	795.2	82.5	0.4919	1.0954	1.5873	3.726	0.2683
125	344.4	315.5	874.7	1190.3	792.6	82.6	0.4959	1.0880	1.5839	3.583	0.2791
130	347.4	318.6	872.3	1191.0	790.0	82.8	0.4998	1.0809	1.5807	3.452	0.2897
135	350.3	321.7	869.9	1191.6	787.5	82.9	0.5035	1.0742	1.5777	3.331	0.3002
140	353.1	324.6	867.6	1192.2	785.0	83.0	0.5072	1.0675	1.5747	3.219	0.3107
145	355.8	327.4	865.4	1192.8	782.7	83.2	0.5107	1.0612	1.5719	3.112	0.3213
150	358.5	330.2	863.2	1193.4	780.4	83.3	0.5142	1.0550	1.5692	3.012	0.3320
155	361.0	332.9	861.0	1194.0	778.1	83.5	0.5175	1.0489	1.5664	2.920	0.3425
160	363.6	335.6	858.8	1194.5	775.8	83.6	0.5208	1.0431	1.5639	2.834	0.3529
165	366.0	338.2	856.8	1195.0	773.6	83.7	0.5239	1.0376	1.5615	2.758	0.3633
170	368.5	340.7	854.7	1195.4	771.5	83.8	0.5269	1.0321	1.5590	2.675	0.3738
175	370.8	343.2	852.7	1195.9	769.4	83.9	0.5299	1.0268	1.5567	2.602	0.3843
180	373.1	345.6	850.8	1196.4	767.4	84.0	0.5328	1.0215	1.5543	2.533	0.3948
185	375.4	348.0	848.8	1196.8	765.4	84.1	0.5356	1.0164	1.5520	2.468	0.4052
190	377.6	350.4	846.9	1197.3	763.4	84.2	0.5384	1.0114	1.5498	2.406	0.4157
195	379.8	352.7	845.0	1197.7	761.4	84.3	0.5410	1.0066	1.5476	2.346	0.4262
200	381.9	354.9	843.2	1198.1	759.5	84.4	0.5437	1.0019	1.5456	2.290	0.437

p	t	h	L	H = h + L	p	Apu	θ	$\frac{L}{T}$	$\theta + \frac{L}{T}$	v	w
10.1	35.03	3.05	1071.7	1074.7	1017.3	54.4	0.0062	2.1666	2.1728	2935.0	0.000340
10.2	53.15	21.23	1061.6	1082.8	1005.2	56.5	0.0423	2.0704	2.1127	1524.0	0.000656
10.3	64.49	32.57	1053.3	1087.9	997.7	57.6	0.0640	2.0135	2.0775	1041.0	0.000961
0.4	72.91	40.95	1050.6	1091.6	992.4	58.5	0.0800	1.9730	2.0530	794.0	0.001259
0.5	79.68	47.71	1047.0	1094.6	987.6	59.3	0.0926	1.9313	2.0322	642.0	0.001553
0.6	85.32	53.34	1043.8	1097.1	983.9	59.9	0.1029	1.9155	2.0184	541.0	0.001850
0.7	90.18	58.18	1041.1	1099.3	980.7	60.4	0.1117	1.8936	2.0053	467.0	0.002143
0.8	94.46	62.45	1038.7	1101.2	977.8	61.0	0.1195	1.8747	1.9942	412.0	0.002431
0.9	98.33	66.31	1036.6	1102.9	975.2	61.4	0.1265	1.8578	1.9843	367.9	0.002719
1	101.83	69.8	1034.6	1104.4	972.9	61.7	0.1327	1.8427	1.9754	333.0	0.00300
2	126.15	94.0	1021.0	1115.0	956.7	64.3	0.1749	1.7431	1.9180	173.5	0.00576
3	141.52	109.4	1012.3	1121.6	946.4	65.8	0.2008	1.6840	1.8848	118.5	0.00845
4	153.01	120.9	1005.7	1126.5	938.6	67.0	0.2198	1.6416	1.8614	90.5	0.01107
5	162.28	130.1	1000.3	1130.5	932.4	68.0	0.2348	1.6084	1.8432	73.33	0.01364
6	170.06	137.9	995.8	1133.7	927.0	68.8	0.2571	1.5814	1.8285	71.89	0.01616
7	176.85	144.7	991.8	1136.5	922.4	69.4	0.2579	1.5582	1.8161	53.56	0.01867
8	182.86	150.8	988.2	1139.0	918.2	70.0	0.2673	1.5380	1.8053	47.27	0.02115
9	188.27	156.2	985.0	1141.1	914.4	70.6	0.2756	1.5202	1.7938	42.36	0.02361
10	193.22	161.1	982.0	1143.1	910.9	71.1	0.2832	1.5042	1.7874	38.38	0.02606
11	197.75	165.7	979.2	1144.9	907.8	71.5	0.2902	1.4895	1.7797	35.10	0.02849
12	201.96	169.9	976.6	1146.5	904.8	71.8	0.2967	1.4760	1.7727	32.36	0.03090
13	205.87	173.8	974.2	1148.0	902.0	72.2	0.3025	1.4639	1.7664	30.03	0.03330
14	209.55	177.5	971.9	1149.4	899.3	72.6	0.3081	1.4523	1.7604	28.02	0.03569
14.7	212.00	180.0	970.4	1150.4	897.6	72.9	0.3118	1.4447	1.7565	26.79	0.03732
15	213.0	181.0	969.7	1150.7	896.8	72.9	0.3133	1.4416	1.7549	26.27	0.03806
20	228.0	196.1	960.0	1156.2	885.8	74.3	0.3355	1.3965	1.7320	20.08	0.04080
25	240.1	208.4	952.0	1160.4	876.8	75.3	0.3532	1.3604	1.7136	16.30	0.0614
30	250.3	218.8	945.1	1163.9	869.0	76.2	0.3680	1.3311	1.6991	13.74	0.0728
35	259.3	227.9	938.9	1166.8	862.1	76.9	0.3868	1.3060	1.6868	11.89	0.0841
40	267.8	236.1	933.3	1169.4	855.9	77.6	0.3920	1.2841	1.6761	10.49	0.0953
45	274.5	243.4	928.2	1171.6	850.3	78.1	0.4021	1.2644	1.6665	9.39	0.1065
50	281.0	250.1	923.5	1173.6	845.0	78.6	0.4113	1.2468	1.6581	8.51	0.1175
55	287.1	256.3	919.0	1175.4	840.2	78.9	0.4196	1.2309	1.6505	7.78	0.1285
60	292.7	262.1	914.9	1177.0	835.6	79.7	0.4272	1.2160	1.6432	7.17	0.1394
65	298.0	267.7	911.0	1178.5	831.4	79.8	0.4344	1.2034	1.6368	6.65	0.1503
70	302.9	272.6	907.2	1179.8	827.3	80.1	0.4411	1.1896	1.6307	6.20	0.1612
75	307.6	277.4	903.7	1181.8	823.5	80.5	0.4474	1.1778	1.6252	5.81	0.1721
80	312.0	282.0	900.3	1182.3	819.8	80.7	0.4535	1.1665	1.6200	5.47	0.1829
85	316.3	286.3	897.1	1183.4	816.3	81.0	0.4590	1.1561	1.6151	5.16	0.1937
90	320.3	290.5	893.9	1184.4	813.0	81.2	0.4644	1.1461	1.6105	4.89	0.2044
95	324.0	294.5	890.9	1185.4	809.7	81.5	0.4694	1.1367	1.6061	4.65	0.2151
100	327.8	298.3	888.0	1186.3	806.6	81.7	0.4743	1.1277	1.6020	4.429	0.2258
105	331.4	302.0	885.2	1187.2	803.6	81.9	0.4789	1.1191	1.5980	4.230	0.2365
110	334.8	305.5	882.5	1188.0	800.7	82.1	0.4834	1.1108	1.5942	4.047	0.2472
115	338.1	309.0	879.8	1188.8	797.9	82.3	0.4877	1.1030	1.5907	3.880	0.2577
120	341.3	312.3	877.2	1189.6	795.2	82.5	0.4919	1.0954	1.5873	3.726	0.2683
125	344.4	315.5	874.7	1190.3	792.6	82.6	0.4959	1.0880	1.5839	3.583	0.2791
130	347.4	318.6	872.3	1191.0	790.0	82.8	0.4998	1.0809	1.5807	3.452	0.2897
135	350.3	321.7	869.9	1191.6	787.5	82.9	0.5035	1.0742	1.5777	3.331	0.3002
140	353.1	324.6	867.6	1192.2	785.0	83.0	0.5072	1.0675	1.5747	3.219	0.3107
145	355.8	327.4	865.4	1192.8	782.7	83.2	0.5107	1.0612	1.5719	3.112	0.3213
150	358.5	330.2	863.2	1193.4	780.4	83.3	0.5142	1.0550	1.5692	3.012	0.3320
155	361.0	332.9	861.0	1194.0	778.1	83.5	0.5175	1.0489	1.5664	2.920	0.3425
160	363.6	335.6	858.8	1194.5	775.8	83.6	0.5208	1.0431	1.5639	2.834	0.3529
165	366.0	338.2	856.8	1195.0	773.6	83.7	0.5239	1.0376	1.5615	2.753	0.3633
170	368.5	340.7	854.7	1195.4	771.5	83.8	0.5269	1.0321	1.5590	2.675	0.3738
175	370.8	343.2	852.7	1195.9	769.4	83.9	0.5299	1.0268	1.5567	2.602	0.3843
180	373.1	345.6	850.8	1196.4	767.4	84.0	0.5328	1.0215	1.5543	2.533	0.3948
185	375.4	348.0	848.8	1196.8	765.4	84.1	0.5356	1.0164	1.5520	2.468	0.4052
190	377.6	350.4	846.9	1197.3	763.4	84.2	0.5384	1.0114	1.5498	2.406	0.4157
195	379.8	352.7	845.0	1197.7	761.4	84.3	0.5410	1.0066	1.5476	2.346	0.4262
200	381.9	354.9	843.2	1198.1	759.5	84.4	0.5437	1.0019	1.5456	2.290	0.437
205	384.0	357.1	841.4	1198.5	757.6	84.5	0.5463	0.9973	1.5436	2.237	0.447
210	386.0	359.2	839.6	1198.8	755.8	84.5	0.5488	0.9928	1.5416	2.187	0.457
215	388.0	361.4	837.9	1199.2	754.0	84.6	0.5513	0.9885	1.5398	2.138	0.468
220	389.9	363.4	836.2	1199.6	752.3	84.7	0.5538	0.9841	1.5381	2.091	0.478
225	391.9	365.5	834.4	1199.9	750.5	84.7	0.5562	0.9799	1.5361	2.046	0.489
230	393.8	367.5	832.8	1200.2	748.8	84.8	0.5586	0.9758	1.5341	2.004	0.499
240	397.4	371.4	829.5	1200.9	745.4	85.0	0.5633	0.9676	1.5309	1.924	0.520
250	401.1	375.2	826.3	1201.5	742.0	85.1	0.5676	0.9600	1.5276	1.850	0.541
275	409.5	384.2	818.6	1202.8	734.2	85.3	0.5780	0.9419	1.5199	1.686	0.593
300	417.5	392.7	811.3	1204.1	726.8	85.6	0.5878	0.9251	1.5129	1.551	0.645

* Courtesy of the Publishers, Longmans, Green & Co.

† Interpolated.

TABLE III. PROPERTIES OF SUPERHEATED STEAM.

Pressure, Pounds Absolute.	Saturated Steam.	Degrees of Superheat.						Pressure, Pounds Absolute.	Saturated Steam.	Degrees of Superheat.						Pressure, Pounds Absolute.	Saturated Steam.	Degrees of Superheat.					
		50	100	150	200	250	300			50	100	150	200	250	300			50	100	150	200	250	300
5	t 162.3 v 73.3 h 1130.5	212.3	262.3	312.3	362.3	412.3	462.3	90	t 320.3 v 4.89 h 1184.4	370.3	420.3	470.3	520.3	570.3	620.3	175	t 370.8 v 2.60 h 1195.9	420.8	470.8	520.8	570.8	620.8	670.8
10	t 193.2 v 38.4 h 1143.1	243.2	293.2	343.2	393.2	443.2	493.2	95	t 324.1 v 4.65 h 1185.4	374.1	424.1	474.1	524.1	574.1	624.1	180	t 373.1 v 2.53 h 1196.4	423.1	473.1	523.1	573.1	623.1	673.1
15	t 213.0 v 26.27 h 1150.7	263.0	313.0	363.0	413.0	463.0	513.0	100	t 327.8 v 4.43 h 1186.3	377.8	427.8	477.8	527.8	577.8	627.8	185	t 375.4 v 2.47 h 1196.8	425.4	475.4	525.4	575.4	625.4	675.4
20	t 228.0 v 20.08 h 1156.2	278.0	328.0	378.0	428.0	478.0	528.0	105	t 331.4 v 4.23 h 1187.2	381.4	431.4	481.4	531.4	581.4	631.4	190	t 377.6 v 2.41 h 1197.3	427.6	477.6	527.6	577.6	627.6	677.6
25	t 240.1 v 16.30 h 1160.4	290.1	340.1	390.1	440.1	490.1	540.1	110	t 334.8 v 4.05 h 1188.0	384.8	434.8	484.8	534.8	584.8	634.8	195	t 379.8 v 2.35 h 1197.7	429.8	479.8	529.8	579.8	629.8	679.8
30	t 250.4 v 13.74 h 1163.9	300.4	350.4	400.4	450.4	500.4	550.4	115	t 338.1 v 3.88 h 1188.8	388.1	438.1	488.1	538.1	588.1	638.1	200	t 381.9 v 2.29 h 1198.1	431.9	481.9	531.9	581.9	631.9	681.9
35	t 259.3 v 11.89 h 1166.8	309.3	359.3	409.3	459.3	509.3	559.3	120	t 341.3 v 3.73 h 1189.6	391.3	441.3	491.3	541.3	591.3	641.3	205	t 384.0 v 2.24 h 1198.5	434.0	484.0	534.0	584.0	634.0	684.0
40	t 267.3 v 10.49 h 1169.4	317.3	367.3	417.3	467.3	517.3	567.3	125	t 344.4 v 3.58 h 1190.3	394.4	444.4	494.4	544.4	594.4	644.4	210	t 386.0 v 2.19 h 1198.8	436.0	486.0	536.0	586.0	636.0	686.0
45	t 274.5 v 9.39 h 1171.6	324.5	374.5	424.5	474.5	524.5	574.5	130	t 347.4 v 3.45 h 1191.0	397.4	447.4	497.4	547.4	597.4	647.4	215	t 388.0 v 2.14 h 1199.2	438.0	488.0	538.0	588.0	638.0	688.0
50	t 281.0 v 8.51 h 1173.6	331.0	381.0	431.0	481.0	531.0	581.0	135	t 350.3 v 3.33 h 1191.6	400.3	450.3	500.3	550.3	600.3	650.3	220	t 389.9 v 2.09 h 1199.6	439.9	489.9	539.9	589.9	639.9	689.9
55	t 287.1 v 7.78 h 1175.4	337.1	387.1	437.1	487.1	537.1	587.1	140	t 353.1 v 3.22 h 1192.2	403.1	453.1	503.1	553.1	603.1	653.1	225	t 391.9 v 2.05 h 1199.9	441.9	491.9	541.9	591.9	641.9	691.9
60	t 292.7 v 7.17 h 1177.0	342.7	392.7	442.7	492.7	542.7	592.7	145	t 355.8 v 3.12 h 1192.8	405.8	455.8	505.8	555.8	605.8	655.8	230	t 393.8 v 2.00 h 1200.2	443.8	493.8	543.8	593.8	643.8	693.8
65	t 298.0 v 6.65 h 1178.5	348.0	398.0	448.0	498.0	548.0	598.0	150	t 358.5 v 3.01 h 1193.4	408.5	458.5	508.5	558.5	608.5	658.5	235	t 395.6 v 1.96 h 1200.6	445.6	495.6	545.6	595.6	645.6	695.6
70	t 302.9 v 6.20 h 1179.8	352.9	402.9	452.9	502.9	552.9	602.9	155	t 361.0 v 2.92 h 1194.0	411.0	461.0	511.0	561.0	611.0	661.0	240	t 397.4 v 1.92 h 1200.9	447.4	497.4	547.4	597.4	647.4	697.4
75	t 307.6 v 5.81 h 1181.1	357.6	407.6	457.6	507.6	557.6	607.6	160	t 363.6 v 2.83 h 1194.5	413.6	463.6	513.6	563.6	613.6	663.6	245	t 399.3 v 1.89 h 1201.2	449.3	499.3	549.3	599.3	649.3	699.3
80	t 312.0 v 5.47 h 1182.3	362.0	412.0	462.0	512.0	562.0	612.0	165	t 366.0 v 2.75 h 1195.0	416.0	466.0	516.0	566.0	616.0	666.0	250	t 401.0 v 1.85 h 1201.5	451.0	501.0	551.0	601.0	651.0	701.0
85	t 316.3 v 5.16 h 1183.4	366.3	416.3	466.3	516.3	566.3	616.3	170	t 368.5 v 2.68 h 1195.4	418.5	468.5	518.5	568.5	618.5	668.5	255	t 402.8 v 1.81 h 1201.8	452.8	502.8	552.8	602.8	652.8	702.8

t = TEMPERATURE DEG. FAHR. v = SPECIFIC VOLUME, IN CUBIC FEET, PER POUND. h = TOTAL HEAT FROM WATER AT 32 DEGREES, B. T. U.

ハス、從ツテ仕事ハ負ノ値ヲ有ス

完全氣體ノ等溫膨脹並ニ壓縮ニ際シテハ其ノ變化中溫度 T ハ不變ナルガ
 故ニ内部「エネルギー」ノ收藏 (stock) ニ關シテハ増減ヲ生ズルモノニア
 ラズ依リテスル膨脹作用中ニ於テハ氣體ハ膨脹ニ際シ爲ス所ノ仕事ニ等シ
 キ熱量ヲ外部ヨリ取り入レザル可カラズ之レニ反シ等溫壓縮ニ際シテハ
 氣體ノ上ニ費サレタル仕事ニ等シキ熱量ヲ外部ニ放捨セザル可カラザル
 ヤ明ナリ

故ニ $wRT \log_e r$ ハ氣體ニヨリテ爲サル、仕事或ハ氣體ノ上ニ費サレタル
 仕事ヲ表ハスノミナラス等溫膨脹ノ間ニ於テ取入レタル熱量並ニ等溫壓縮
 ノ間ニ於テ外部ニ放捨シタル熱量ヲ表ハスモノニシテ此ノ熱量ヲ Q ヲ以
 テ示ス時ハ

$$Q = \frac{wRT}{778} \log_e \frac{V_2}{V_1}$$

前述ノ理由ニヨリテ氣體ノ等溫變化ヲ示ス曲線ハ又等「エネルギー」線ト
 見做スコトヲ得ルモノナリ

次ノ問題ハ等溫膨脹ニ關スル上述ノ公式ヲ適用セルモノナリ

例.

Air having a pressure of 100 pounds per square inch absolute and a
 volume of 1 cubic foot expands isothermally to a volume of 4 cubic feet.
 Find.

- (a) External work of the expansion;
- (b) Heat required to produce the expansion;
- (c) Pressure at end of expansion.

解.

(a) 膨脹ハ等溫的ナルガ故

$$W = P_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1} = 100 \times 144 \times 1 \times 1.3848 \\ = 19940 \text{ foot-pounds.}$$

註. $2.3 \log_{10} x = \log_e x$ ナルガ放常用對數ヲ表ニヨリテ求メ之レニ 2.3 ヲ乘ズレバ可ナリ

(b) 一般ニ

$$\text{heat added} = \text{increase in internal energy} + \text{external work done,}$$

ナレドモ此ノ變化ニ於テハ溫度一定ナルガ故内部「エネルギー」ニハ増減ナシ

$$\therefore \text{heat added} = \text{external work done,}$$

$$\text{即チ 加ヘラレタル熱量} = \frac{199.40}{778} = 25.6 \text{ B.T.U.}$$

(c) $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ナルガ故ニ

$$100 \times 1 = P_2 \times 4 \quad \therefore P_2 = 25 \text{ pounds per square inch absolute}$$

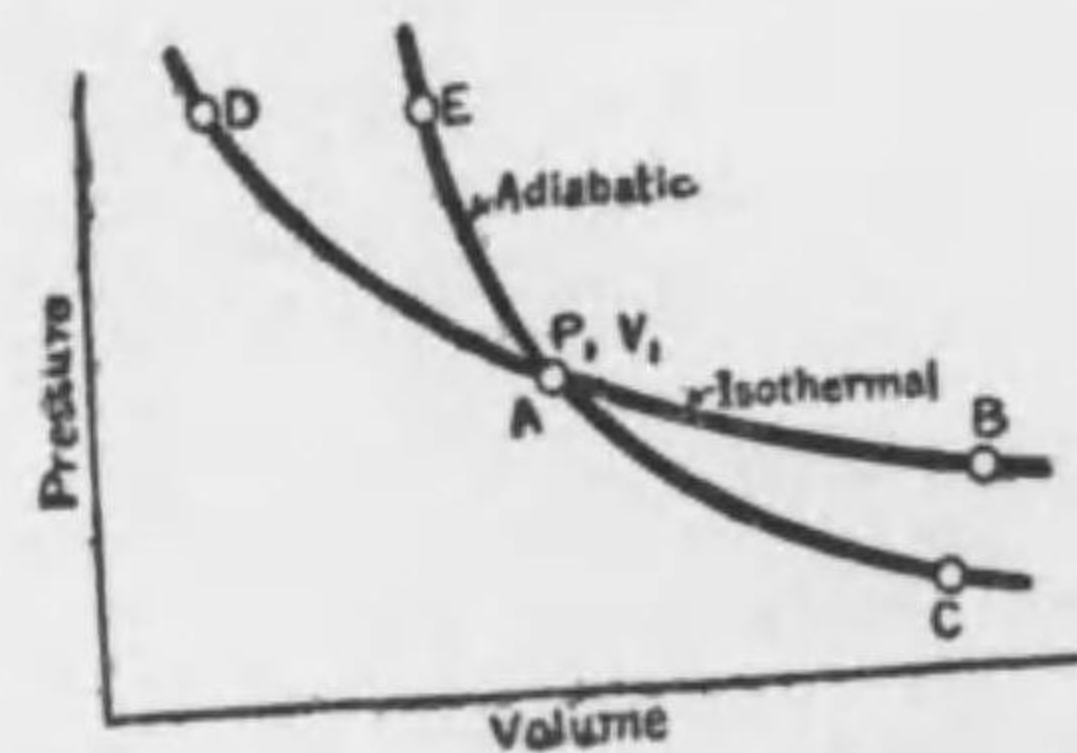
若シ氣體ガ膨脹ニ際シ外部熱源ヨリ何等熱ノ供給ヲ受ケズシテ外部仕事ヲ爲シタルトキハ其ノ保有セル内部「エネルギー」ノ幾分ヲ費消シ之ヲ仕事ニ轉換セザル可カラザルガ故ニ此ノ膨脹作用中ニ於テハ必然溫度ノ下降ヲ惹起ス可ク從ツテ膨脹ハ明ニ等溫的ナラズ

(4) 斷熱膨脹及ビ壓縮

(Adiabatic expansion and compression)

斷熱的變化ヲナス所ノ操作物質ハ膨脹或ハ壓縮作用ノ間ニ於テ熱ノ受授ヲ行フコトナシ此ノ變化ノ間ニ於テ壓力及ビ容積ノ關係ヲ示ス曲線ヲ斷熱線ト稱ス

Fig. 6.



勿論此ノ斷熱的變化ノ間ニ於テハ操作物質ハ傳導 (conduction) 輻射 (radiation) 及ビ内部ノ化學的作用 (internal chemical action) 等ニ依リ熱ヲ獲得スルコトナク又放捨スルコトナキヲ以テ氣體ガ斷熱膨脹ニヨリ仕事ヲナス場合ニ於テハ内部「エネルギー」ノ幾分ヲ消費シ又斷熱壓縮ノタメ氣體ガ外部ヨリ或ル仕事ヲ爲サレタル場合ニ於テハ其ノ仕事ノ全部ハ氣體ノ内部「エネルギー」トシテ蓄積セラル

上述ノ如キ理想的斷熱變化ハ完全ナル熱ノ不導體ヲ以テ構成セラレタル筒 (cylinder) 内ニ於テ氣體ガ膨脹或ハ壓縮セラル、場合ニ限り行ヒ得ルモノナリ

然レドモ筒内ニ於ケル氣體ノ壓縮ガ著シク迅速ニ遂行セラル、ナラバ先ヅ大體斷熱的ト思考スルコトヲ得ベク、之ニ反シテ其ノ作用ガ極メテ徐々ニ行ハレ傳導作用ニ依リテ熱ガ消散スル餘裕ヲ存スル場合ニ於テハ殆ンド等溫的ト考フルコトヲ得ルモノナリ

第六圖ハ最初ノ状態 A ($P_1 V_1$) ヨリ斷熱及ビ等溫變化ヲナス場合ニ於ケル壓力容積線圖ヲ示スモノニシテ B, C, 二點ハ膨脹ノトキノ最終状態 D, E. 二點ハ壓縮作用後ニ於ケル最終状態ヲ示ス茲ニ斷熱的ニ膨脹スル氣體ニ就テ壓力容積ノ關係ヲ詳知セントセバ先ヅ基本公式

$$\text{(加ヘラレタル熱)} = \text{(内部「エネルギー」ノ増加)} + \text{(外部仕事)}$$

$$\text{即チ } Q = w K_v (T_2 - T_1) + P dV \text{ (ft.-lbs.)}$$

ニ就テ考究スルヲ要ス

但シ K_v ハ foot-pound 單位ニ於ケル比熱ニシテ 778 C_p ヲ示スモノナリ 斷熱變化ニ於テハ氣體ニ對シ熱ノ出入ナキヲ以テ上式ノ左節 $Q = 0$ ナリ且ツ $PV = wRT$ ナル公式ハ完全氣體ニ付キテ常ニ適用シ得ルモノナルガ故ニ次ノ二關係式ヲ得

$$0 = w K_v dT + P dV \dots\dots (A)$$

$$PV = wRT \dots\dots\dots(B)$$

而シテ斷熱膨脹ニ於テハ P.V. 及ビ T ノ三者共ニ同時ニ變ズルヲ以テ (B)

式ハ次ノ如ク書キ代フルコトヲ得

$$PdV + VdP = wRdT$$

$$\therefore dT = \frac{PdV + VdP}{wR}$$

此ノ dT ノ値ヲ (A) 式ニ代入スレバ

$$PdV + wK_v \frac{PdV + VdP}{wR} = 0$$

$$\text{即チ } R PdV + K_v PdV + K_v VdP = 0$$

總體ヲ PV ニテ除スルトキハ

$$R \frac{dV}{V} + K_v \frac{dV}{V} + K_v \frac{dP}{P} = 0$$

$$\text{即チ } (R + K_v) \frac{dV}{V} + K_v \frac{dP}{P} = 0$$

之レヲ積分スレバ

$$(R + K_v) \log_e V + K_v \log_e P = \text{constant} = C$$

$$\text{即チ } \frac{R + K_v}{K_v} \log_e V + \log_e P = C$$

$$\text{從ツテ } \log_e PV^{\frac{R + K_v}{K_v}} = C$$

今 K_v, K_p ヲ以テ夫々 foot-pound 單位ニ於ケル定容及定壓比熱ヲ表ハサ

シムルトキハ既ニ知ル如ク

$$R + K_v = K_p \text{ ナリ}$$

$$\text{依リテ } \log_e PV^{\frac{R + K_v}{K_v}} = \log_e PV^{\frac{K_p}{K_v}} = C$$

$$\text{然ルニ } \frac{C_p}{C_v} = \gamma \text{ or } \frac{K_p}{K_v} = \gamma \text{ ナルヲ以テ}$$

$$PV^\gamma = C \text{ ナル關係ヲ得}$$

是レ即チ斷熱變化ニ對スル方程式ナリ

次ニ斷熱膨脹ニ依リテナサレタル仕事ヲ求ムルニハ等温膨脹ノ場合ト同様

=

$$W = \int_{v_1}^{v_2} PdV \text{ ノ式ヲ用ユベシ}$$

一般公式 $PV^n = C$ ニヨリテ膨脹中ノ壓力容積ノ關係ヲ示シ得ルモノトス

レバ

$$P = \frac{C}{V^n} \text{ ナリ}$$

$$\text{依リテ } W = \int_{v_1}^{v_2} PdV = \int_{v_1}^{v_2} \frac{C}{V^n} dV = C \int_{v_1}^{v_2} \frac{dV}{V^n}$$

$$= C \left[\frac{V^{-n+1}}{-n+1} \right]_{v_1}^{v_2} = C \left[\frac{V_2^{1-n} - V_1^{1-n}}{1-n} \right]$$

然ルニ $PV^n = P_1V_1^n = P_2V_2^n = C$ ナルガ故

$$W = \frac{P_2V_2^n V_2^{1-n} - P_1V_1^n V_1^{1-n}}{1-n} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$$

$$= \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1} \text{ (foot-pounds)}$$

$$= \frac{P_1V_1 \left(1 - \frac{P_2V_2}{P_1V_1} \right)}{n-1} = \frac{P_1V_1 \left(1 - \frac{P_2V_2^n V_2^{1-n}}{P_1V_1^n V_1^{1-n}} \right)}{n-1}$$

$$= \frac{P_1V_1 \left(1 - \frac{V_2^{1-n}}{V_1^{1-n}} \right)}{n-1} = \frac{P_1V_1(1-r^{1-n})}{n-1} \text{ (foot-pounds)}$$

但シ $r = \frac{V_2}{V_1}$ ニシテ ratio of expansion ヲ表ハス

又 $PV = wRT$ ナル關係アルガ故

$$W = \frac{wR(T_1 - T_2)}{n-1} \text{ (foot-pounds) ナル可シ}$$

W ヲ求ムル上式ハ $PV^n = \text{constant}$ ナル關係ヲ有スルガ如ク膨脹又ハ壓縮

作用ノ行ハル、時適用セラル、モノナルガ故完全氣體ノ斷熱膨脹ニ際シテ

ハ $n = \gamma$ ナリ

(三三) 斷熱變化ノ間ニ於ケル内部「エネルギー」ノ増減

(Change of internal energy during adiabatic processes)

斷熱變化ニ際シテハ其ノ物質ニ對シ熱ノ出入ナキヲ以テ膨脹ニ依リテナサ

レタル仕事ハ其ノ氣體ノ消費シタル内部「エネルギー」ニ等シ

而シテナサレタル仕事

$$W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{n-1} = \frac{wR(T_1 - T_2)}{n-1} \text{ ナルガ故}$$

Loss in internal energy

$$= \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{778(n-1)} = \frac{wR(T_1 - T_2)}{778(n-1)} \text{ B.T.U.}$$

若シ氣體ガ膨脹セズシテ壓縮セシメラレタル時ハ W ハ氣體ニ對シ外部ヨリナサレタル仕事ヲ意味シ同一公式ヲ適用シ得ルコト勿論ナリ、但シ此ノ仕事ハ内部「エネルギー」ノ増加トナルモノナリ

(三四) 斷熱膨脹ニ於ケル完全氣體ノ容積壓力及ビ溫度ノ關係

(Relation between volume, pressure and temperature in adiabatic expansion of a perfect gas)

斷熱膨脹ニ於テハ氣體ノ壓力 P、容積 V 及ビ溫度 T ハ何レモ同時ニ變化スルヲ以テ此等三者ノ相互關係ヲ知ルコト極メテ肝要ナリ

氣體ガ斷熱的ニ膨脹スレバ壓力ヲ減ジ容積ヲ増加シ且ツ外部仕事ヲナスヲ以テ内部「エネルギー」ハ減少シ其ノ溫度ハ下降ス可ク之ニ反シ斷熱壓縮作用ニ於テハ容積ヲ減ジ壓力ヲ増加スルト共ニ内部「エネルギー」ヲ増シ其ノ溫度ハ上昇ス

而シテ $PV = wRT$ ナル公式ハ常ニ完全氣體ニ適用シ得ルモノナルガ故ニ

$$\text{斷熱變化ノ場合ニハ } \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \dots\dots\dots(A)$$

$$P_1V_1^\gamma = P_2V_2^\gamma \dots\dots\dots(B)$$

ナル二ツノ關係式ヲ得ベシ

此等關係式ノ組合セニヨリ二ツノ最初ノ状態及ビ二ツノ最終状態ヲ知レバ

容易ニ壓力容積及ビ溫度ノ最終状態ヲ求ムルコトヲ得ベシ

例ヘバ V_1T_1 及 V_2 ヲ知リ T_2 ヲ求メントセバ

$$\frac{(A)}{(B)} = \frac{V_1}{T_1V_1^\gamma} = \frac{V_2}{T_2V_2^\gamma}$$

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

$$\therefore T_2 = T_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-\gamma} = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \dots\dots\dots(a)$$

同様ニ又 $\frac{P_1V_1^\gamma = P_2V_2^\gamma}{P_1V_1^\gamma = P_2V_2^\gamma}$

$$\therefore \frac{V_2^\gamma}{V_1^\gamma} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma = \frac{P_1}{P_2}$$

$$\text{即チ } \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \text{ ナリ}$$

$$\therefore T_2 = T_1 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \dots\dots\dots(b)$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma \dots\dots\dots(c)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{1-\gamma}} \text{ ナルヲ以テ}$$

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

$$V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \dots\dots\dots(e)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \text{ ナルヲ以テ}$$

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

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

依リテ

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

以上ノ諸式ニ於テ γ ノ代ハリニ n ヲ用フレバ $PV^n = \text{constant}$ ナル式ニヨ

リ表ハサル、完全氣體ノ如何ナル膨脹ノ場合ニモ適用スルコトヲ得且ツ又

同一單位ヲ用ユレバ如何ナル單位ヲ用フルモ支障ヲ生ズルコトナシ

氣體ノ膨脹ヲ考究スルニ當リ其ノ膨脹作用ハ斷熱的或ハ等温的ナラザル場

合多シ

$$\text{今 } \frac{wR(T_1 - T_2)}{n-1} = \frac{wR(T_1 - T_2)}{\gamma-1}$$

\downarrow \downarrow
 (work done by expansion) (work done by adiabatic expansion or internal energy expended)

ノ式ニ於テ

$n < \gamma$ ナルトキハナサレタル仕事ハ内部「エネルギー」ノ消費量ヨリモ大ナリ、依リテ此ノ如キ膨脹作用ハ斷熱的ト等温的ノ中間ノ變化ニシテ氣體ハ膨脹中ニ於テ外部ヨリ熱ノ供給ヲ受ケザル可ラス

此ニ反シ若シ $n > \gamma$ ナルトキニ於テハ爲サレタル仕事ハ内部「エネルギー」ノ消費量ヨリモ小ナリ從ツテ氣體ハ膨脹作用中ニ於テ容器ノ壁ヨリ傳導若クハ他ノ方法ニヨリ熱ヲ排除シツ、アリタルモノナルコトヲ知り得ベシ

一般ノ場合ノ膨脹ニ於テ n ノ値ヲ求メントセバ

$PV^n = \text{constant}$ ノ式ヨリ

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \quad \text{ナルガ故}$$

$$\log_{10} P_1 + n \log_{10} V_1 = \log_{10} P_2 + n \log_{10} V_2$$

$$\therefore n = \frac{\log_{10} P_1 - \log_{10} P_2}{\log_{10} V_2 - \log_{10} V_1}$$

例.

溫度 60°F . ($T_1 = 460 + 60 = 520$ absolute) ニ於ケル純粹ナル空氣アリ之レヲ筒内ニ入レ急速ニ斷熱的ナラシムルガ如ク最初ノ容積ノ $\frac{1}{2}$ ニ壓縮シタリトセ

ヨリ壓縮後ニ於ケル溫度 T_2 如何

解 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{2}{1}$ ニシテ空氣ノ場合ニハ $\gamma = 1.405$ ナルガ故

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = 520 \times 2^{1.405-1} = 520 \times 2^{.405}$$

$$= 688^\circ\text{F. absolute}$$

華氏寒暖計ノ目盛ヲ以テセバ

$$688 - 460 = 228^\circ\text{F.}$$

次ニ此ノ空氣 1 pound ヲ斷熱的ニ壓縮スルタメニ要セラレタル仕事ヲ

求メンニ

$$\text{work} = \frac{wR(T_1 - T_2)}{\gamma-1} \quad \text{ナル式ヲ用ヒ}$$

$$W = \frac{53.3(520 - 688)}{0.405} = -22,110$$

foot-pounds per pound of air compressed

此ノ仕事ノ負値ヲ有スルハ氣體ガ壓縮セシメラル、時氣體ニ對シ外部ヨリ仕事ノナサレタルコトヲ意味スルモノニシテ正值ナレバ膨脹ヲ示シ其ノ時ノ W ハ氣體ノ膨脹ニヨリテ爲サレタル仕事ヲ表ハス

本問題ニ於テハ壓縮作用ノ結果氣體ノ内部「エネルギー」ハ

$$\frac{22110}{778} \text{ B.T.U. 丈増加ス}$$

然レ共筒 (cylinder) ガ普通一般ノ如ク熱ノ良導體ニヨリテ構成セラレアルトキハ増加シタル内部「エネルギー」ノ全部ハ周圍ノ空氣及ビ他ノ物體ニ傳導作用ニヨリ消散セシメラル、ガ放時ヲ經ルニ從ヒ漸次減少シ其ノ溫度ガ最初ト同ジク 60°F . ニ下降シタル時全ク舊ノ値ニ復ス

練習問題 (三)

(1) Calculate the heat required to produce a temperature change of 50°F . in three pounds of air at constant pressure.

(2) How many foot-pounds of work are done by 2 lbs. of air in expanding to double its volume at constant temperature of 100°F .?

(3) Three pounds of air are to be compressed from a volume of 2 to 1 cubic foot at a constant temperature of 60°F . How many B.T.U. of heat must be rejected from the air?

(4) Air compressor has a cylinder volume 2 cu. ft. If it takes air at 14.4 lbs. per square inch absolute and 70°F . and

compresses it isothermally to 100 lbs. per square inch absolute, find

(a) Pounds of air in cylinder at beginning of compression stroke.

(b) The final volume of the compressed air.

(c) The foot-pounds of work done upon the gas during compression.

(d) The B.T.U. absorbed by the air in increasing the internal energy.

(e) The B.T.U. to be abstracted from the cylinder.

(5) A cubic foot of air at a pressure of 150 lbs. per square inch gage expands isothermally until its pressure is 50 lbs. per square inch gage.

Calculate the work done during this expansion.

(6) Air at 100 lbs. per square inch absolute and a volume of 2 cu. ft. expands along $n=1$ curve to 25 lbs. per square inch absolute pressure. Find.

(a) Work done by the expansion.

(b) Heat to be supplied.

(7) A quantity of the air at 100 lbs. per square inch absolute pressure has a temperature of 80°F. It expands isothermally to the pressure of 25 lbs. per square inch absolute when it has a volume of 4 cu. ft. Find,

(a) The mass of air present.

(b) Work of the expansion in foot-pounds.

(c) Heat required in B.T.U.

(8) Air at 100 lbs. per square inch absolute pressure and 2 cu. ft. expands to 25 lbs. per square inch absolute adiabatically, what is the final volume?

(9) One cubic foot of air at 60°F. and a pressure of 15 lbs. per square inch absolute is compressed without loss or addition of heat to 100 lbs. per square inch absolute pressure. Find the final temperature and volume.

(10) Two pounds of air are expanded from a temperature of 300°F. to 200°F. adiabatically. How many foot-pounds of work are developed?

第四章 氣體ヲ使用スル熱機械ノ「サイクル」

(Cycles of Heat Engine using Gas)

(三五) 熱機械ノ「サイクル」(The Heat engine cycle)

熱機械=於ケル操作物質 (working substance) ハ熱ヲ機械的仕事=轉換スルタメニ種々ナル物理的性状ノ變化ヲ受クルモノニシテ此ノ變化ノ反復=ヨリテ熱ヲ仕事=轉換スル作用ヲバ熱機械ノ「サイクル」ト稱ス
熱ヲ仕事=轉換セシムベキ「サイクル」ヲナス熱力學上ノ機械ヲバ heat engine ト云ヒ熱ヲ低溫度ノ物體ヨリ高溫度ノ物體ニ移動セシムル「サイクル」ヲナス所ノモノヲ冷却機械 (refrigerating machine) ト稱ス
操作物質ガ作動スル「サイクル」ニ於テ若シ物質ガ數次ノ變化ヲナシタル後全ク最初ノ状態ニ復歸シタル時ハ其ノ物質ハ完全「サイクル」(complete cycle) ヲナシタリト云フ

Heat engine ノ原理ヲ研究スルニ當リ操作物質ハ完全「サイクル」ヲナシタルモノト考フルコト必要ナリ、若シ「サイクル」ガ完成セラレザル時ニ於テハ操作物質ハ最初及ビ最終状態ヲ異ニシ其ノ物質ノ有スル内部「エネルギー」ニ變化ヲ來シ問題ハ一層複雑トナルガ故ナリ然レ共完全「サイクル」ヲナシタルトキハ其ノ保有セル内部「エネルギー」ニハ「サイクル」ノ前後ニ於テ何等ノ變化ナクシテ

一般公式

$$(\text{受け取りタル熱}) = (\text{仕事}) + (\text{捨テタル熱})$$

ナル關係ヲ得テ問題ハ極メテ簡單トナルモノナリ。

而シテ heat engine cycle ハ一般ニ次ノ如キ四次ノ作用ヨリ成立ス

- | | |
|----------|----------|
| (1) 加熱作用 | (2) 膨脹作用 |
| (3) 冷却作用 | (4) 壓縮作用 |

凡テノ熱機械ハ或ル熱源 (heat source) ヨリ熱ヲ取り入レ其ノ一部ヲ仕事=轉換シ殘部ノ熱ヲバ熱棄場 (refrigerator) = 放捨スルモノニシテ復水式蒸氣機關ノ熱源及ビ熱棄場ハ夫々罐ノ爐及ビ冷汽器 (condenser) ナリ

(三六) 「カーノーサイクル」(The Carnot cycle)

理論的ニ完全ナル熱機械 (perfect heat engine) = 關スル重要ナル結論ハ操作物體トシテ完全氣體ヲ使用シ之ヲ等溫及ビ斷熱的ニ膨脹又ハ壓縮セシメテ「サイクル」ヲ完成スルガ如キ理想的機械 (ideal engine) ノ作動ニ關スル研究ノ結果ニ待タザルベカラザルヤ明ナリ

此ノ作動ノ理想的「サイクル」ハ 1824 年始メテ「カーノー」氏ニヨリテ説明セラレタル所ノモノニシテ次ノ如キ四次ノ作用ヲナス

- (1) 等溫膨脹 (isothermal expansion)
- (2) 斷熱膨脹 (adiabatic expansion)
- (3) 等溫壓縮 (isothermal compression)
- (4) 斷熱壓縮 (adiabatic compression)

此ノ「サイクル」ハ理想的完全機械 (ideally perfect engine) ト熱機械 (heat engine) トヲ比較スル上ニ於テ理論上ノ最初ノ基礎ヲ與ヘタルモノナリ
茲ニ操作物質ヲシテ理想的ノ「カーノーサイクル」ヲ爲サシムルタメニ必要ナル機械ノ構造並ニ附屬裝置ニ付テ説明センニ筒 (cylinder) ハ熱ノ良導體ニテ作ラレタル左端ヲ除キテノ全部及ビ吸鑄共ニ何レモ熱ノ完全ナル不導體ヲ以テ構成セラレ且ツ吸鑄ト cylinder barrel ノ間ニ於テハ摩擦ナキモノト考フルコトヲ得ルモノトシ又吸鑄ノ左側ニ充タサレタル操作物質ハ完全氣體ニシテ種々ナル變化ヲナス間ニ於テ終始外部壓力ト平衡ヲ保チ得ルモノトス

次ニ又附屬裝置トシテハ

H……極メテ大ナル熱容量 (heat capacity) ヲ有シ常ニ溫度ヲ T_1 = 保

熱體 (hot body)

N.....完全ナル熱ノ不導體ヲ以テ構成セラレタル蓋 (cover)

R.....極メテ大ナル熱容量 (heat capacity) ヲ有シ T_1 ヨリ低キ T_2 ナ

ル一定溫度ヲ保ツ冷體 (cold body)

ノ三者ヲ要ス而シテ此ノ H, N, R, 等ハ必要ニ應ジ熱ノ良導體ヲ以テ構成

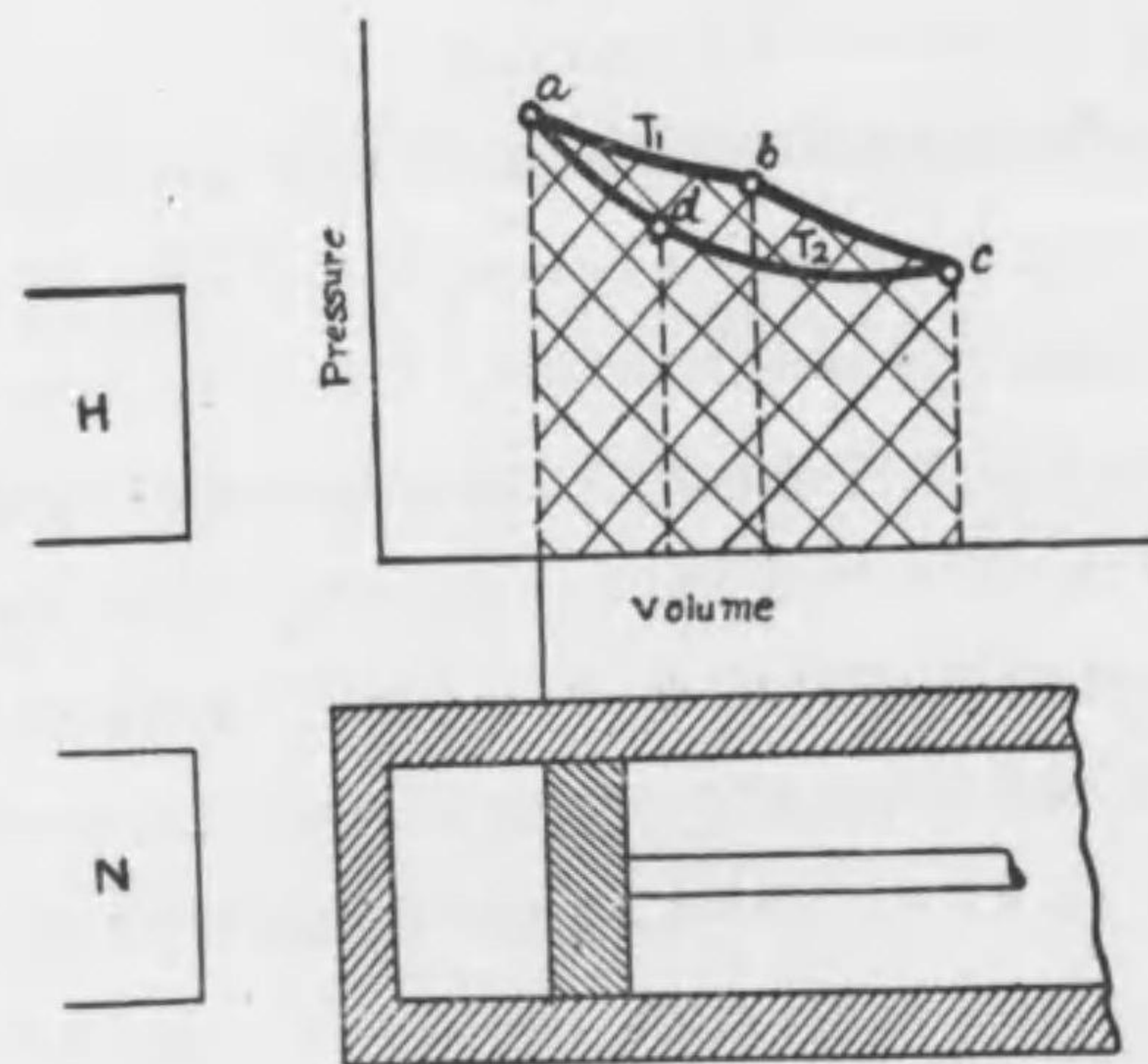
セラレタル筒ノ左端頭部ニ接觸セシメ得ルモノトス

今吸鑄ノ左側 cylinder 内ノ空所ニ完全氣體ト見做シ得ル操作物質ヲ充タ

シ第七圖ニ示スガ如キ位置ニ吸鑄ノアリタル時「サイクル」ヲ開始シ其ノ

時ニ於ケル氣體ノ状態ヲ a 點ニヨリテ示サシム

Fig. 7.



此ノ場合空所内ニアル操作物質ヲバ 1 pound トシ
其ノ溫度容積及ビ壓力ヲバ夫々 $T_1 V_a P_a$ ヲ以テ表ハ
サシメ又 b, c, d. 諸點ニ於ケル容積壓力ヲバ夫々 V_b
 $P_b, V_c P_c, V_d P_d$ ヲ以テ表ハサシム然ル時ハ此ノ dia-

gram 上ニ於ケル a, b, c, d. ノ諸點ヲ連結スル曲線ハ夫々 cycle ニ於ケル四
次ノ變化ヲ表ハスモノナリ

Carnot cycle 作動ノ説明

(第一) hot body 即チ heater H ヲバ cylinder ノ左端頭部ニ接觸セシメ

氣體ニ熱ヲ與ヘツ、之ヲ等溫的ニ膨脹セシム此ノ變化ハ曲線 ab ニ依リテ

示サル、而シテ熱源 H ハ大ナル heat capacity ヲ有スルガ故ニ氣體ハ熱

ノ供給ヲ受ケ溫度ヲ一定ニ維持スルコトヲ得ベク從ツテ膨脹後ノ b 點ニ

於テモ溫度ハ同様ニ T_1 ニシテ其ノ容積ハ V_b ニ増加シ壓力ハ P_b ニ下降ス

此ノ膨脹作用中ニ於テハ氣體ハ吸鑄ヲ右方ニ壓シ出シツ、仕事ヲ爲スモノ

ニシテ然モ此ノ膨脹ハ等溫的ナルガ故氣體ハ外部ニ對シ爲シタル仕事ニ

シキ熱量ヲバ hot body H ヨリ取入ルコトハ明ナリ

茲ニ氣體ノナシタル仕事ヲ W_{a-b} トシ取入レタル熱量ヲ Q_a トスレバ既ニ

知ルガ如ク

$$W_{a-b} = 778 \times Q_a = \int_{V_a}^{V_b} PdV = RT_1 \int_{V_a}^{V_b} \frac{dV}{V}$$

$$= RT_1 \log_e \frac{V_b}{V_a} \text{ ft. - lbs.}$$

(第二) hot body H ヲ取り去リ同時ニ non-conducting cover N ヲバ

cylinder head ニ接觸セシメ外部ノ熱源ヨリ熱ヲ取り入レズシテ氣體ヲバ

膨脹セシメ以テ外部仕事ヲナサシムルトキハ氣體ノ膨脹ハ斷熱的ナルガ故

ニ氣體ハ内部「エネルギー」ヲ消費シツ、斷熱線 bc ニ沿ヒ膨脹スベシ

此ノ膨脹作用ニ於テハ氣體ノ熱度ハ内部「エネルギー」ノ消費量ニ比例シ

テ下降スベク c 點ニ達セシ時ノ溫度ヲ T_2 トスレバ此ノ状態ニ於ケル壓力

及ビ容積ハ $P_c V_c$ ニヨリテ表ハサル而シテ bc 線ニ沿フ變化ニ於テハ熱ノ

出入ナキヲ以テ外部仕事即チ内部「エネルギー」ノ減少量

$$\frac{W_{b-c}}{778} = C_v (T_1 - T_2)$$

(第三) 次 = non-conducting cover N ヲバ cylinder head ヨリ取り去リ cold body 即チ refrigerator R ヲバ cylinder head = 接觸セシメ piston ノ 逆行 = ヨリ氣體ヲ壓縮セシムレバ氣體ハ溫度 T_2 = 於テ等溫壓縮變化ヲナスベシ

此ノ壓縮作用 = 於ケル仕事ハ氣體ノ上ニナサル、モノナルガ故 = 内部ニ熱ヲ發生スルモ此ノ熱ハ大ナル熱容量ヲ有スル冷體 R = 捨テラル、ヲ以テ其ノ溫度ハ終始一定ニシテ T_2 = 保タル、コトハ明ナリ

此ノ壓縮作用ハ第四ノ斷熱壓縮作用 = ヨリテ氣體ガ「サイクル」ノ初期 = 於ケル状態ニ全ク回復スルガ如キ d 點ニ至ル迄繼續セシメラル、モノトス、而シテ此ノ d 點ハ a ヨリノ斷熱變化ノ線ト c ヨリノ等溫變化ノ線トノ交點トシテ決定セラル茲ニ代數的ニ d 點ヲ決定スル方法ヲ述ブレバ次ノ如シ

即チ第二次ノ斷熱膨脹 = 於ケル溫度ト容積ノ關係ハ

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_c}{V_b} \right)^{\gamma-1}$$

ニシテ第四次ノ斷熱壓縮 = 際シテハ

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_d}{V_a} \right)^{\gamma-1} \quad \text{ナル關係ヲ有ス}$$

從ツテ $\frac{V_c}{V_b} = \frac{V_d}{V_a}$ 即チ $\frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d}$ ナリ

故ニ「サイクル」ノ第一次變化タル等熱膨脹ノ膨脹比ヲシテ第三次ノ等溫壓縮比 = 等シカラシムル如ク d 點ヲ決定セバ第四次ノ斷熱壓縮作用 = ヨリテ此ノ「サイクル」ヲ完結セシムルコトヲ得ベシ

次ニ cd 線 = 沿フ等溫壓縮ノ間 = 於テ cold body R = 捨テラル、熱ヲ Q_c

トシ氣體ノ上ニ爲サル、仕事ヲ W_{c-d} トスレバ

$$\begin{aligned} W_{c-d} &= 778 \times Q_c = \int_{V_c}^{V_d} PdV = RT_2 \int_{V_c}^{V_d} \frac{dV}{V} \\ &= RT_2 \log_e \frac{V_d}{V_c} = -RT_2 \log_e \frac{V_c}{V_d} \end{aligned}$$

(第四) cold body R ヲバ cylinder head ヨリ取り去リ non-conducting cover N ヲ以テ之ニ代ヘ尙ホ氣體ノ壓縮ヲ繼續スレバ此ノ壓縮作用ハ斷熱的ニシテ曲線 da = ヨリテ表ハサレ壓力ノ高マル = 伴ヒ溫度ノ上昇ヲ來ス可シ、依リテ d 點ヲ適當ニ撰定セバ其ノ壓力ガ P_a トナリタル時其ノ溫度モ亦 T_1 迄上昇セシムルコトヲ得ベシ

斯ノ如クシテ此ノ cycle ハ完結セシメラル、モノニシテ最初ノ状態ニ復シタル氣體ハ幾回トナク同一「サイクル」ヲ繰返スモノナリ

此ノ斷熱壓縮作用 = 於テハ熱ノ受授ナキニヨリ内部「エネルギー」ノ増加ハ氣體ノ上ニ爲サレタル仕事 = 等シク且ツ膨脹ノ場合ト正反對ナルガ故

$$\frac{W_{d-a}}{778} = -C_v (T_1 - T_2)$$

次ニ此ノ「サイクル」ノ間 = 於テ氣體 = ヨリ爲サレタル正味仕事量 = 付テ考フルニ

ab, bc. 曲線 = 依リ示サレタル等溫及ビ斷熱膨脹 = ヨリ氣體ノナシタル外部仕事ハ

$$RT_1 \log_e \frac{V_b}{V_a} + 778 \times C_v (T_1 - T_2) \quad \text{ニシテ}$$

cd, da. ナル等溫及ビ斷熱壓縮作用ノ間 = 於テ氣體ノ上ニナサレタル仕事量ハ

$$-RT_2 \log_e \frac{V_c}{V_d} - 778 \times C_v (T_1 - T_2) \quad \text{ナリ}$$

而シテ氣體ノ爲シタル仕事ノ正味量 W ハ双方ノ代數和 = 等シキモノナル故

$$\begin{aligned} W &= RT_1 \log_e \frac{V_b}{V_a} - RT_2 \log_e \frac{V_c}{V_d} \\ &= R(T_1 - T_2) \log_e \frac{V_b}{V_a} \end{aligned}$$

ニシテ取り入レタル熱量ト放捨シタル熱量ノ差ナリ、而シテ此ノ正味仕事量 W ハ P-V diagram 上ニ於テ面積 abcd = ヨリテ示サル

一般ニ「サイクル」ノ thermal or heat efficiency (熱効率ハ)

$$\frac{\text{Heat equivalent of work done}}{\text{Heat taken in}}$$

即ち $\frac{\text{仕事=轉換セラレクル熱量}}{\text{取り入レタル熱量}}$

ナル式ニヨリテ示サル、モノニシテ常ニ1ヨリモ小ナル値ヲ有ス

Carnot cycle = 就テ此ノ熱効率ヲ求ムレバ

$$\text{heat equivalent of work done} = \frac{1}{778} \times R(T_1 - T_2) \log_e \frac{V_b}{V_a}$$

$$\text{heat taken in} = \frac{1}{778} \times RT_1 \log_e \frac{V_b}{V_a}$$

$$\text{依リテ効率 } E = \frac{R(T_1 - T_2) \log_e \frac{V_b}{V_a}}{RT_1 \log_e \frac{V_b}{V_a}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

此ノ値ハ T_2 ガ T_1 ヨリ低キ程大ナリ

Carnot cycle efficiency $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ハ T_1 及ビ T_2 ナル温度ノ間ニ作動スル

heat engine = 於テ得ラル、所ノ理論上最大ノ効率ナリ

而シテ此ノ方程式ハ二ツノ温度界限内ニ作動スル實際ノ熱機械 (actual

heat engine) ノ効率ノ比較標準トシテ用ヒラル

(三七) 可逆「サイクル」(Reversible cycle)

熱機械ヲ逆ニ作動セシメタル場合ニ於テ順方向ニ作動セシメタル時熱源ヨリ取り入レタル熱ト同量ノ熱ヲバ熱源ニ捨テ又冷源ニ棄テタル熱ト同量ノ熱ヲバ冷源ヨリ取り入ル、コト可能ナレバ此ノ機械ハ「サイクル」ノ逆行ニヨリ作動セシメラレタルモノニシテ此ノ如キ機械ハ reversible ナリ而シテ此ノ可逆熱機械 (reversible heat engine) ガ順逆何レノ方向ニ作動スルモ使用熱量同一ナル場合ニ於テハ逆方向ニ指壓圖ヲ畫クガ如ク冷却機械トシテ作動セシメンニハ順方向ニ作動セル際發生スル馬力ト同一ノ機械力ヲ要ス

此ノ如ク「サイクル」ヲ逆行セシムルトキハ機械ハ何等ノ仕事ヲナスコト

ナク却テ指壓圖ノ面積ニ等シキ仕事量 $R(T_1 - T_2) \log_e \frac{V_b}{V_a}$ ハ機械ヲ作動セシムルタメニ消費セラレ、モノニシテ此ノ仕事量ハ熱ニ變化シ熱源ニ輸送セラレ

茲ニ「カーノーサイクル」ニ於ケル順逆ノ差異ヲ擧グレバ順「カーノーサイクル」

$$\text{Work done by gas} = R(T_1 - T_2) \log_e \frac{V_b}{V_a}$$

$$\text{Heat taken in} = \frac{1}{778} RT_1 \log_e \frac{V_b}{V_a}$$

$$\text{Heat rejected} = -\frac{1}{778} RT_2 \log_e \frac{V_c}{V_d}$$

逆「カーノーサイクル」

$$\text{Heat transferred from the cold body to the hot body} = -R(T_1 - T_2) \log_e \frac{V_b}{V_a}$$

$$\text{Heat taken from the cold body} = RT_2 \log_e \frac{V_c}{V_d}$$

Heat rejected to the hot body

$$= RT_1 \log_e \frac{V_a}{V_b} = -RT_1 \log_e \frac{V_b}{V_a}$$

上記ノ如ク順逆何レノ方向ニ作動スルモ其ノ結果ハ同一ニシテ只其ノ符號ノ相反スルノミナリ

換言セバ逆方向ノ「サイクル」ニ於テハ順方向ニ作動セルトキ熱源ヨリ取り入レタル熱ト同量ノ熱ヲバ熱源ニ棄テ冷源ニ捨タル熱ト同一ノ熱量ヲバ冷源ヨリ取り入レ而シテ費サレタル仕事ハ熱ニ變ジ熱源ニ運バル、モノナリ

而シテ「カーノーサイクル」ヲ遂行スル機械ハ可逆機械 (reversible engine) ノ一例ナリ

(三八) Carnot ノ定理

先ニ定義ヲ與ヘタル可逆 (reversibility) ナル熱力學的ノ考ヘハ最も緊要ナル事項ニシテ「カーノー」氏ノ定メタル定理ハ次ノ如シ

「温度ノ同一限界ノ間ニ作動スル可逆機械ヨリモ一層有効ナル熱機械ハ存在セス」

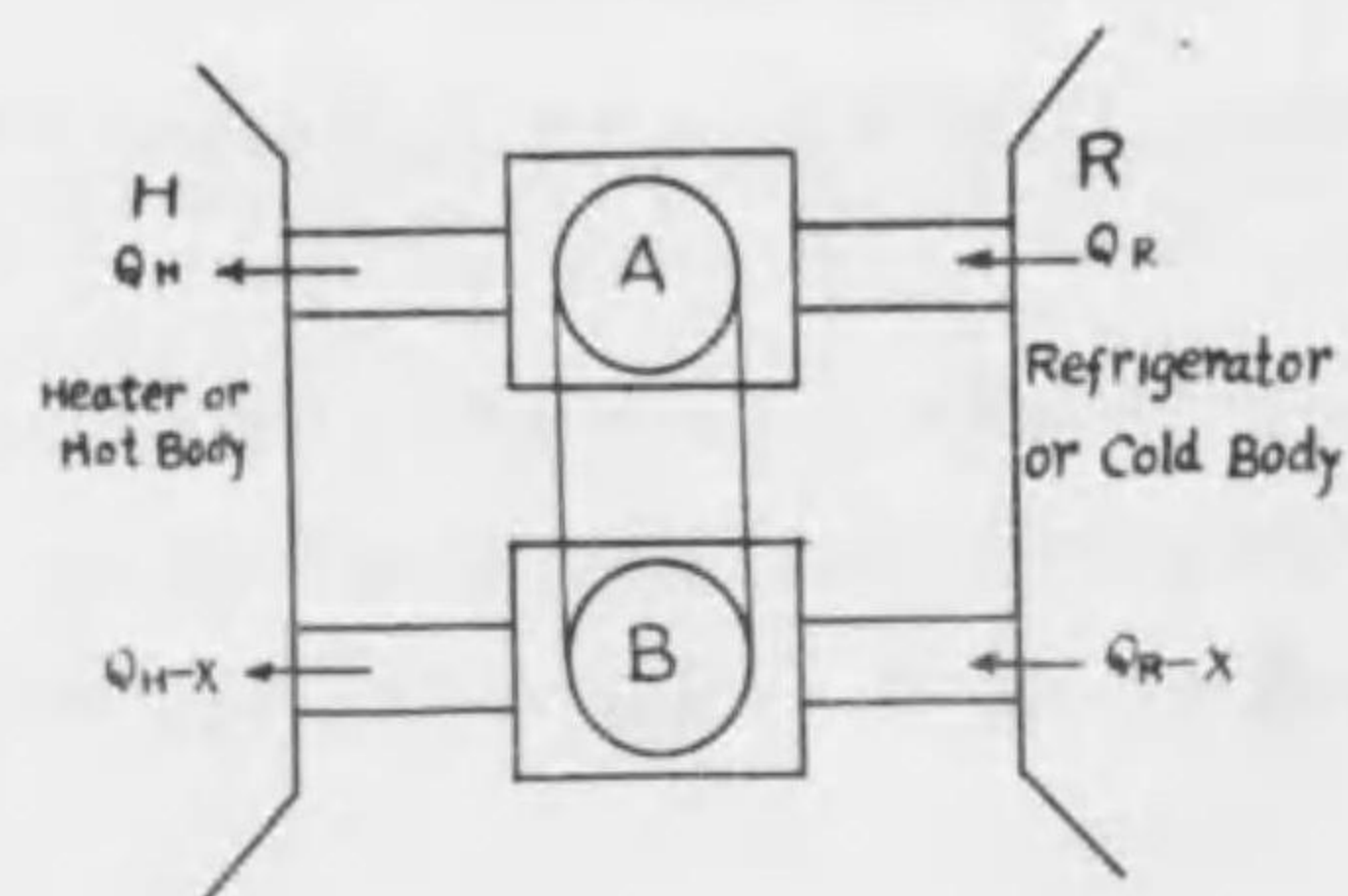
No other heat engine can be more efficient than a reversible engine when both work between the same temperature limits; that is, when both engines take in the same amount of heat at the same higher temperature and reject the same amount at the same lower temperature.

此ノ定理ハ熱機械ノ理論研究上根本的ニ必要ナルモノニシテ熱力學ノ法則ニ依リ次ノ如ク證明スルコトヲ得

茲ニ A B. ナル二ツノ機械ヲ想像シ A ヲ可逆機械 B ヲ然ラザルモノトシ此ノ二機械ヲシテ H ナル熱源ト R ナル冷源ノ間ニ作動セシメタリト考ヘヨ

今 Q_H ……可逆機械 A ガ單位仕事ヲナス毎ニ熱源 H ヨリ取り入ル、熱量

Fig. 8.



Q_R ……A ガ單位仕事ヲナス毎ニ冷源 R = 放捨スル熱量。

トシ定理説明上不可逆機械 B ヲ可逆機械 A ヨリ一層有効ナルモノト假定ス

然ル時ハ B ハ單位仕事ヲ爲ス毎ニ熱源ヨリ A = 比シテ稍少量ノ熱ヲ取り

之ニ相當シテ稍少量ノ熱ヲバ R = 放捨スベシ依リテ B ガ H ヨリ取り入ル、熱量ヲバ Q_H ヨリ少量ナル Q_{H-X} ヲ以テ表ハシ R = 放捨スル熱量ヲバ $Q_R - X$ ヲ以テ表ハサシム今順方向ニ作動スル不可逆機械 B ヲ以テ可逆機械 A ヲ逆轉セシムル如ク装置スレバ A ヲ運轉スル爲メニ B = 依ツテナサル、單位仕事毎ニ Q_{H-X} ナル熱量ハ B ノタメニ熱源 H ヨリ取去ラレ Q_H ナル熱量ハ A ノ逆「サイクル」ノ作用ニヨリテ H = 返却セシメラル、是レ即チ A = 可逆ナルガ故順方向ニ作動スル際熱源ヨリ取り入ル、熱量ハ其ノ逆行ニヨリ熱源ニ返還セシメラル、ガ故ナリ、依ツテ此ノ如ク装置スレバ B ガ單位仕事ヲ爲ス毎ニ熱源 H ハ絶ヘズ X ナル熱量ヲ増加ス又同時ニ B ハ $Q_R - X$ ナル熱量ヲバ R = 放出スルニ當リ A ハ R ヨリ Q_R ナル熱量ヲ取り去ルガ故ニ結局 B ノナス單位仕事毎ニ R ハ絶ヘズ X ナル熱量ヲ失フ

此ノ如ク二機械ガ連合動作ヲナシ一方ハ實際ノ熱機械トシテ順方向ニ働キ他方ハ熱「ポンプ」ト稱セラル、モノ、如ク逆方向ニ作動スル時ハ熱ハ冷源 R ヨリ熱源 H = 絶ヘズ運搬セラル、コト、ナルヘシ、而シテ此ノ連合動作ハ明ニ限リナク續行セラルベク其ノ結果冷體 R ノ熱度ハ無限ニ低下スルニ至ルベシ而シテ若シ兩機械ニ何等機械的摩擦ナキモノトスレバ此ノ聯合装置ヲ作動セシムルニハ外部ヨリ毫モ補助ヲ要スルコトナシ

以上ノ理由ニ依リ不可逆機械 B ガ可逆機械 A ヨリ一層有効ナリトノ假定ハ熱力學第二法則（自ラ作動スル機械ハ冷體 R ヨリ熱體 H = 無限ニ熱ヲ輸送スルコト能ハズ）ニ反シ不成立ナルコトヲ知り得ベシ

故ニ双方ノ機械ガ温度ノ同一限界間ニ作動スル時ハ B ハ A ヨリモ有効ナル能ハザルコトヲ確認スルコトヲ得換言セバ可逆及ビ不可逆機械ニ對スル熱源及ビ冷源ガ同一ナル時ニ於テハ可逆機械ノ効率ハ最高ニシテ双方共可逆ナル時ハ同効率ヲ有ス

此ノ可逆機械ハ効率ノ見地ヨリ完全無缺ノモノニシテ最大値ヲ有ス換言セバ同一温度ノ界限内ニ作動スル機械ノ内ニテ取り入レタル熱ノ最大部分ヲバ仕事ニ轉換シ得ルモノナリ而シテ此ノ熱力學ノ効率ハ壓縮又ハ膨脹セシメラル、物質ノ性質ニハ全然無關係ノモノナリ

(三九) 「ホット エア エンヂンサイクル」 (Hot-air engine cycles)

Hot-air engine トハ物理的状態ニ於テ何等ノ變化ヲ受ケザル空氣ヲバ操作物質トシテ用ヒタル外部燃焼熱機械 (external combustion heat engine) ノ不爆發式 (non-explosive type) ノモノヲ云フ

此ノ種ノ原動機械ハ約百年前ニ發明セラレタルモノナレドモ乾燥シタル空氣ニ金屬製ノ壁 (metallic wall) ヲ通ジ熱ヲ移動セシムルコトノ困難ナルガ爲メ使用セラル、コト極メテ稀ナリ又此ノ hot-air engine ハ其ノ力量ニ比シ形體極メテ大ナリ然モ尙熱ノ傳導面ハ急速ニ衰朽スルガタメ實地上理論的「サイクル」ヲ遂行セシムルニハ多大ノ困難ヲ伴ヒ且ツ機械ノ効率 (mechanical efficiency) ハ極メテ低シ然レドモ此 hot-air engine ノ有利トスル所ハ運轉容易ニシテ且ツ安全ナル點ニアリ尙又熱ノ移動スル割合緩慢ナルガ爲メ速度モ遅キガ故小ナル唧筒ノ原動力或ハ燃料ノ消費ヲ顧慮セザルガ如キ小力量ノ家庭用原動力トシテ使用セラル、場合多シ

Hot-air engine cycle ハ次ノ二種ニ區分スルコトヲ得

(第一種) External-combustion hot-air engines with a closed cycle and constant-volume temperature changes.

(第二種) External-combustion hot-air engines with an open cycle and constant pressure temperature changes.

此ノ hot-air engine ニ在リテハ regenerator ヲ裝備シ理想的「カーノーサイクル」ヲ遂行セシムルモノニシテ此ノ regenerator ハ熱ヲ迅速ニ吸收シ又ハ貯蓄シ或ハ放出スル作用ヲ爲スヲ以テ第一種ノ機械ニ於テハ定容線

(line of constant volume) 第二種ノ機械ニ於テハ定壓線 (line of constant pressure) ヲ以テ「カーノーサイクル」ノ斷熱膨脹線ニ代ヘシムルコトヲ得ベシ

此ノ regenerator ハ其ノ内部ヲ通過スル空氣ニ對シ大ナル表面ヲ曝露シ得ルガ如ク金屬條片、線輪、又ハ熱ヲ吸收シ易キ材料ヲバ一箇内ニ配列シタルモノナリ

(1) 「スターリング、エンヂン、サイクル」 (The Stirling engine cycle)

此ノ機械ハ第一種ニ屬シ容積ヲ一定ニ保チ得ルガ如キ割合ニ於テ温度ニ伴ヒ壓力ヲ下降セシムルタメニ regenerator ヲ裝備セリ

而シテ此ノ機械ハ外部燃焼式ニシテ「サイクル」ハ密閉セラレアルガ故ニ同一ノ空氣ヲバ幾回トナク使用スルコトヲ得バク單ニ漏洩ニ起因スル損失ヲバ小ナル唧筒ニテ補給スレバ可ナリ

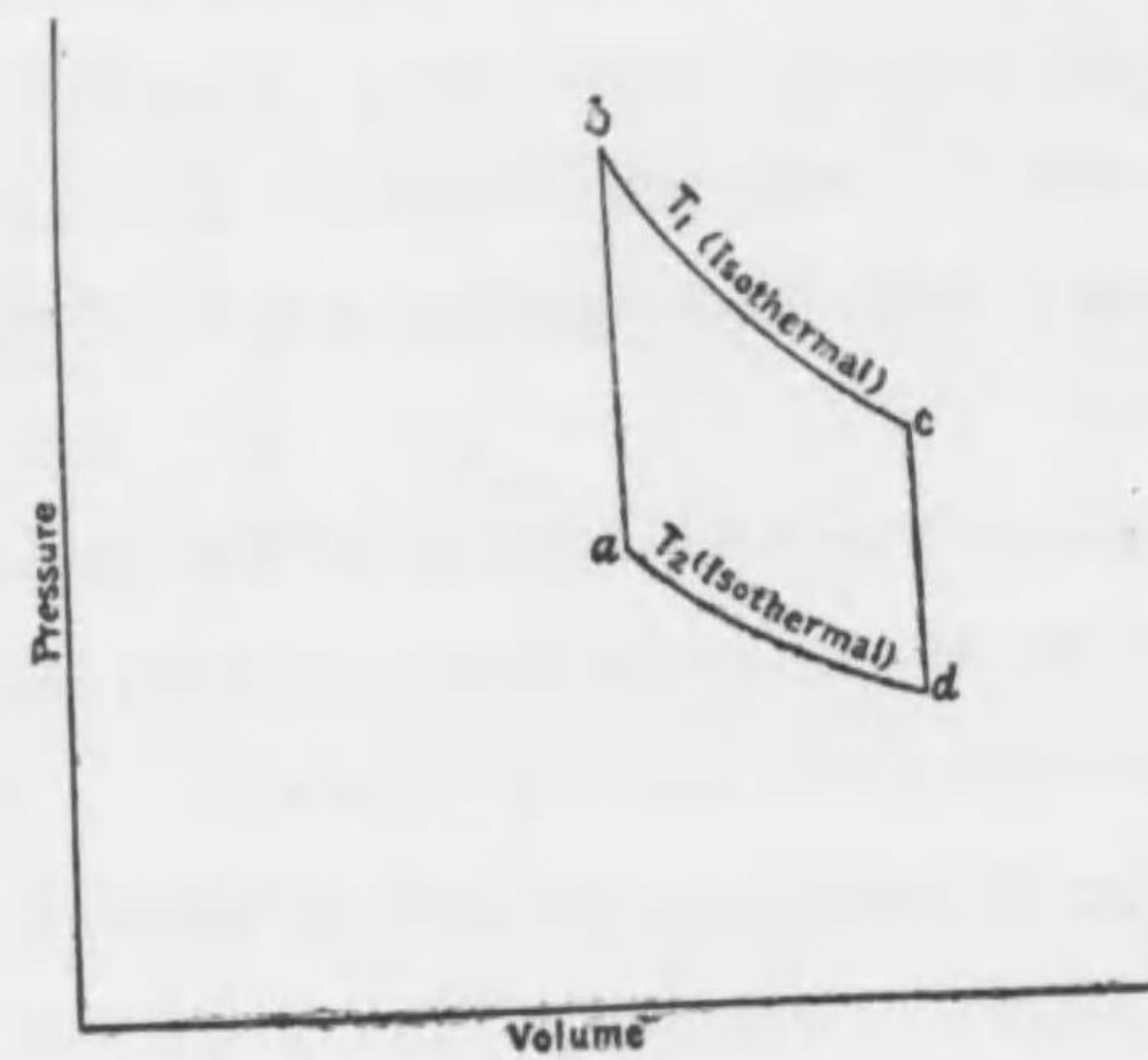
其ノ主要部ハ displacer cylinder ノ一對 double acting working cylinder, regenerator 及ビ refrigerator ヨリ成ル舊式ノモノニアリテハ displacer cylinder ハ二重ノ壁ヲ有シ其ノ空所内ニ regenerator 及ビ refrigerator ヲバ取付ケタレドモ新式ノモノニアリテハ双方共ニ之ヲ cylinder ト分離シテ取付ケ直接 cylinder ノ頂部及ビ底部ト連絡セシメアリ

吸鑄ハ熱ヲ導カザル材料ニヨリテ充填セシメラレ displacer cylinder 内ニ於テ作動ス、而シテ空氣ハ displacer cylinder ノ底部ニ置カレタル爐ヨリ傳導作用ニ依リテ熱ヲ取り出スモノナリ而シテ此ノ機械ハ第九圖ニ示スガ如キ「サイクル」ニ於テ次ノ如ク作動ス

(a) 容積 V_a 壓力 P_a 熱度 T_a ナル空氣ハ regenerator 内ヲ通過スルニ際シ其ノ容積ヲ一定ニ保チツ、熱ヲ受入ル、ト同時ニ爐ヨリ熱ヲ吸取スルガ故其ノ壓力ハ P_b ニ増加シ温度ハ T_b 迄上昇ス

此ノ變化ハ定容積ニ於テ起ルモノナルガ故圖上ニ於テ定容線 ab ニヨリ示

Fig. 9.



サル而シテ吸鑄ハ上昇シ始ム

(b) working piston 下ノ壓力ハ加熱ノ結果高マリ空氣ハ膨脹スルヲ以テ茲ニ作動行程ヲ生ズベシ

此ノ際空氣ハ爐ヨリ熱ヲ取り入レ其ノ溫度ヲ T_1 = 保テツ、膨脹スルガ故ニ此ノ變化ハ b c ナル等溫曲線ニヨリテ示サル

(c) 吸鑄ガ行程ノ終リニ達シタルトキハ暖カキ空氣ヲシテ regenerator ト refrigerator 内ニ入ラシム然ルトキハ空氣ハ熱ヲ取り去ラル、ガ故ニ溫度ハ T_2 ヨリ T_1 迄下降シ壓力ハ P_c ヨリ P_d 迄減少スベシ此ノ際容積ニハ増減ナキヲ以テ此ノ變化ハ定容線 cd ニヨリテ示サル

(d) 第三次ニ於ケル冷却作用ニ依リ壓力下降スルヲ以テ吸鑄ハ空氣ヲ壓縮セシメツ、反行程ヲ起スベシ、而シテ空氣ハ此ノ變化ノ間ニ於テ其ノ溫度ヲ T_2 = 維持スル如ク regenerator 及ビ refrigerator ニヨリテ冷却セシメラル、ガ故此ノ壓縮作用ハ da ナル等溫線ニヨリテ示サル

此ノ如クシテ此ノ「サイクル」ハ完結セシメラル、モノニシテ此ノ「サイクル」ニヨリ爲サレタル有効ナル仕事

$$W = \left(P_b V_b \log_e \frac{V_c}{V_b} \right) - \left(P_d V_d \log_e \frac{V_d}{V_a} \right) \text{ foot-pounds}$$

而シテ平均有効壓力 = $\frac{W}{V_d - V_a}$ pounds per sq. ft.

發生馬力 H.P. = $\frac{W \times N}{33000}$ 但シ N = revolutions (cycles) per minute

$$\text{又 Efficiency} = \frac{P_b V_b \log_e \frac{V_c}{V_b} - P_d V_d \log_e \frac{V_d}{V_a}}{P_b V_b \log_e \frac{V_c}{V_b}}$$

然ルニ $V_a = V_b$ $V_c = V_d$ ナルノミナラズ $P_b V_b = RT_1$ 及ビ $P_d V_d = RT_2$ ナルヲ以テ

$$E = \frac{RT_1 \log_e \frac{V_c}{V_b} - RT_2 \log_e \frac{V_c}{V_b}}{RT_1 \log_e \frac{V_c}{V_b}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

(2) 「エリクソン、エンジン、サイクル」(The Ericsson engine cycle)

第二種ニ屬スルモノニシテ regenerator ハ定壓力ニ於テ空氣ノ溫度ヲ變化セシム、而シテ其ノ主要部分ハ次ノ如シ

compressing pump, receiver, regenerator, refrigerator 及ビ working cylinder.

第十圖ニ示ス如キ此ノ機械ノ理想的「サイクル」ハ次ノ如ク作動ス

空氣ハ d'd 線ニヨリテ示サル、如ク壓搾唧筒内ニ吸入セラレ

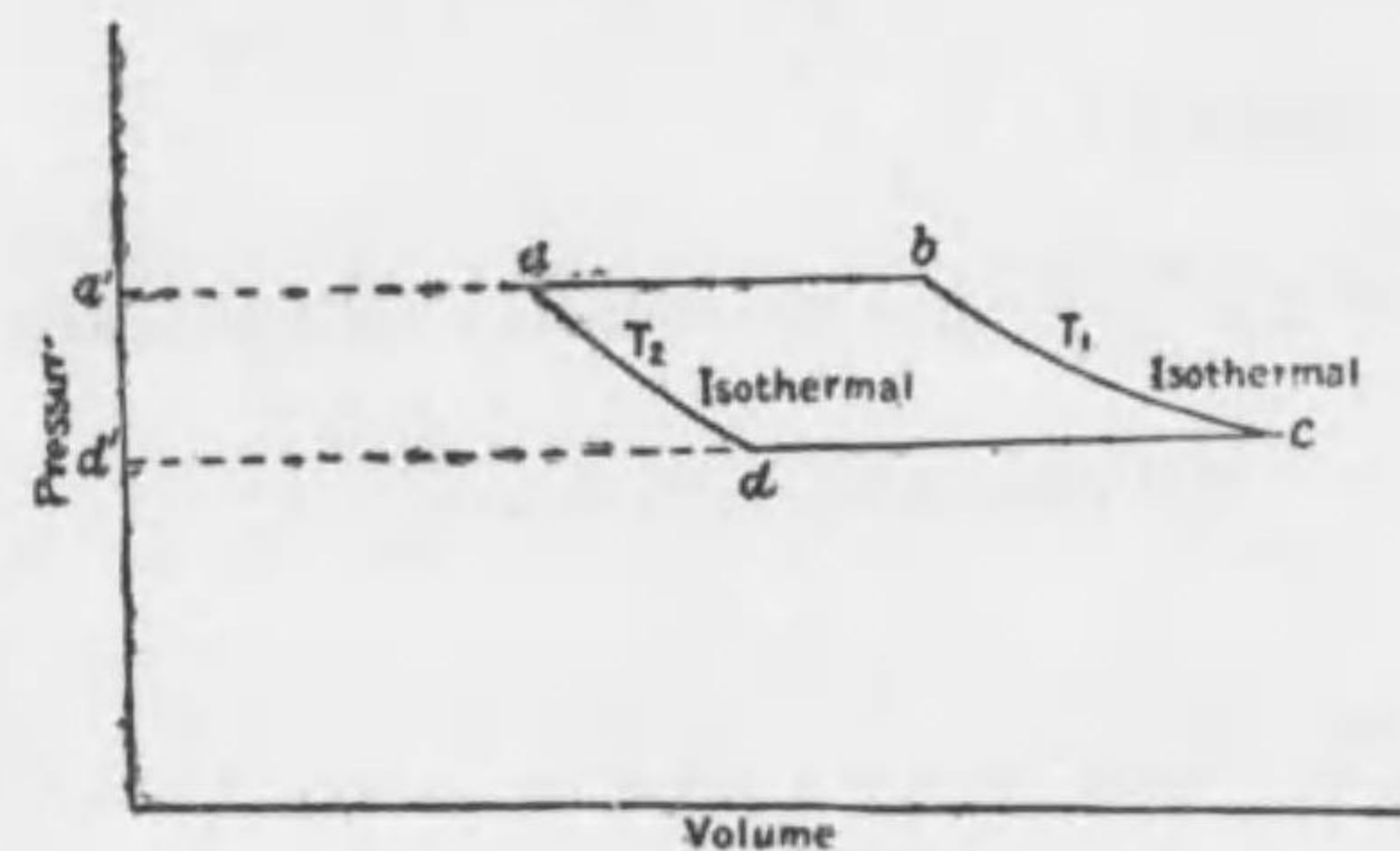
唧子ノ反行程ニヨリテ a 點ニヨリ示サル、状態迄等溫的ニ壓縮セラレ而シテ aa' ニテ示スガ如ク receiver 共ニ壓入セシメラル

即チ d'd aa' ハ pump cycle ヲ示ス

次ニ working cylinder ニ於テ作動行程ノ開始セラル、時壓搾空氣ハ定壓力ノ下ニ於テ ab 線ニテ示スガ如ク working cylinder 内ニ供給セシメラ

ル此ノ際空氣ハ regenerator 内ヲ通過スルガ故熱ヲ取り入レ其ノ溫度ハ T_2 ヨリ T_1 迄上昇ス

Fig. 10.



Ericsson Engine cycle

壓縮空氣ハ其ノ供給ヲ絶タル、ヤ否ヤ等温的ニ大氣壓力迄 $b-c$ 線ニ沿ヒ膨脹ス而シテ此ノ膨脹作用中ニ於テ熱ハ working cylinder ノ底部ニ在ル熱源ヨリ供給セシメラル

吸鑄ノ反行程ニ際シ空氣ハ regenerator ヲ經テ定壓力ノ下ニ於テ $c-d$ 線ニ沿ヒ排出セシメラル此ノ際熱ハ regenerator 内ニ放捨セシメラル、ガ故ニ其溫度ハ T_1 ヨリ T_2 迄下降ス即チ $a-b$ $c-d'$ ハ working cylinder ノ「サイクル」ヲ示シ仕事ノ正味量ハ $abcd$ ノ面積ニ等シ

此ノ「サイクル」ハ「スターリング、サイクル」ト同効率ヲ有シ regenerator ハ空氣ヲシテ定壓力ノ下ニ於テ變化セシムルノ作用ヲナスモノナリ

(四〇) 内燃機ノ「サイクル」 (Internal combustion engine cycle)

Internal combustion engine = 在リテハ操作物質トシテ空氣ト瓦斯又ハ空氣ト石油蒸發氣 (petroleum vapour) ノ混和物ヲ使用ス、此等混合物ノ燃燒ハ engine cylinder ノ内部又ハ communicating vessel 内ニ於テ起ルモノニシテ斯クシテ發生セシメラレタル熱ハ仕事ニ轉換セシメラル、モノナリ

此ノ混合物ノ比熱及比容積ハ空氣ノ夫ニ比シ大差ナキニヨリ此ノ種内燃機ノ理論研究ニ際シテハ操作物質トシテ空氣ヲ用ヒタルト同様ニ考フルコトヲ得ベシ

内燃機ノ「サイクル」ハ之ヲ二種ニ大別スルコトヲ得

(第一種) Engines without compression

(第二種) Compression engines.

(第一種) 壓縮作用ナキ内燃機 (Internal combustion engine without compression)

(1) 「ルノー」機 (The Lenoir engine)

1860年 Pierre Lenoir 氏ニヨリテ發明セラレタルモノニシテ實用ニ供セラレタルモノ、嚆矢ナリ

作動ノ大要次ノ如シ

吸鑄ハ思案點ヲ通過シタル後吸入弁 (admission valve) ヲ經テ空氣ト瓦斯ノ混合物タル爆發性瓦斯ヲ吸入ス此吸入作用ハ行程ノ殆ンド半バニ於テ斷切セラレ次デ電氣火花ニヨリテ點火セシメラル、斯クシテ起サレタル爆發作用ハ急劇ニ大氣壓力以上ニ其ノ壓力ヲ高メ行程ノ終リ迄吸鑄ヲ壓出ス、而シテ排氣弁 (exhaust valve) ハ吸鑄ガ行程ノ終リニ近ヅキタル時開クヲ以テ燃燒成果物 (burnt product) ハ吸鑄ノ反行程ノ間ニ於テ排除セシメラル

而シテ機ノ回轉ハ勢車 (fly wheel) ニ依リテ持續セシメラル、ガ故反行程ニ於テ燃燒成果物ヲ排除スルト共ニ吸鑄ノ他側ニ爆發性ノ混合物ヲ吸入ス依リテ反行程ニ於テモ吸鑄ノ他側ニ於テハ前進行程ト同一ノ作用ヲ起シ爆發作用ヲ生ズルガ故結局一回轉毎ニ二回ノ衝擊 (impulse) ヲ生ズルモノトス

第十一圖ハ P-V diagram ニ於ケル Lenoir engine 作動ノ「サイクル」ヲ

示スモノナリ

Fig. 11.

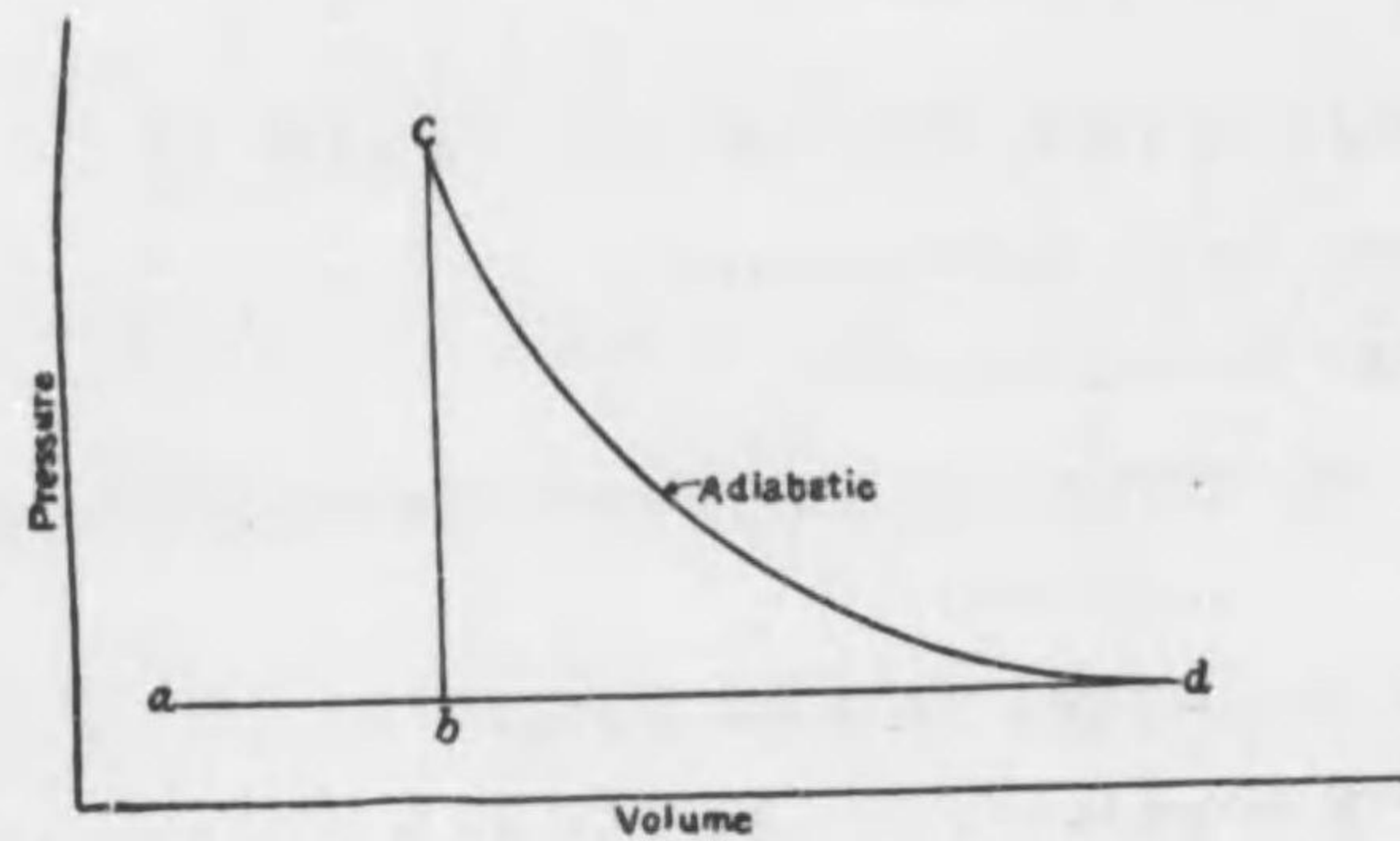


圖 中

ab ... 大氣壓力ノ下ニ於テ空氣及ビ瓦斯ノ混合物ヲ吸入スル吸入行程

b 瓦斯ニ點火スル位置

bc..... constant volume combustion line

cd..... 爆發瓦斯ノ大氣壓力ニ至ル迄ノ斷壓膨脹ニ依リ作動行程

da..... 燃燒成果物ノ排除セラル、吸鑿ノ反行程

ヲ示スモノナリ

今 P... absolute pressure in pounds per sq. ft.

V specific volume in cubic feet of mixture per pound.

T absolute temperature in degree Fahrenheit.

トシ b.c.d. 諸點ニ於ケル P.V. 及ビ T. = 夫々 b.c.d. ノ記號ヲ附記シ又

Q₁ ヲバ混合物ノ完全燃燒ニ依リテ發生シタル熱量トスレバ

$$Q_1 = wC_p(T_c - T_b)$$

混合物ノ燃燒作用ハ定容積ニ於テ起ルガ故ニ

$$V_c = V_b \text{ ニシテ}$$

$$T_c = T_b + \frac{Q_1}{wC_p}$$

單位重量ニ就テハ定容積ニ於ケル P ト T ノ關係ニヨリ

$$\frac{P_c}{T_c} = \frac{P_b}{T_b} \quad \therefore P_c = P_b \frac{T_c}{T_b}$$

又膨脹ハ斷熱的ナルガ故 (n = γ) P_cV_cⁿ = P_dV_dⁿ

$$\therefore V_d = V_c \left(\frac{P_c}{P_d} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\text{又 } T_d = T_c \left(\frac{V_c}{V_d} \right)^{n-1}$$

次ニ Q₂ ヲ以テ「サイクル」ヲナシタル後機械ガ放捨シタル熱量トスレバ

$$Q_2 = wC_p(T_d - T_b)$$

依リテ利用セラルベキ有効ナル仕事 (useful work available)

$$W = J(Q_1 - Q_2)$$

平均有効壓力 (mean effective pressure) トハ吸鑿ノ單位面積毎ニ pound

ニテ計リタル平均ノ unbalanced pressure ナルガ故之ヲ M.E.P. ニテ表

ハセバ

$$M.E.P. \times (V_d - V_b) = W \text{ ナルニヨリ}$$

$$M.E.P. = \frac{W}{V_d - V_b} \text{ ナリ}$$

次ニ毎分ノ爆發數ヲ N トスレバ

$$H.P. = \frac{W \times N}{33000}$$

此ノ場合ニ於ケル「サイクル」ノ効率

$$E = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_d - T_b}{T_c - T_b}$$

(第二種) 壓縮式機械 (Compression engines)

此ノ式ノ機械ハ 1799年 Philip Lebon 氏ニヨリテ初メテ專賣特許權ヲ得ラ

レタルモノナリ

爆發性瓦斯ヲ點火ニ先チ壓縮シタル場合熱力學的ニ利益アルコトハ次ノ

説明=ヨリ明瞭ナル可ク且ツ又壓縮作用=伴フ機械的ノ利點ハ爆發=依リテ生ズル劇動 (shock)ヲ緩和スルコトヲ得ルト共=各部ノ釣合ヲ良好ナラシムルコトヲ得ル=アリ

(1) 「オットー、サイクル」(The Otto cycle)

1862年 Beau de Rochas =依リ説明セラレタル原理ヨリ成ル所ノ「オットー、サイクル」ハ現今ノ如ク内燃機械ヲ成功セシメタル一因ヲナセルモノナリ

1876年 Dr. Otto ハ此ノ「サイクル」ヲ採用シ内燃機械ヲ製作セリ而シテ其ノ作動ハ吸鑄ノ四行程即チ曲軸軸ノ二回轉ヲナス間=於テ遂行セシメラル「オットー、サイクル」ノ理想的線圖ハ第十二圖=示スガ如ク=シテ其ノ作動狀況ハ以下説明スルガ如シ

Fig. 12.

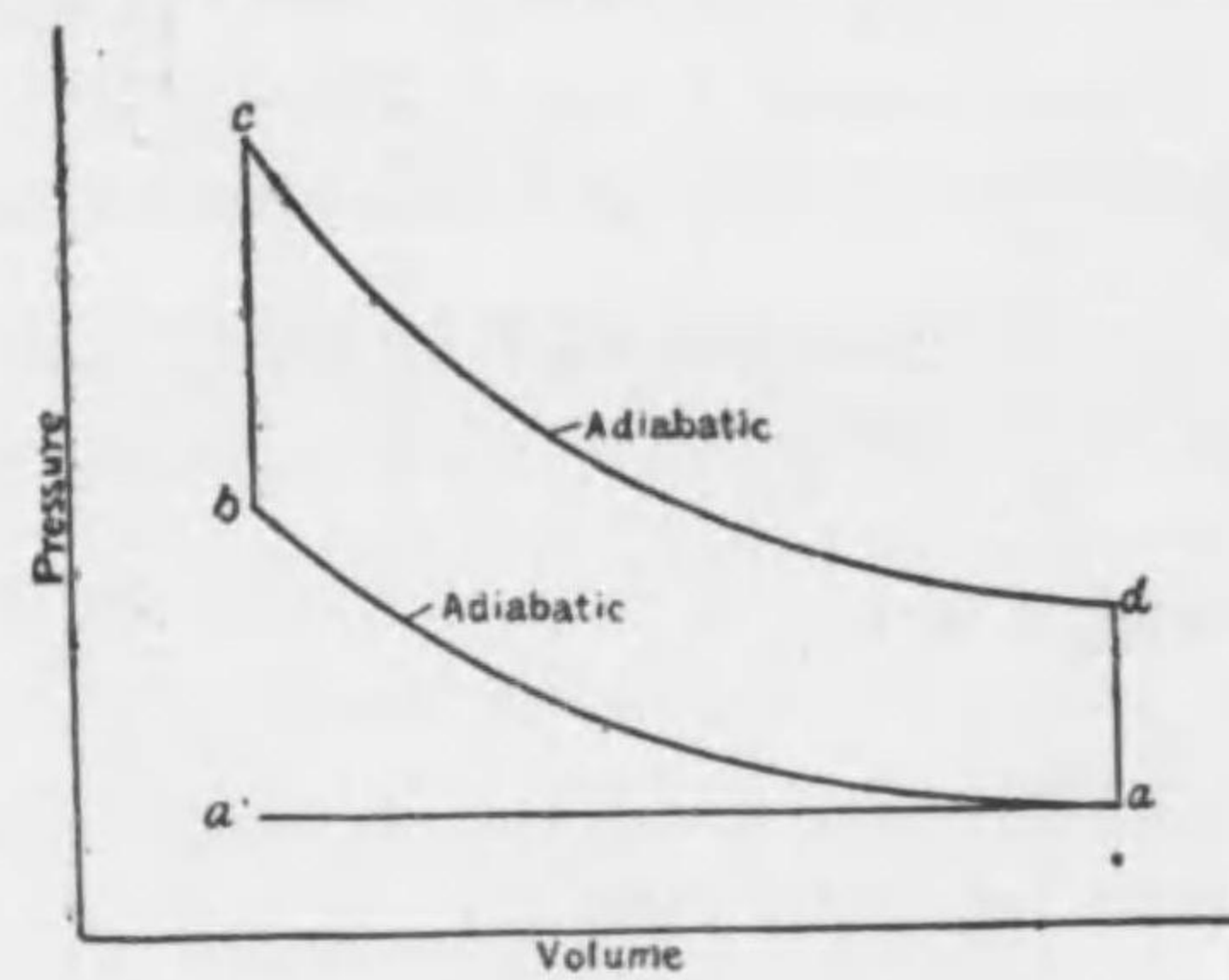


圖 中

- a'a'氣體及ビ空氣ノ混合物ヲ筒内=吸入スル吸鑄ノ全前進行程
- ab斷熱曲線=シテ吸鑄ノ壓縮(反)行程
- b壓縮セラレタル混合瓦斯ガ點火セラレテ爆發ノ起ル位置
- bc定容積ノ下=於テ爆發ノタメ=起ル壓力ノ上昇

cd第二ノ前進行程=於ケル斷熱膨脹曲線

d排氣弁ノ啓開スベキ點

da排氣壓力迄氣體ノ冷却スル=際シ壓力ノ下降

aa'大氣壓力ノ下=於テ瓦斯ヲ排除スル第四行程

等ヲ示ス 今 Q_1 ヲバ b 點ヨリ c 點=至ル瓦斯ノ燃燒=ヨリ發生スル熱量トスレバ

$$Q_1 = wC_v(T_c - T_b)$$

次= Q_2 ヲバ d 點ヨリ a 點=至ル間=於テ瓦斯ヨリ放捨スル熱量トスレバ

$$Q_2 = wC_v(T_d - T_a)$$

依リテ

$$\begin{aligned} \text{cycle efficiency (E)} &= \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{wC_v(T_c - T_b) - wC_v(T_d - T_a)}{wC_v(T_c - T_b)} \\ &= 1 - \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b} \end{aligned}$$

而シテ膨脹及ビ壓縮ハ斷熱的ナルガ故

$$T_a V_a^{n-1} = T_b V_b^{n-1} \quad \text{及ビ} \quad T_c V_c^{n-1} = T_d V_d^{n-1} \quad \text{シテ}$$

又 $V_a = V_d$ $V_c = V_b$ ナルヲ以テ

$$\frac{T_d}{T_a} = \frac{T_c}{T_b} \quad \therefore \frac{T_d - T_a}{T_a} = \frac{T_c - T_b}{T_b}$$

$$\text{即チ} \quad \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b} = \frac{T_a}{T_b}$$

$$\text{次=} \quad \frac{T_a}{T_b} = \left(\frac{V_b}{V_a}\right)^{n-1} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad \text{ナル關係アルガ故}$$

$$E = 1 - \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b} = 1 - \frac{T_a}{T_b} = 1 - \left(\frac{V_b}{V_a}\right)^{n-1} = 1 - \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

此ノ方程式=依リ「オットー、サイクル」ノ効率ハ爆發ノ起ル以前=於ケル壓縮ノ程度=ヨリ差異アルコトヲ知り得ベシ即チ壓縮ノ程度ヲ増セバ効率ヲ高ムルコトヲ得

(2) 「ブレイトン、サイクル」(The Brayton cycle)

1872年 Brayton 氏ヨリテ計畫セラレタル gradual constant pressure combustion engine ハ此ノ「サイクル」ヲ應用セルモノニシテ時トシテハ「ジュール、サイクル」(Joule cycle) ト稱セラル、コトアリ

此ノ制式ノ機械ニ在リテハ瓦斯及ビ空氣ノ混合物ハ最初先ツ別個ノ唧筒ニヨリテ壓縮セシメラレ然ル後瓦斯溜(receiver)内ニ壓入セシメラレ而シテ此ノ瓦斯溜ヨリ管ニ至ル途中ニ於テ此ノ混合物ハ確實ニ燃燒スル噴射瓦斯ニヨリ點火セシメラレ、モノニシテ其ノ結果定壓力ノ下ニ於テ溫度及ビ容積ノ變化ヲ惹起ス而シテ瓦斯ノ膨脹後ニ於テ燃燒成果物ハ大氣壓力ニ於テ排除セシメラレ、モノナリ

「ブレイトン、エンジン」作動ノ「サイクル」ハ第十三圖ニ示スガ如シ

Fig. 13.

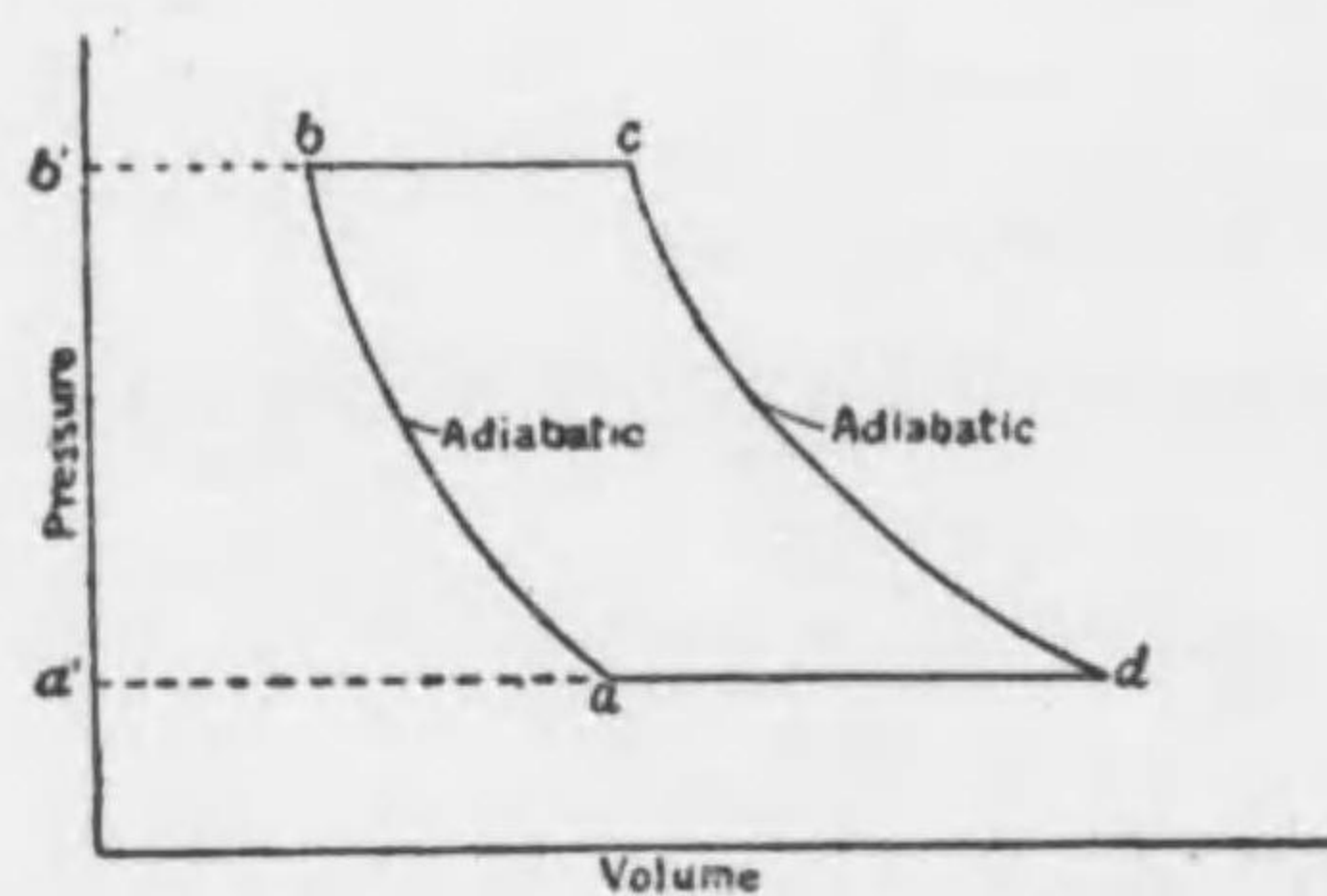


圖 中

a'a ハ唧筒ガ燃燒性混合物ヲバ管内ニ吸入スル吸入行程 ab ハ唧筒ニ於ケル混合物ノ斷熱壓縮作用ヲ示シ b 點ハ唧筒ニ於ケル斷熱壓縮後ニ於ケル混合物ノ状態ヲ示ス點ナリ而シテ此ノ状態ニ於テ混合物ハ瓦斯溜内ニ壓入セシメラレ

bc ハ定壓力ノ下ニ於ケル壓縮混合物ノ燃燒ヲ示ス線ニシテ cd ハ管内ニ於ケル混合物ノ斷熱膨脹ヲ示シ da ハ大氣壓力ニ於ケル燃燒瓦斯ノ排除セラル、排氣行程ヲ示ス

今 b ヨリ c ニ至ル間ニ於ケル定壓燃燒 (constant pressure combustion) ニ際シ發生スル熱量ヲ Q_1 トスレバ

$$Q_1 = wC_p(T_c - T_b)$$

又 d ヨリ a ニ至ル間ニ於ケル放熱ヲ Q_2 トスレバ

$$Q_2 = wC_p(T_d - T_a)$$

依リテ cycle efficiency (E) = $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

$$= \frac{wC_p(T_c - T_b) - wC_p(T_d - T_a)}{wC_p(T_c - T_b)} = 1 - \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b}$$

此ノ「サイクル」ニ在リテハ膨脹及ビ壓縮共ニ斷熱的ナルノミナラズ

$$P_c = P_b \quad P_d = P_a \quad \text{ナルガ故}$$

既ニ知ル $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$ ナル式ニ依リ

$$\frac{T_d}{T_c} = \left(\frac{P_d}{P_c}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{及ビ} \quad \frac{T_a}{T_b} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{ナルヲ以テ}$$

$$\frac{T_d}{T_c} = \frac{T_a}{T_b} \quad \text{ナル關係ヲ得}$$

依リテ $\frac{T_d}{T_a} = \frac{T_c}{T_b}$ 即チ $\frac{T_d - T_a}{T_a} = \frac{T_c - T_b}{T_b}$

$$\therefore \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b} = \frac{T_a}{T_b}$$

$$\therefore E = 1 - \frac{T_d - T_a}{T_c - T_b} = 1 - \frac{T_a}{T_b} = 1 - \left(\frac{V_b}{V_a}\right)^{\gamma-1}$$

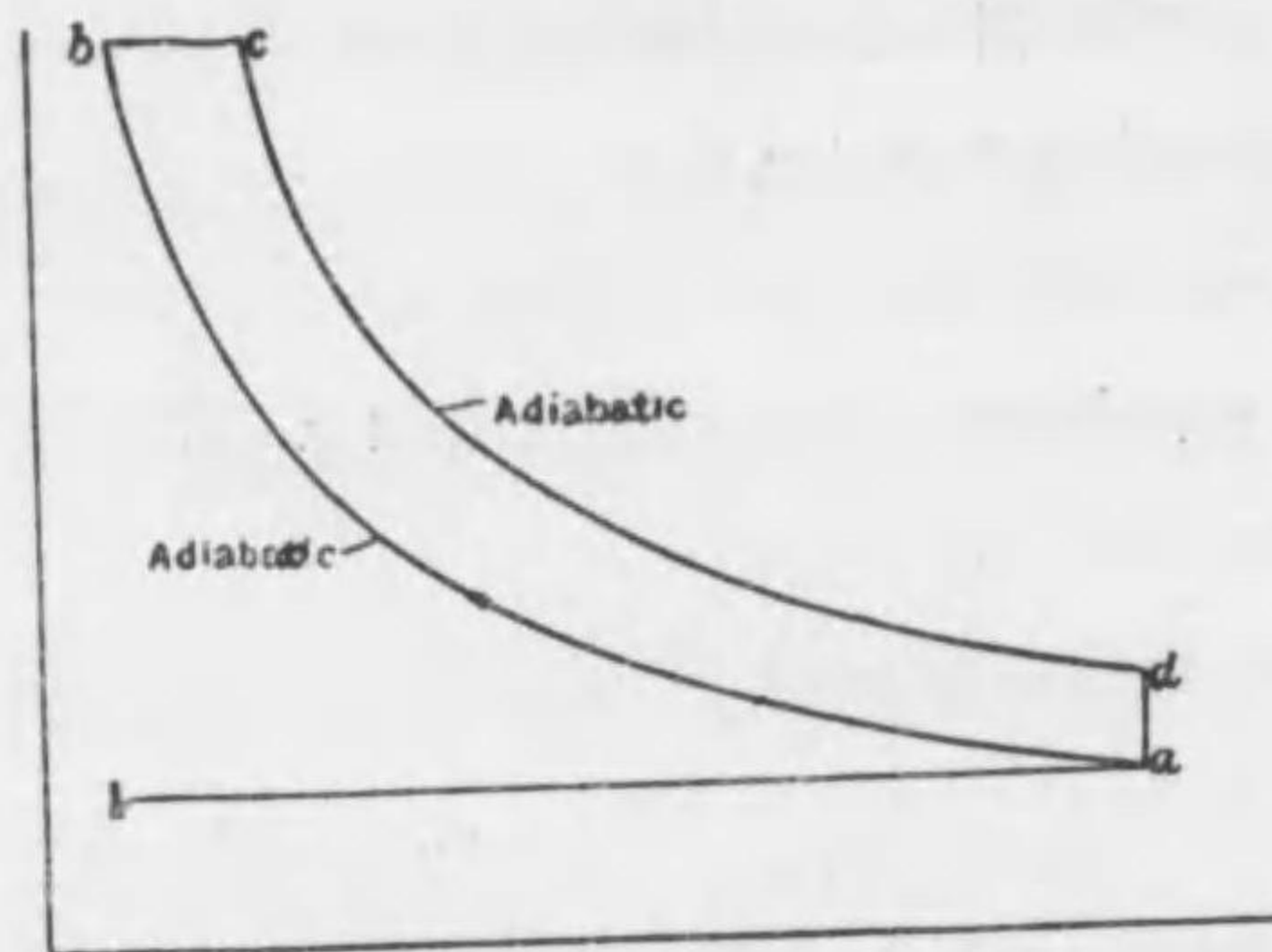
$$= 1 - \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

此ノ方程式ハ「オットー、サイクル」ニ於ケルモノト同一ナリ依リテ最初ノ状態同一ナレバ其ノ効率ハ互ニ相等シ、而シテ此ノ効率ハ爆發ニ先ダツ瓦斯ノ壓縮程度ニ依リテ差異アリ

(3) 「ディゼル、サイクル」(The Diesel cycle)

此ノ「サイクル」モ「オットー、サイクル」ト同様ニ吸鑄ノ四行程間ニ完結セシメラル

Fig. 14.



Diesel engine cycle

圖ハ「デイゼル、エンジン、サイクル」ヲ示ス

圖中 Ia ハ大氣壓力ニ於ケル空氣ヲ吸入スル吸鑄ノ全前進行程ヲ示シ ab ハ吸鑄ノ反行程ニ於ケル斷熱壓縮ヲ示ス

b ハ斷熱壓縮後ニ於ケル空氣ノ状態ヲ示ス點ニシテ此ノ點ニ於ケル壓力ハ約 500 pounds per square inch ナリ

壓縮行程ノ終リニ於テ液體燃料ノ或ル量ハ補助唧筒又ハ壓搾機械ニ依リ霧狀トナシ筒内ニ噴射セシメラレ極メテ温度高キ壓縮空氣ト接觸スル結果殆ンド定壓力ノ下ニ燃燒スルニ至ルモノナリ、而シテ bc ハ燃料ノ供給及燃燒ヲ示ス燃燒線ニシテ負荷ニ依リ差異アレドモ大略作動行程ノ $\frac{1}{10}$ 乃至 $\frac{1}{5}$ ニ於テ斷切セシメラル、モノトス

cd ハ作動行程ニ於ケル斷熱膨脹

d ハ排氣ノ起ル點

da ハ排氣ノタメ起ル壓力ノ降下

aI ハ燃燒瓦斯ノ排除セラル、第四ノ行程等ヲ示スモノナリ

次ニ燃燒ノタメ發生スル熱量ヲ Q_1 トスレバ

$$Q_1 = wC_p(T_c - T_b)$$

又 dヨリ aニ至ル間ニ於テ排除セラル、熱量ヲ Q_2 トスレバ

$$Q_2 = wC_v(T_d - T_a)$$

依ツテ Efficiency of cycle (E) = $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

$$\begin{aligned} &= \frac{wC_p(T_c - T_b) - wC_v(T_d - T_a)}{wC_p(T_c - T_b)} \\ &= 1 - \frac{C_v}{C_p} \left(\frac{T_d - T_a}{T_c - T_b} \right) = 1 - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{T_d - T_a}{T_c - T_b} \right) \end{aligned}$$

練習問題 (四)

(1) A Carnot engine containing 10 pounds of air has at the beginning of the expansion stroke a volume of 10 cubic feet, and a pressure of 200 pounds per square inch absolute.

The exhaust temperature is 0°F. If 10 B.T.U. of heat are added to the cycle, find.

(a) Efficiency of the cycle.

(b) Work of the cycle.

(2) A Carnot cycle has at the beginning of the expansion stroke a pressure of 75 lbs. per square inch absolute, a volume of 2 cu. ft. and a temperature of 200°F. The volume at the end of the isothermal expansion is 4 cu. ft. The exhaust temperature is 30°F. Find.

(a) Heat added to cycle.

(b) Efficiency of cycle.

(c) Work of cycle.

(3) In a Carnot cycle the heat is added at a temperature of 400°F. and rejected at 70°F. The working substance is 1 lb. of air which has a volume of 2. cu. ft. at the beginning and a volume of 4 cu. ft. at the end of the isothermal expansion.

Find

- (a) Volume at end of isothermal compression.
- (b) Heat added to the cycle.
- (c) Heat rejected from cycle.
- (d) Net work of the cycle.

(4) Calculate the theoretical pressures, volumes and temperatures at each point of an Otto cycle, as well as the mean effective pressure, horse power, and cycle efficiency for the following conditions. Assume that the pressure after compression is 180 lbs. per square inch gage, that 80 B.T.U. are added during combustion and that n in $PV^n = 1.4$;

$$P_a = 14.7 \text{ lbs. per square inch. } V_a = 13.5 \text{ cu. ft.}$$

$$T_a = 70 + 459.5 = 529.5^\circ\text{F. absolute.}$$

第五章 蒸發氣ノ性質

(Properties of vapours)

(四一) 飽和及比過熱蒸發氣 (Saturated and Superheated vapours)

既ニ説明セル如ク蒸發氣ハ壓力又ハ溫度ノ僅少ナル變化ニヨリテ液化セシメ得ルモノナリ而シテ各壓力ニ於テハ蒸發點 (point of vaporization) ト稱セラル、一定ノ溫度アリテ此ノ溫度ニ於ケル液體ハ加熱ノ結果氣化セシムルコトヲ得

此ノ蒸發點ニ相當セル溫度ヲ有スル蒸發氣ハ飽和蒸發氣ト稱セラル、而シテ此ノ point of vaporization ハ或ル壓力ニ對シテハ一定ノモノナリ

若シ與ヘラレタル壓力ニ相當スル vaporization temperature 以上ニ蒸發氣ヲ熱シタル時ハ之レヲ過熱蒸發氣 (superheated vapour) ト稱ス、而シテ此ノ過熱蒸發氣ガ vaporization temperature ヨリ遙ニ高ク熱セラレタル時ハ其ノ性状略ボ完全氣體ト一致スルヲ以テ完全氣體ノ法則 (Law of perfect gases) ヲ適用スルコトヲ得ルモノナリ

(四二) 蒸發ノ理論 (Theory of vaporization)

茲ニ液體ニ加熱シタル場合ヲ考フルニ其ノ壓力ニ相當シタル point of vaporization ニ達スル迄ハ僅少ナル容積ノ増加ト共ニ溫度ノ上昇ヲ見ルナラン此ノ point of vaporization ハ或ル壓力ニ對シテハ一定ノモノナルモ又液體ノ性質ニヨリテ差違アリ例ヘバ大氣壓力即チ 14.7 pounds per square inch absolute ノ壓力ニ於ケル水ノ point of vaporization ハ 212°F. 又 150 pounds per square inch absolute ノ壓力ニ於テハ 358°F. ナリ

之レニ反シ ammonia vapour ノ蒸發點ハ 150 pounds per square inch absolute ノ壓力ニ於テモ僅カニ 79°F. ニ過ギズ

而シテ壓力ノ増加ニ伴ヒ蒸發點ノ高マルハ高壓力ノタメ一層密集セル各分子ヲバ蒸發作用ノ起ルニ先チ分子間ノ引力ノミナラズ外壓力ニ打ち勝ち得ルガ如キ程度ノ充分ナル高溫度迄熱セザル可カラザルガ故ナリ

蒸發點ニ達シタル後尙ホ加熱スルトキハ何等溫度ノ上昇ヲ見ザルモ蒸發作用ニ伴フ分子ノ擴散ハ莫大ナル容積ノ増加ヲ惹起ス可シ而シテ或ル一定ノ壓力ニ於テ與ヘラレタル物質ノ單位重量ヲバ全部蒸發セシムルタメニ要セラル、熱量ヲバ其ノ物質ノ蒸發熱 (latent heat of vaporization) ト稱ス、而シテ或ル液體ノ單位重量ガ全部蒸發セシメラレタル時滿タス容積ヲバ其ノ乾燥蒸發氣 (dry vapour) ノ比容積 (specific volume) ト云フ勿論此ノ比容積ハ壓力ニヨリテ差違アリ

蒸發作用ガ不充分ナルトキハ其ノ蒸發氣ヲバ濕潤蒸發氣 (wet vapour) ト稱ス即チ wet vapour トハ其ノ vapour ノ作ラレタル liquid ト vapour トガ互ニ接觸セルコトヲ意味スルモノニシテ其ノ vapour ノ乾燥百分比ヲ以テ其ノ性狀 (quality) ヲ表ハス

例ヘバ蒸氣ノ quality ガ 97% ナリトハ 1 pound ノ wet steam ノ内ノ 57% ハ乾燥蒸氣ニシテ 3% ハ水ナルコトヲ示ス

蒸發氣ノ容積ハ其ノ乾燥度 (quality) ヲ増スニ從ヒ増加スルモノナレドモ其ノ溫度ハ或ル壓力ニ於テハ蒸發點ヨリ飽和點ニ達スル迄ハ一定ナリ

例ヘバ 150 pounds per square inch absolute ノ壓力ニ於ケル steam vapour ノ溫度ハ其ノ quality ガ 0.10, 0.75, 又ハ 1.00 ナルトモ同様ニ 358°F. ナリ完全ナル蒸發作用ヲナシタル後尙ホ熱ヲ加フル時ハ溫度ノ上昇ヲ來スト共ニ容積ノ増加ヲ見ル可シ斯ノ如キ場合ニ於テハ其ノ物質ノ過熱狀態 (superheated vapour condition) ニ在リ

(四三) 蒸發氣表 (Vapour table)

種々ナル狀態ノ下ニ於ケル蒸發熱量並ニ飽和及ビ過熱蒸發氣ノ壓力容積及

ビ溫度ノ相互關係等ヲバ實驗上ヨリ決定シ其ノ結果ニヨリ案出セラレタル實驗方程式 (empirical equation) ニヨリ計算ヲ行ヒ作製セラレタルモノハ此ノ蒸發氣表ナリ第二、三表ハ飽和及ビ過熱蒸氣ノ properties ヲ示ス

(四四) 飽和蒸氣ノ溫度壓力及ビ容積關係 (Relation between Temperature, Pressure and Volume of Saturated steam)

溫度壓力及ビ容積間ノ緊要ナル相互關係ハ最初 Regnault 氏 (French engineer) ノ實驗ニヨリテ決定セラレタリシガ其ノ後ニ至リ若干ノ誤差アルコトヲ發見セリ此ノ誤差タルヤ最初ノ實驗裝置ニ於テ完全ナル乾燥蒸氣ヲ得ルコトノ困難ナリシニ起因セルモノナリ

表ニ於テ見ル如ク溫度ノ高キ範圍ニ於テハ乾燥飽和蒸氣ノ壓力ハ溫度ノ上昇ニ伴ヒ著シク増大シ又溫度ノ一定ノ上昇ニ際シテハ溫度高キ程壓力ノ増加著シ、而シテ表ニ示サレタル壓力ハ pounds per square inch ニヨリ與ヘラレバレドモ熱力學上ノ計算ニハ pounds per square foot ニテ示サレタル壓力ヲ用ニ而シテ飽和蒸氣ノ比容積 (v) ハ水ノ容積 (σ) 及ビ蒸發作用ノ間ニ於ケル容積ノ増加 (u) トノ和ニ等シ

$$\text{即チ } v = \sigma + u$$

(四五) 液體ノ熱量 (Heat in the liquid) (h or q)

最初溫度 t_0 ニ於ケル水 1 pound ヲ取り之レヲ P pounds per square foot ナル一定壓力ノ下ニ熱スル時其ノ壓力ニ相當スル蒸發點ニ達スレバ水ハ蒸發シ始メ遂ニ全部氣化セシメラル、ニ至ルベシ、此ノ場合最初加ヘラレタル熱ハ水ノ溫度ヲバ t_0 ヲヨリ t 迄高ムル爲メニ吸收セラレ t 度ニ達シタル後加ヘラレタル熱量ハ水ヲ氣化セシムル爲メニ消費セラル
水ノ比熱ハ殆ドト考ヘ得ルガ故水ノ溫度ノ上昇シツ、アル間ニ於テ吸收セラレタル熱量ハ

$$(t - t_0) \text{ heat units}$$

ナルベシ依ツテ $(t-t_0) \times 778$ ハ foot pound 單位ニ於ケル仕事量ヲ示ス
 水ヲ熱スル場合ニ於テ或ル一定溫度ニ達セシムル爲メニ要セラル、熱量ヲ
 算出セントセバ最初ノ溫度 t_0 ヲバ決定スル必要アリ、而シテ計算上ノ便宜
 並ビニ過去ヨリノ習慣ニヨリ華氏溫度 32° ヲバ所要熱量計算ノ基準點ト定
 ムルヲ常トス

一般ニ記號 h (時トシテハ q) ヲ以テ水ノ 1 pound ヲバ 32°F 、ヨリ蒸氣
 ノ發生シ初ムル溫度迄高ムルタメニ要スル熱量ヲ表ハサシム
 換言セバ heat of liquid (h) トハ 1 pound ノ水ヲバ 32°F 、ヨリ沸騰點迄
 高ムルニ要スル熱量ナリ

$$\text{從ツテ } h = \int_{t_0}^t C dt$$

但シ C ……specific heat of water at constant pressure
 t_0 ……freezing temperature of water
 t ……temperature to which the water is raised.

然レドモ C ハ殆ンド 1 ニ等シキモノナルガ故ニ略式トシテハ

$$h \text{ (B.T.U.)} = t - 32 \text{ トナスコトヲ得}$$

Steam table ニ記載シアル heat of liquid h ハ水ノ比熱ヲバ variable ト
 シテ計算シタルモノナリ

水ヲ熱シタル場合蒸發作用ノ起ラザル間ニ於テ加ヘラレタル總テノ熱量ハ
 水ノ内部「エネルギー」ノ増加トシテ貯ヘラル、モノニシテ水ノ膨脹ニヨ
 リ爲サレタル外部仕事ハ實際ノ場合棄却シ得ルモノナリ

(四六) 蒸發潜熱 (Latent heat of evaporation) (L or r)

水ニ熱ヲ加ヘ其ノ溫度ヲ高ムル場合其ノ壓力ニ相當スル蒸發溫度 t ニ達ス
 レバ水ハ其ノ溫度ニ於ケル蒸氣ニ變化セシメラル、モノニシテ毫モ溫度ノ
 上昇ヲ見ズト雖モ此ノ蒸發作用 (evaporation or vaporization) ヲ遂行スル
 爲メニハ必ズ極メテ多量ノ熱ヲ要ス

此ノ蒸發作用ノ間ニ於テ要セラル、熱量ヲバ潜熱ト稱ス換言セバ蒸氣ノ發
 生シ初ムル溫度迄熱セラレタル水ノ 1 pound ヲバ一定壓力ノ下ニ於テ全
 部蒸氣ニ變ゼシムル爲メニ要セラル、熱量ヲバ潜熱ト云フ、而シテ此ノ
 latent heat of steam ヲ表ハスニハ普通 L (時トシテハ r) ナル記號ヲ用ユ
 此ノ latent heat ノ値ハ蒸發作用ノ起ル可キ各壓力ニ依リテ幾分か差違ア
 ルモノニシテ低壓力ニ於ケルモノヨリハ高壓力ニ於ケルモノハ若干小ナル
 値ヲ有ス

飽和蒸氣ノ潜熱 (latent heat of saturated steam) ハ大略次ノ公式ニヨリ
 テ計算スルコトヲ得

$$L = 970.4 - 0.655(t - 212) - 0.00045(t - 212)^2$$

(四七) 蒸發作用中ニ於ケル外部仕事

(External work of evaporation) (AP_u)

蒸發作用ノ間ニ於テ要セラル、熱ノ一部分ハ外部仕事ヲ爲スタメニ消費セ
 ラル、モノナレドモ汽罐内ニ於テ蒸發作用ノ起ル場合ニハ外部仕事ヲナス
 爲メニ要セラル、熱ハ極メテ僅少ニシテ latent heat ノ大部分ハ蒸氣ノ内
 部「エネルギー」ノ増量トナルモノナリ

而シテ此ノ外部仕事ヲナス爲メニ要セラル、熱量ハ Pu ヲ以テ示スコトヲ
 得

但シ P ……pressure in pounds per square foot.

u ……change of volume occurring when the water is changed
 into steam

ヲ示スモノトス

例ヘバ蒸氣機關ニ於ケル操作流體タル水ノ普通溫度ニ於ケル 1 pound ノ
 容積 v ハ約 $\frac{1}{800}$ cubic foot ナリ、依リテ一定壓力 P (pounds per square
 foot) ニ於ケル V cubic foot ノ容積ヲ有スル 1 pound ノ蒸氣ヲ醸成スル

=際シ爲サル、外部仕事ハ foot pound 單位ニ於テ次ノ如ク表ハスコトヲ得ベシ

即チ external work = $Pu = P(V - \frac{1}{g_0})$ ft.-lbs.

熱單位ニ換算セバ $W = A, P, u$. (B.T.U.)

$$\text{但シ } A = \frac{1}{J} = \frac{1}{778}$$

此ノ equation = 依リ氣化作用ノ間ニ於ケル外部仕事ハ壓力高キ時ヨリモ壓力低キ時ニ於テ小ナルコトヲ知り得ベシ蓋シ打勝タル可キ抵抗即チ equation 中ニ在ル壓力 P ハ低壓力ニ於テハ小ナルガ故ナリ、從ツテ外部仕事ノ heat equivalent ハ高壓力ニ於ケルヨリモ低壓力ニ於テハ加ヘラレタル熱ノ小部分ヲ占ムモノナルコトヲ知り得ベシ

(四八) 蒸氣ノ總熱量 (Total heat of steam) (H)

Steam ノ總熱量トハ一定壓力ノ下ニ於テ 32°F. ノ水 1 pound ヲバ其ノ壓力ニ於ケル蒸氣ノ状態ニ變ズル爲メニ要セラル、前記諸熱ノ和ヲ稱スルモノニシテ H ナル記號ヲ以テ表ハセバ

$$H \text{ (per pound of steam)} = h + L \text{ (B.T.U.)}$$

而シテ水ノ sensible heat h. ハ steam ノ醸成セラル、壓力ニ相當スル溫度 t ヨリ 32 ヲ減ジタルモノト略ボ等シキガ故ニ

$$H = (t - 32) + L.$$

例. Absolute pressure 115 pounds per square inch ノ壓力ヲ有スル boiler ニ於ケル蒸氣 1 pound ノ總熱量ヲ算出セヨ

解. Steam table = 依レバ 115 lbs. per square inch absolute = 相當スル溫度ハ 338°F. 又 latent heat of vaporization ハ 880. B.T.U. per pound = シテ蒸氣ノ總熱量ハ 1189 B.T.U. per pound ナルコトヲ知り得ベシ

公式ニ依リ此ノ總熱量ヲ算出セバ

$$H = (338 - 32) + 880 = 1186 \text{ B.T.U. per pound.}$$

今若シ constant pressure ノ下ニ於テ蒸氣ヲ復水セシメントセバ latent heat = 等シキ熱量ヲバ其ノ蒸氣ヨリ放出セシムルヲ要ス

(四九) 蒸發作用ニ於ケル内部「エネルギー」ノ増加並ニ蒸氣ノ内部「エネルギー」 (Internal energy of evaporation and of steam)

既ニ述ベタル如ク蒸發作用ノ間ニ於テ加ヘラレタル熱ノ大部分ハ其ノ蒸氣ノ内部「エネルギー」トナリ一小部分ノ熱ハ外部仕事ヲナス爲メニ消費セラル今蒸發作用中ニ於ケル内部「エネルギー」 (internal energy of vaporization) ノ増加ヲバ I_L ナル記號ヲ以テ表ハセバ

$$I_L = L - P \frac{(V - \frac{1}{g_0})}{778} \text{ ナリ}$$

此ノ式ハ溫度 t ナル水ノ 1 pound ヲバ其ノ溫度ノ蒸氣ニ變化セシメタル時ニ於ケル内部「エネルギー」ノ増量ヲ示スモノナリ一般ニ蒸氣ニ關スル公式ハ 32°F. ノ水ヲ基準 (arbitrary starting point) トシ熱量ノ計算ヲ行フモノニシテ茲ニ考フル蒸氣ノ内部「エネルギー」ノ量ニ就テモ同一ナル基準點ヲ採用スルモノトス、而シテ此ノ内部「エネルギー」ノ増量ナルモノハ氣化作用ノ間ニ於テ外部仕事ヲナス爲メニ必要ナル熱量以上ニ蒸氣ガ取り入レタル熱量トシテ考フルコトヲ得

依リテ壓力 P (pounds per square foot) ニ於ケル飽和蒸氣 1 pound ノ有スル總内部「エネルギー」 (I_H) ハ總熱量 H ヨリ外部仕事ノ熱當量 (heat equivalent of the external work done) ヲ減ジタルモノニ等シ

$$\text{即チ } I_H = H - P \frac{(V - \frac{1}{g_0})}{778}$$

此ノ關係式ハ蒸氣ノ膨脹並ニ壓縮作用ノ行ハル、間ニ於テ取捨セラル、熱量算出上極メテ要用ナルモノニシテ

$$\text{heat taken in} = \text{increase of internal energy} + \text{external work done.}$$

ノ關係式ニ於テ見ルガ如ク右節ノ二項ヲ算出セバ所要熱量ヲバ求ムルコトヲ得ベシ、而シテ compression ノ場合ニ於テハ external work ハ negative

トナリ steam ノ上ニ爲サレタル仕事ヲ表ハス

一般ニ液体ヲバ蒸發温度迄高ムルタメニ加熱シタル時爲サル、外部仕事ハ蒸發作用ノ間ニ爲サル、外部仕事ニ比スレバ極メテ僅少ナリ、依リテ機關學上ノ計算ニハ水ヲ熱スル際ニハ何等外部仕事ヲナササルモノト假定スルヲ常トス

此ノ假定ヲ置ケバ 32°F. ヲ基準トシ蒸氣 1 pound 毎ニ供給セラレタル全内部「エネルギー」

total internal energy supplied above 32°F. per pound of steam.

$$I_H = h + L - \frac{P(V - v_0)}{778} = H - (L - I_H)$$

(五〇) 定容積ニ於ケル蒸氣ノ醸成

(Steam formed at constant volume)

例ヘバ boiler ヨリ engine ニ至ル pipe connections ヲ遮斷シタル場合ノ如ク容積ヲ一定ニ保チ boiler 内ニ於テ saturated steam ヲ醸成スル時ハ容積ハ一定ナルガ故蒸氣ハ毫モ外部仕事ヲナサズシテ與ヘラレタル熱ハ全部蒸氣ノ内部「エネルギー」 I_H トシテ貯ヘラル、而シテ此ノ「エネルギー」ノ増量ハ一定壓力ニ於テ蒸發作用ガ繼續セラル、場合ニ於ケル蒸氣ノ總熱量 H ヨリ

$$\frac{P(V - v_0)}{778} = R, T, U, \text{ 丈少ナシ}$$

但シ上式ニ於ケル

P …… steam ノ作ラル、トキノ absolute pressure ヲバ平方呎毎ニ pound ニテ示セルモノ

V …… 壓力 P ニ於ケル蒸氣ノ容積ヲバ立方呎ニテ示セルモノ

ナリ

(五一) 濕潤蒸氣 (Wet steam)

既ニ述ベタル飽和蒸氣トハ蒸發作用ガ完全ニ遂行セラレ水ノ全部ガ蒸氣ニ

變化セシメラレ毫モ水分ヲ含マザル蒸氣ヲ云フ

然レドモ實際ノ場合 boiler ヨリ出ズル蒸氣ハ完全ニ蒸發セシメラレザル場合アリ、換言セバ boiler 内ニ於テ醸成セラレタル蒸氣ハ乾燥飽和状態ニアラズシテ多少ノ水分ヲ含有スルコトアリ、此ノ如ク乾燥蒸氣中ニ微細ナル分子ノ状態ニ於テ水分ヲ抱容セルモノヲバ濕潤蒸氣 (wet steam) ト稱ス、而シテ此ノ濕潤蒸氣ノ温度ハ幾分カノ蒸氣ガ凝結セズシテ残存スル限り蒸氣表ニ與ヘラレアル乾燥蒸氣ノ温度ト同一ナリ

濕潤蒸氣 1 pound 内ニ存在スル水ノ重量ト飽和蒸氣 1 pound ノ重量ノ比ヲバ濕潤度 (degree of wetness) ト稱シ、此ノ比ヲ百分比ニテ表ハシタルモノバ percentage of moisture 又ハ per cent wet. ト云フ、今或ル wet steam 1 pound ノ内ニ 0.04 pound ノ水分ヲ抱含スルトキハ其ノ steam ハ 4. per cent wet ナリト云フガ如シ

濕潤蒸氣ノ状態ヲ示スニ當リ x ナル記號ニヨリテ表ハサル、蒸氣ノ性状 (quality of steam) ナル言葉ヲバ屢々使用スルコトアリ、此ノ言葉ハ濕潤蒸氣 1 pound 内ニ含マル、乾燥蒸氣ノ割合ト定義スルコトヲ得、例ヘバ濕潤蒸氣 1 pound 中ニ 0.04 pound ノ水分存在スルトキハ此ノ wet steam ノ quality ハ

$$1 - 0.04 = 0.96$$

又ハ 96 per cent ナリト稱スルガ如シ

以上述ベタル處ニヨリ x ナル quality ヲ有スル濕潤蒸氣 1 pound ノ有スル潜熱ハ xL ナルコト明カナリ、同様ニ wet steam 1 pound ノ有スル總熱量ハ $h + xL$ ニシテ其ノ容積ハ

$$x(V - v_0) + v_0 = xV + v_0(1 - x) = xV \text{ ナリ}$$

蓋シ steam ガ甚ダシク濕潤状態ニアリテ水ノ多量ヲ含ム場合ノ外ハ $v_0(1 - x)$ ハ棄却シ得ルガ故ナリ

同理 = ヨリテ wet steam 1 pound ノ有スル内部「エネルギー」

$$I_H = h + x \left\{ L - \frac{P(-v_g)}{778} \right\} \quad \text{ナリ}$$

(五二) 過熱蒸氣 (Superheated steam)

蒸氣ノ溫度ガ飽和溫度即チ其ノ壓力 = 相當スル標準溫度ヨリ高キ時ハ其ノ蒸氣ハ過熱セラレタリト稱ス、而シテ此ノ状態ニアル蒸氣ノ性質ハ飽和状態ニアル場合ト差異アルモノニシテ極メテ高溫度 = 過熱セラレタルトキハ其ノ性質略ガ完全氣體ノ性質ト一致スルモノナリ

此ノ過熱蒸氣表モ飽和蒸氣表ト同様ニ作製セラレアリ (第三表参照)

乾燥飽和蒸氣 = アリテハ或ル壓力 = 對シ其ノ溫度及ビ比容積ハ一定ノモノナリ、然レドモ過熱蒸氣 = アリテハ或ル壓力 = 對シ飽和蒸氣ノ溫度以上ノ種々ナル溫度ヲ有シ得ルモノニシテ此ノ各種ノ溫度 = 於ケル比容積並ニ全熱量ハ夫々格別ノ値ヲ有ス、而シテ恰モ完全氣體ノ如ク其ノ比容積 (cubic feet per pound) ハ溫度ノ上昇 = 伴ヒ増加スルモノナリ

(五三) 過熱蒸氣ノ全熱量 (Total heat of superheated steam)

過熱蒸氣ノ有スル全熱量ハ飽和蒸氣ノ有スル全熱量 = 比スレバ多量ナルコトハ明カナリ、而シテ dry saturated steam ノ全熱量ハ既ニ説明シタルガ如ク $h+L$ = ヨリテ示シ得ルガ故ニ D 度丈ケ過熱セラレタル過熱蒸氣ノ有スル全熱量 H_s ハ次式 = 依リテ表ハサル

$$H_s = h + L + C_p \cdot D,$$

依リテ今或ル壓力 = 相當スル飽和蒸氣ノ溫度ヲバ t_{sat} 過熱蒸氣ノ溫度ヲバ t_{sup} トスレバ

$$H_s = h + L + C_p(t_{sup} - t_{sat})$$

此ノ H_s ハ過熱蒸氣ノ全熱量換言スレバ $32^\circ F.$ ノ水 1 pound ヲバ蒸氣 = 變ジ更 = 或ル溫度迄過熱スルニ要スル總熱量ヲ示スモノナリ

茲 = 上述ノ總熱量 = 相當スル過熱蒸氣 1 pound ノ有スル内部「エネルギー」

ノ量ヲ求メントセバ蒸發作用及ビ過熱作用中 = 於テ爲サレタル外部仕事ヲバ總熱量ヨリ減ズルノ必要アリ

即チ

$$\begin{aligned} I_H &= h + L - \frac{P(V_{sat} - v_g)}{778} + C_p(t_{sup} - t_{sat}) \\ &- \frac{P(V_{sup} - V_{sat})}{778} = h + L + C_p(t_{sup} - t_{sat}) \\ &- \frac{P(V_{sup} - v_g)}{778} = H_s - \frac{P(V_{sup} - v_g)}{778} \end{aligned}$$

上式 = 於ケル v_g ナル term ハ機識學上ノ計算 = 於テハ棄却スルヲ常トス而シテ棄却 = 依リテ生ズル最大ナル誤差ハ 1% 以上 = 達スルコト稀ナリ茲 = 上記ノ略算法ヲ行ヘバ上式ハ次ノ如ク變化スベシ

$$I_H = h + L + C_p(t_{sup} - t_{sat}) - \frac{P \times V_{sup}}{778} = H_s - \frac{P \times V_{sup}}{778}$$

今 165 pounds per square inch absolute ノ壓力ヲ有シ $150^\circ F.$ 丈ケ過熱セラレタル蒸氣アリ此ノ蒸氣ノ全熱量ヲ算出スル = 蒸氣表 = ヨリテ

sensible heat or heat of liquid = 338.2

heat of vaporization = 856.8

constant pressure = 於ケル過熱蒸氣ノ比熱ノ mean value (calculated by integration from Knoblauch and Jakob' Data) ハ 0.552 ナルガ故ニ

$$H_s = h + L + C_p \times 150 = 338.2 + 856.8 + 0.552 \times 150 = 1277.7 \text{ B.T.U.}$$

此ノ value ハ Marks and Davis' steam table (第三表) = 與ヘラレアル値 1277.6 ト殆ンド同一ナリ

又過熱蒸氣ノ比容積ハ次ノ如キ實驗式 = ヨリテ求ムルコトヲ得

即チ

$$V = \left[0.5962T - p(1 + 0.0014p) \left(\frac{150,300,000}{T^3} - 0.0833 \right) \right] \frac{1}{p}$$

但シ式中 = 於ケル

p = pressure in pounds per square inch.

V = volume in cubic feet per pound.

$T = t + 460$ is absolute temperature in the Fahrenheit scale.

(註) 機關學上ノ計算ニアリテハ過熱蒸氣ノ $\frac{C_p}{C_v}$ 即チ γ ノ値ハ 1.3 ト定メラル

(五四) 絞作用又ハ絞氣ニ依ル蒸氣ノ乾燥

(Drying of steam by Throttling or Wire-drawing)

蒸氣通路ニ於テ僅カニ開カレタル弁ノ如キ小ナル通路ヲ經テ蒸氣ヲ膨脹セシムルトキハ其ノ壓力ハ著シク減少スルヲ見ルベシ此ノ影響ヲ絞作用或ハ絞氣ト稱ス

此ノ種ノ膨脹作用ニ於テハ壓力ハ下降スルモ何等仕事ヲ爲ササルヲ以テ最初濕潤セル蒸氣ナレバ乾燥状態トナル可ク又最初乾燥状態ニアルモノナレバ過熱セララルハニ至ル可シ、蓋シ乾燥飽和蒸氣 1 pound ノ有スル總熱量ハ著シク其ノ壓力ニ依リテ差違アルニモ關ラズ radiation ナキモノトセバ此ノ絞作用ノ前後ニ於ケル蒸氣 1 pound ノ有スル全熱量ハ相等シキヲ以テナリ茲ニ濕潤蒸氣アリ其ノ性状ガ x_1 ナリトセバ其ノ wet steam ノ有スル總熱量ハ

$$h_1 + x_1 L_1 \quad \text{ナリ}$$

但シ h_1 及ビ L_1 ハ最初ノ壓力ニ於ケル heat of liquid 及ビ latent heat ヲ示スモノトス

次ニ絞作用後ニ於ケル蒸氣ノ顯熱及ビ潜熱ヲ h_2 及ビ L_2 トシ其ノ性状ガ x_2 ニ變ジタリトセバ其ノ總熱量ハ $h_2 + x_2 L_2$ ナリ、而シテ絞作用ノ前後ニ於テ其ノ總熱量ハ相等シキガ故

$$h_1 + x_1 L_1 = h_2 + x_2 L_2$$

$$\therefore x_2 = \frac{x_1 L_1 + h_1 - h_2}{L_2}$$

小孔ヲ通ジ蒸氣ノ噴出スル場合ニ於ケル此ノ乾燥作用ハ高壓力ノ boiler ヨリ大氣中ニ蒸氣ヲ噴出スル際明瞭ニ認識スルコトヲ得、即チ噴出孔ヨリ數吋ノ處ニ於テハ毫モ濕氣ヲ含マズシテ蒸氣ハ乾燥状態ニアレドモ尙ホ先端ニ至レバ冷却作用ノ爲メ蒸氣ハ凝結シ霧状トナルヲ以テ明ニ濕氣ノ存在ヲ認ムルコトヲ得此ノ絞作用ノ原理ヲ適用シタルモノニ Throttling calorimeter アリ

(五五) 蒸氣中ニ存在スル濕分ノ決定

(Determination of the moisture in steam)

蒸氣ノ濕潤程度ヲ決定スルニハ steam calorimeter ヲ用ユ、此ノ calorimeter ニハ多種アレ共之レヲ三種ニ大別スルコトヲ得

- (1) Throttling or superheating calorimeter.
- (2) Separating calorimeter.
- (3) Condensing calorimeters. 是ナリ

(五六) 「スロツトリング」或ハ「スーパーヒーティング、カロリメーター」

(Throttling or Superheating calorimeter)

普通一般ニ用ヒラル、「カロリメーター」ノ制式ハ蒸氣ヲシテ小孔ヲ通過セシメ絞氣作用ニヨリ之レヲ過熱シテ其ノ濕分ヲ計測ス

第十五圖ハ其ノ構造ノ大要ヲ示ス

圖 中

O.....C ナル chamber = 蒸氣ヲ噴出セシムル小孔

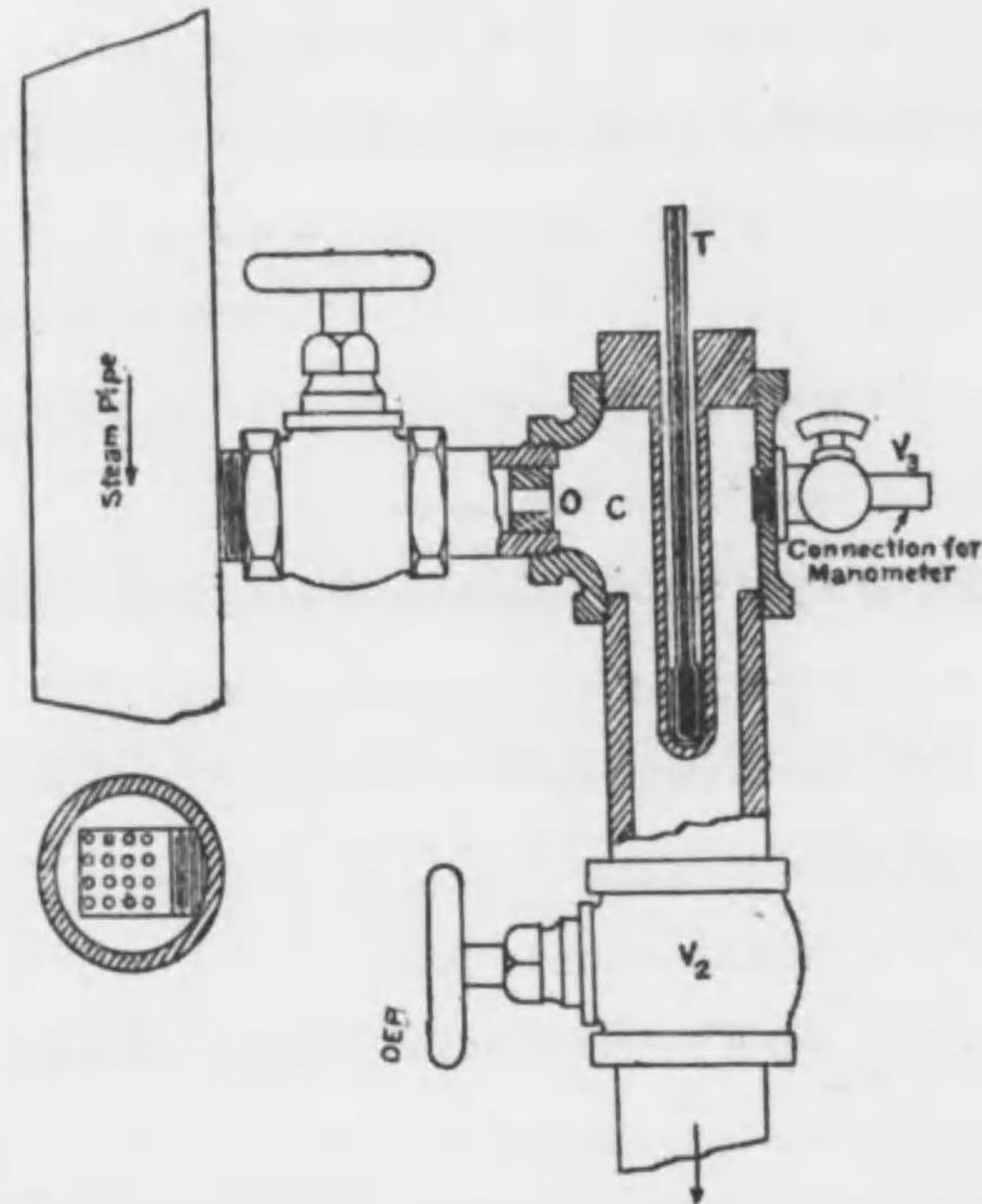
T.....C ナル chamber 内ニ挿入セラレタル塞暖計

V₃ ...calorimeter 内ノ壓力ヲ檢知スルタメノ水銀壓力計ヲ取付クベキ管ニ裝備シアル cock. ナリ

此ノ calorimeter ニアリテハ其ノ装置全般並ニ接續蒸氣管等ハ何レモ熱ノ不導體ヲ以テ完全ニ被覆スルヲ要ス、此ノ絶縁物トシテ最モ適當ナルモノ

ハ hair felt ナリ

Fig. 15.



若シ此ノ被覆ノ完全ナラザル時ハ輻射作用ノタメ蒸氣ノ一部ハ復水シ實際ノ状態ニ於ケル蒸氣ヲバ calorimeter 内ニ送給シ得ザルガ故計測ノ結果ハ全ク無意味ノモノタル可シ

calorimeter 内ニ供給セラル、蒸氣ガ餘リニ濕リ居ル時ハ orifice ニ於ケル絞氣ノタメ起ル乾燥作用ハ其ノ蒸氣ヲバ過熱スルニ至ラザル可シ一般ニ蒸氣ハ此ノ calorimeter 内ニ於テ 5° 乃至 10° F. ダケ過熱セラル、ニアラザレバ精確ナル結果ヲ得ル能ハズ換言セバ orifice ノ低壓力側ニ於ケル温度ガ calorimeter 内ノ壓力ニ相當スル温度ヨリ少ク共 5° - 10° F. 高キ場合ニ於テ其ノ結果ハ精確ナリト認メラル

此ノ throttling calorimeter ノ作動範圍ハ蒸氣ノ初壓力ニヨリテ差異アリ、例ヘバ 35 pounds per square inch absolute ノ蒸氣ニアリテハ 2% 以上ノ濕分ヲ含有スレバ過熱スルコト不可能ナレ共 150 pounds per square inch absolute ノ蒸氣ナレバ約 5%, 250 pounds per square inch absolute ノ蒸氣ナレバ約 7% 内外ノ水分ヲ含有スルモ過熱スルコトヲ得、然レドモ或ル壓力ニ對スル精確ナル此ノ limit ハ calorimeter 内ノ壓力ニ依リテ僅少ノ差異アルモノトス

calorimeter ニ供給スル蒸氣ハ試験セントスル engine, turbine 又ハ boiler ニ近キ垂直管ヨリ取り入ル、ヲ要ス次ニ放出弁 V_2 ハ V_3 ナル cock ノ閉鎖セラレタル後ニアラザレバ閉鎖スルカ又ハ其ノ開度ヲ調節スベカラズ、若シ此ノ注意ヲ怠ルトキハ chamber C 内ノ壓力ニ過昇ヲ來シ水銀壓力計ヲ用ヒタル場合ナレバ水銀ハ吹き出サル、ニ至ル可ク又低壓力用ノ壓力計ヲ使用セルトキナレハ其ノ指度以上ノ壓力ノ加ヘラル、結果毀損セラル、コトアルベシ

此ノ calorimeter 内ノ温度ハ挿入セラレアル寒暖計ガ最高温度ヲ示シ將ニ下降セントスル際記録スベキモノトス

此ノ calorimeter ヲ用ヒタル場合 wet steam ノ性狀即チ乾度ハ次式ニヨリテ求ムルコトヲ得

今 P_1 = steam pressure in main, pounds per square inch absolute,

P_2 = steam pressure in calorimeter, pounds per square inch absolute,

t_c = temperature in calorimeter, degrees in Fahrenheit,

L_1, h_1 = heat of vaporization and heat of liquid corresponding to pressure

P_1 (B.T.U.)

H_2, t_2 = total heat (B.T.U.) and temperature (degrees Fahrenheit) corresponding to pressure P_2 ,

C_p = specific heat of superheated steam. Assume 0.47 for low pressures existing in calorimeter,

x_1 = initial quality of steam,

トスレバ orifice を通過セントスル wet steam 1 pound ノ有スル總熱量ハ $x_1 L_1 + h_1$ ナリ

而シテ膨脹後ニ於テ其ノ濕分ガ全部蒸發シタリトスレバ同一重量ノ蒸氣ノ有スル全熱量ハ

$$H_2 + C_p(t_c - t_2)$$

今絞作用ニ於テ何等熱ノ損失ナキモノトスレバ

$$x_1 L_1 + h_1 = H_2 + C_p(t_c - t_2)$$

$$\text{依リテ } x_1 = \frac{H_2 + C_p(t_c - t_2) - h_1}{L_1} = \frac{H_2 + 0.47(t_c - t_2) - h_1}{L_1}$$

例. Absolute pressure 100 pounds per square inch ナル蒸氣ヲバ throttling calorimeter 内ニ送給シタルトキ其ノ溫度 243°F. ヲ示シ其ノ壓力 15 pounds per square inch absolute ナリシト云フ、然ラバ送給セラレタル蒸氣ノ性狀如何

解. 前述ノ公式ヲ應用シ

$$\begin{aligned} H_2 + C_p(t_c - t_2) &= 1150.7 + 0.47(243 - 213) \\ &= 1164.8 \text{ B.T.U. per pound} \end{aligned}$$

calorimeter = 送給セララル、以前ニ於テ蒸氣ノ有スル總熱量ハ $h_1 + x_1 L_1$ ナリ、而シテ 100 pounds per square inch absolute ノ壓力ニ於テハ

$$h_1 = 298.3 \quad L_1 = 888$$

$$\therefore \text{全熱量} = 298.3 + x_1 888 \text{ (in B.T.U. per pound)}$$

而シテ calorimeter = 供給セラレタル蒸氣ノ有スル總熱量ハ最初ノ状態ニ於ケル熱量ニ等シキガ故

$$298.3 + 888x_1 = 1164.8$$

$$\therefore x_1 = 0.976$$

即チ蒸氣ノ最初ノ quality ハ 2.4 per cent wet ナリ

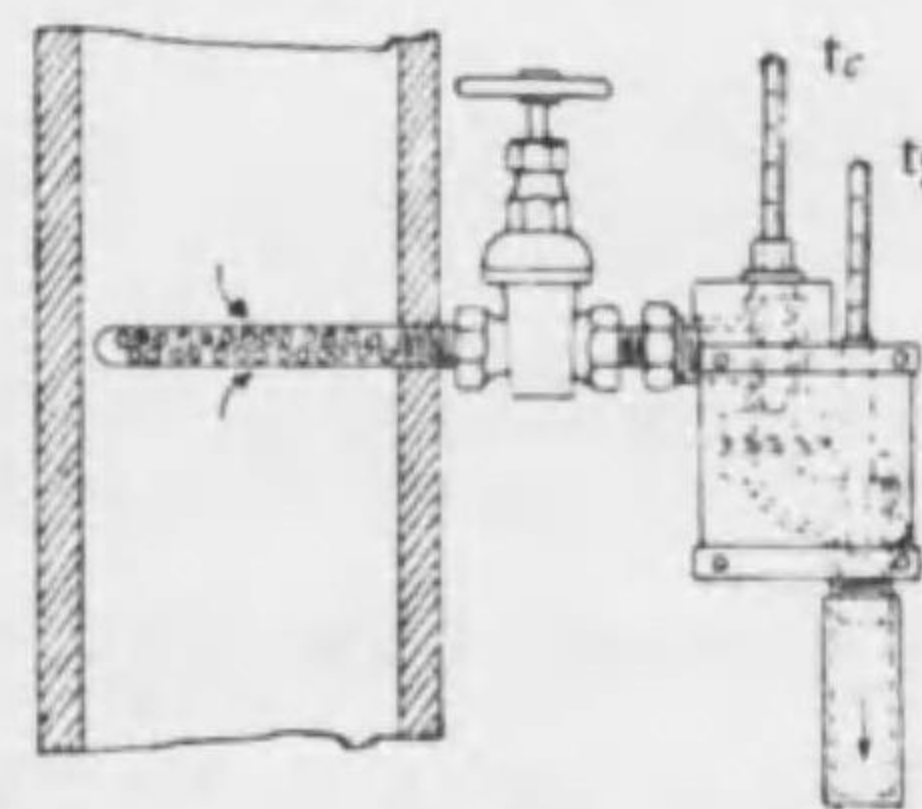
(五七) 「バラス、スロツトリング、カロリメーター」

(Barrus' Throttling calorimeter)

普通ノ throttling calorimeter ヲ改良セルモノニシテ一般ニ採用セララル、制式ナリ

此ノ calorimeter = アリテハ送給セラレタル蒸氣ノ壓力ノ代リニ直接其ノ溫度ヲバ計測ス而シテ大氣ト自由ニ交通ス可キ開口ヲ設ケアルガ故ニ calorimeter 内ノ壓力ハ大氣壓力ト同様ナリ此ノ如ク装置セラレアルガ故ニ此

Fig. 16.



ノ制式ニアリテハ其ノ計測法至極容易ナリ

今 calorimeter 内ニ於ケル壓力高低部ノ溫度ヲバ夫々 t_c 及ビ t_2 トセバ t_c ハ calorimeter 内ノ溫度ヲ示シ t_2 ハ大氣壓力ニ相當スル溫度ヲ示スヲ以テ

$$x = \frac{H_2 + 0.47(t_c - t_2) - h_1}{L_1}$$

ノ equation = ヨリ蒸氣ノ最初ノ状態 x_1 ヲ決定スルコトヲ得

第十六圖ハ Barrus' throttling steam calorimeter ノ大要並ニ寒暖計挿入ノ位置ヲ示スモノナリ

(五八) 「セパレーティング、カロリメーター」 (Separating calorimeter)

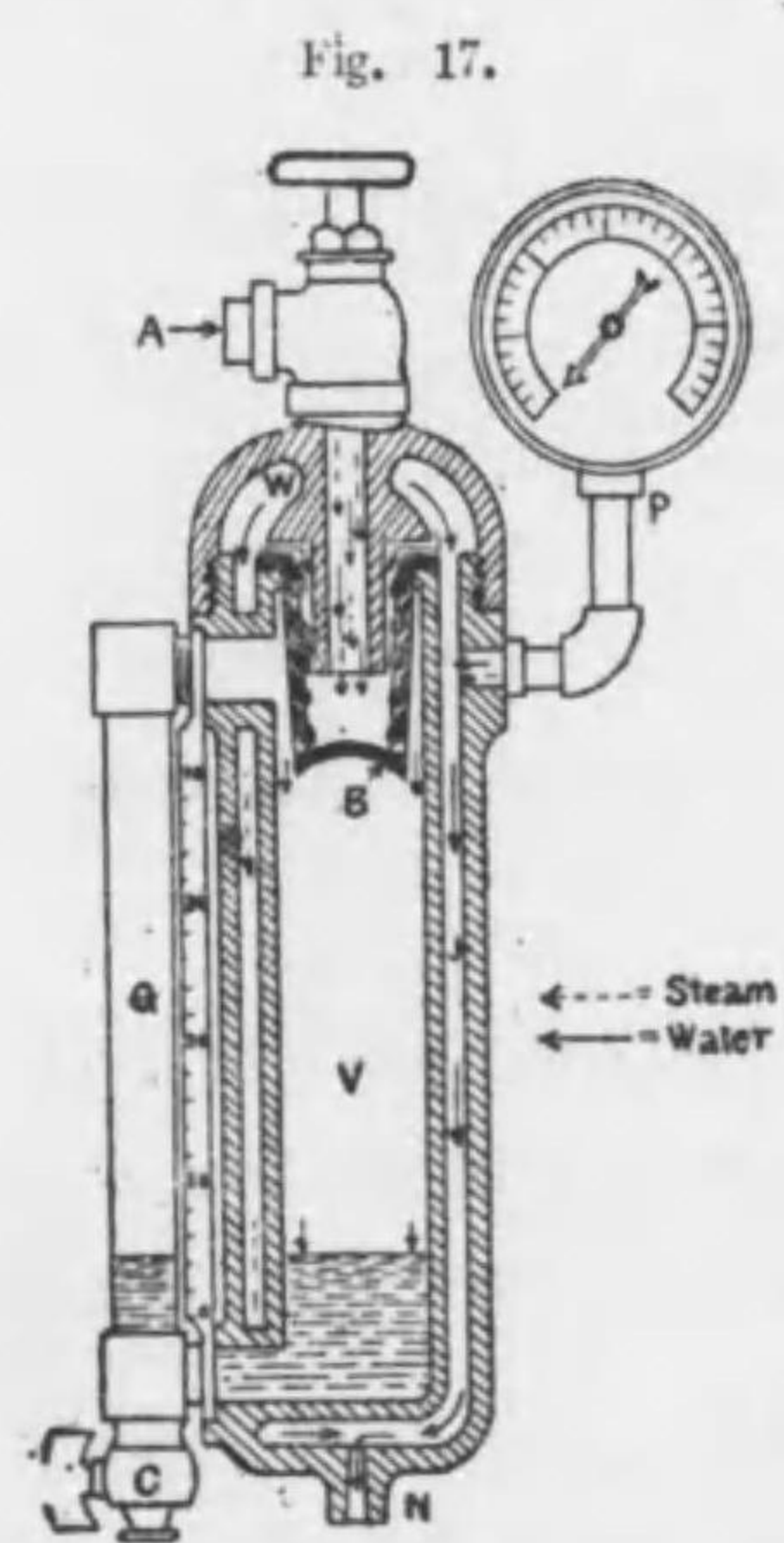
前述ノ如ク throttling calorimeter ナルモノハ比較的低壓力ナレバ 2% 以上普通ノ boiler pressure ナレバ 5% 以上濕分ヲ有スル蒸氣ノ性狀ヲ決定スルニ適セザルヲ以テ此レ以上ノ濕分ヲ有スル wet steam ノ quality ヲ決定スル場合ニハ一般ニ separating calorimeter ヲ使用ス

separating calorimeter ハ恰モ蒸氣管ニ裝備セラレタル普通ノ分離器ノ如ク水分ヲ蒸氣ヨリ機械的ニ分離セシムル装置ナリ勿論此ノ calorimeter ニハ分離セラレタル水分ヲ計測スル爲メ目盛セル硝子計ヲ裝備シアリ此ノ calorimeter ニ於テ水ガ機械的ニ分離セラル、ハ急激ニ其ノ流過方向ヲ轉換シテ速度ヲ減少スルガタメニシテ普通機械ニ供給セラル、壓力ニ於テハ水ハ蒸氣ヨリ約 300 倍重シ依リテ其ノ inertia ノ大ナルガタメニ水分ハ遂ニ分離器内ニ残留セシメラル、ニ至ルモノナリ

第十七圖ハ試驗スベキ蒸氣ト同一溫度ヲ有スル live steam ヲ蒸氣衣 (steam jacket) ニ供給シ得ル如ク装置セラレタル separating calorimeter ノ一種ヲ示ス

圖中 A……蒸氣ヲ供給スル管

B……蒸氣ノ放射セラル、cup



蒸氣ハ A ナル蒸氣管ヨリ cup B ニ放射セラル、ニ際シ殆ンド 180° 丈ケ其ノ流過方向ヲ轉換セシメラル、ガ故ニ水分ハ cup ノ周圍ニアル細孔ヲ經テ V ナル空所ニ投出セラレ乾燥蒸氣ハ上方ニ向ヒ W ナル部分ヨリ外側ノ jacketing chamber J ヲ經テ不降シ遂ニ N ナル射出口ヨリ放出セシメラル此ノ N ナル nozzle ハ蒸氣ノ通過スル他ノ通路ノ切斷面ニ比シ極メテ小ナルガ故ニ calorimeter 及ビ jacket ノ部ニ於テハ殆ンド壓力ノ差ヲ生ズルコトナシ、而シテ外側ノ glass gage G ニハ溜滯セ

ル水量ヲ計測スルタメ ordinary working pressure ニ相當スル溫度ニ於テ pound ノ $\frac{1}{100}$ 宛ニテ level ノ變化ヲ示ス如ク目盛シアリ

P ハ蒸氣壓力計ニシテ jacket ニ於ケル壓力ヲ示シ pet cock C ハ器内ニ集積セシ水ヲ排除スル用ニ供セラル

N ナル nozzle ニハ一本ノ管ヲ接續シ之レヲ充水セル桶内ニ導キ噴出蒸氣ヲバ復水セシム最初充水セル桶ノ重量ヲ精密ニ計測シ置クトキハ試験後ニ於ケル重量トノ差ニヨリテ復水セル蒸氣量ヲ求ムルコトヲ得 今、

W……orifice N ヲ通過シテ流出シタル乾燥蒸氣ノ重量

w……分離セラレタル水ノ重量

トセバ

$$\text{quality of steam} = \frac{W}{W+w}$$

ナル式ニヨリテ算出スルコトヲ得

(五九) 「コンデンシング」或ハ「バーレル、カロリメーター」

(Condensing or Barrel calorimeter)

5% 以上ノ moisture ヲ有スル蒸氣ニ對シテハ此ノ種 condensing calorimeter ヲ使用セバ一層精密ナル結果ヲ得其ノ最モ簡單ナル制式ハ冷却セル水ノ一定量ヲ抱容セル圓筒形ノ桶ナリ、先ヅ試驗セントスル蒸氣ハ桶ノ底部ニ取付ケラレアル管ニ依リテ水中ニ導カル依リテ水ノ溫度ハ蒸氣ノ復水ノタメ漸次上昇スルニ至ルベシ

此ノ場合 wet steam ノ失ヒタル熱量ハ冷水ニヨリ獲得セラレタル熱量ニ等シキヲ以テ水桶内ノ水ノ最初並ニ最終ノ重量及ビ溫度ト蒸氣ノ溫度トヲ計測シ置クベシ

今 W……冷水ノ最初ノ重量 (pounds)

w……流入シタル濕潤蒸氣ノ重量 (pounds)

t₁……冷水ノ溫度 (華氏)

t_2 ……蒸氣ヲ流入セシメタル後ノ溫度 (華氏)

t_s ……蒸氣ノ溫度 (華氏)

L …… t_s ナル溫度ニ於ケル蒸氣ノ潜熱

x ……蒸氣ノ性状

トセバ

$$\text{heat lost by wet steam} = \text{heat gained by water}$$

ナルガ故次ノ如キ關係ヲ得

$$\text{即チ } wzl + w(t_s - t_2) = W(t_2 - t_1)$$

$$\therefore x = \frac{W(t_2 - t_1) - w(t_s - t_2)}{wl}$$

(六〇) 蒸發當量及比蒸發係數

(Equivalent evaporation and Factor of evaporation)

種々ナル狀況ノ下ニ於テ飽和或ハ過熱蒸氣ヲ醸成スルニ際シ要セラル、總熱量ヲ比較スルニ當リテハ罐ノ給水溫度並ニ蒸氣壓力ヲバ考慮スルコト必要ナリ、蓋シ壓力高ケレバ蒸氣ノ總熱量ハ増加スベク給水溫度高ケレバ蒸發溫度迄之レヲ高ムルニ要セラル、顯熱ハ減少スルガ故ナリ

此等ノ已知條件 (data) ハ boiler test ノ結果ヲ比較スル上ニ於テ極メテ肝要ナルモノナリ

此ノ効力比較ノ基準トシテハ大氣壓力 14.7 pounds per square inch absolute ニ於ケル 212°F. ノ水 1 pound 全部ヲバ其ノ溫度ニ於ケル蒸氣ニ變ゼシムルニ要セラル、熱量ヲ用ユ

此ノ基準狀態ニ於テハ水 1 pound ニ付キ

$$h = 0 \quad L = 970.4 \text{ B.T.U.}$$

ナリ

茲ニ absolute pressure 200 pounds per square inch ノ boiler アリ feed water ノ溫度ハ 190°F. ナリ、今此ノ boiler ニ於テ蒸氣ノ 1 pound ヲ作

ルニ要セラル、熱量ト standard condition ニ於ケル所要熱量トヲ比較セ

ンニ
absolute pressure 200 pounds per square inch ニ於ケル水 1 pound ノ有スル heat of liquid $h = 354.9$ B.T.U. ニシテ heat of vaporization $L = 843.2$ B.T.U. per pound ナリ

而シテ feed water ノ溫度ハ 190°F. ナルヲ以テ其ノ水ノ有スル heat of liquid

$$h_0 = 157.9 \text{ B.T.U. per pound ナリ}$$

從ツテ此ノ狀態ニ於テ蒸氣 1 pound ヲ醸成スルニ必要ナル全熱量ハ

$$843.2 + (354.9 - 157.9) = 1040.2 \text{ B.T.U. per pound}$$

此ノ蒸發作用ノ爲メ實際ニ要セラレタル全熱量ト 212°F. ニ於ケル水 1 pound ヲバ全部同溫度ニ於ケル乾燥飽和蒸氣ニ變ズル爲メニ要セラル、熱量トノ比ヲバ factor of evaporation ト稱ス

此ノ場合ニ於ケル

$$\text{factor of evaporation} = \frac{1040.2}{970.4} = 1.07$$

一般ニ

F ……factor of evaporation

h ……heat of liquid

L ……heat of evaporation

h_0 ……heat of liquid corresponding to the temperature of feed water.

トスレバ

$$F = \frac{L + (h - h_0)}{970.4}$$

而シテ boiler 内ニ於テ實際醸成セラレタル蒸氣ノ重量 (pounds per hour) ヲ W トスレバ之レニ factor of evaporation ヲ乗ジタルモノヲバ equivalent evaporation ト稱ス

依リテ

$$\text{equivalent evaporation} = W \frac{L + (h - h_0)}{970.4}$$

(六一) 冷却用媒介物トシテノ蒸發氣

(Vapours as Refrigerating Media)

冷却機械ノ媒介物トシテハ一般ニ ammonia ヲ使用スレドモ時トシテハ carbon dioxide 或ハ sulphur dioxide ヲ使用スルコトアリ

冷却用媒介物トシテノ價値ハ其ノ物質ノ latent heat, vaporization temperature, 價格及ビ其ノ化學的ノ性質ニヨリテ定マル、其ノ潜熱多量ナレバ蒸發作用ニヨリ多クノ熱ヲ抽出スルコトヲ得、而シテ充分ナル低溫度ノ冷却水ヲ得ラザル熱帶地方ニ於テ低下セシメ得ル冷却溫度並ニ實用向ノ程度ハ種々ナル壓力ニ於ケル媒介物ノ蒸發溫度 (vaporization temperature) ニ依ルモノニシテ此ノ蒸發溫度ノ低キ程媒介物トシテ適當ス

練習問題 (五)

(1) Dry and saturated steam has a pressure of 100 lbs. per sq. in. absolute. Calculate the temperature of the steam, volume per pound, the heat of the liquid, the latent heat, and the total heat above 32°F. per pound of the steam.

(2) Dry and saturated steam has a temperature of 300°F. What is its pressure, heat of the liquid, latent heat, and total heat?

(3) A closed tank contains 9 cu. ft. of dry and saturated steam at a pressure of 150 lbs. per sq. in. absolute.

(a) What is its temperature.?

(b) How many pounds of steam does the tank contain.?

(4) A boiler generates dry and saturated steam under a pressure of 200 lbs. per sq. in. absolute.

(a) What is the temperature of the steam.?

(b) How many British thermal units are required to generate 1 lb. of this steam if the feed water is admitted at 32°F.?

(c) How many British thermal units are required to generate 1 lb. of this steam from feed water at 60°F. into the steam at the pressure stated at the beginning of this problem.

(5) One pound of dry and saturated steam is at a pressure of 250 lbs. per sq. in. absolute.

(a) What is its internal energy of evaporation.?

(b) What is its total internal energy above 32°F.?

(c) How much external work was done during the evaporation.?

(6) Dry and saturated steam is generated in a boiler and has a temperature of 400°F. The feed water enters the boiler at 200°F.

(a) What pressure is carried in the boiler.?

(b) What is the total heat supplied to generate 1 lb. of this steam.?

(7) One pound of steam at a pressure of 100 lbs. sq. in.

absolute has a quality of 90 per cent dry.

What is its temperature?

(8) How many British thermal units would be required to raise the pound of steam in above problem from 32°F . to the boiling point corresponding to the pressure stated?

(9) What would be the volume of a pound of steam for the conditions stated in problem 7?

(10) How many heat units (latent heat) are required to evaporate the steam in problem 7?

(11) What is the amount of the total heat (above 32°F .) of the steam in problem 7?

(12) What would be the external work of evaporation of the steam in problem 7?

(13) What is the internal energy of evaporation of the steam in problem 7?

(14) What is the total internal energy of the steam in problem 7?

(15) A tank contains 9 cu. ft. of steam at 100 lbs. per sq. in. absolute pressure which has a quality of 0.95.

How many pounds of steam does the tank contain?

(16) Two pounds of steam have a volume of 8 cu. ft. at a pressure of 100 lbs. per sq. in. absolute. What is the quality?

(17) One pound of steam having a quality of 0.95 has a

temperature of 324°F . What is the pressure?

(18) One pound of steam at a pressure of 300 lbs. per sq. in. absolute has a volume of 1.80 cu. ft.

Is it saturated or superheated?

(19) Steam in a steam pipe has pressure of 110.3 lbs. per sq. in. by the gage. A thermometer in the steam registers 385°F . Atmospheric pressure is 14.7 lbs. per sq. in. absolute. Is the steam superheated, and if superheated how many degrees?

(20) Steam at a pressure of 200 lbs. per sq. in. absolute passes through a throttling calorimeter.

After expansion into the calorimeter the temperature of this steam is 250°F . and the pressure 15 lbs. per sq. in. absolute.

What is the quality?

(21) Steam at a temperature of 325°F . passes through a throttling calorimeter. In the calorimeter the steam has a pressure of 16 lbs. per sq. in. absolute and a temperature of 236.3°F .

What is the quality?

(22) In a ten-minute test of a separating calorimeter the quantity of dry steam passing through the orifice was 9 pounds.

The quantity of water separated was 1 pound.

What was the quality?

(23) A barrel contained 400 lbs. of water at a temperature of 50°F . Into this water steam at a pressure of 125 lbs. per sq.

in. absolute was admitted until the temperature of the water and condensed steam in the barrel reached a temperature of 100°F. The weight of the water in the barrel was then 418.5 pounds. What was the quality.?

(24) Calculate the factor of evaporation and equivalent evaporation per pound of coal for a boiler under the following conditions ;

Steam pressure, 190 lbs. per sq. in. gage ; feed water temperature, 203°F.; steam apparently evaporated per pound of coal $7\frac{1}{2}$ pounds ; steam 3 per cent wet.

第六章 「エントロピー」 (Entropy)

(六二) 「エントロピー」ノ定義 (Definition of the Entropy)

操作物質ガ熱機内ニ於テ受クル變化ヲ圖解的ニ表ハス普通ノ方法ハ壓力容積線圖 (Pressure-Volume diagram) ヲ引クニアリ、此線圖ニヨリ算出シタル仕事ハ一噸單位ノモノナルガ故熱變化ヲ研究スル場合ニ於テハ若干不便ノ點アルヲ免レズ、依リテ或ル變化ノ間ニ於テ爲サル、仕事ヲハ熱單位ニテ示サレタル面積ニヨリ直接表ハシ得ルガ如キ線圖ヲ用ユルヲ得策トス

線圖ノ面積ニヨリ直接熱單位ニテ示サレタル仕事ヲ表ハサントセバ坐標ノ積ガ熱單位ニ於ケル仕事ヲ與フル如ク坐標ヲ撰定スル事必要ナリ、依リテ縱坐標ヲシテ絶對溫度ヲ表ハサシムル時ハ横坐標ニハ $\frac{Q}{T}$ 即チ $\frac{\text{熱 量}}{\text{絶對溫度}}$ ヲ採ラザル可カラズ斯ク定ムレバ双方ノ積 $T \times \frac{Q}{T} = Q$ トナリ其ノ面積ハ或ル變化ノ間ニ於テ加ヘラレタル熱量ヲ示スベシ

今膨脹又ハ壓縮變化ヲ生ゼシムルニ必要ナル熱量ヲ Q トシ此ノ熱量 Q ヲバ小部分 dQ ニ分チ而シテ此ノ dQ ヲバ熱變化ノ起リタル時ノ平均絶對溫度 T ヲ以ツテ除スル時ハ横軸ニ沿ヒ $\frac{dQ}{T}$ ノ多數ヲ得ラルベシ從ツテ

$\int \frac{dQ}{T}$ ハ横軸ニ沿ヘル總變化ヲ示ス

依リテ $\int \frac{dQ}{T} = C.D.$ 二點間ノ平均絶對溫度ヲ乘ズレバ物質ノ變化ニ關聯スル熱ノ總量ヲ示スコトヲ得

茲ニ横軸ニ沿フ變化ヲバ數學的ニ表ハシ

$$\frac{dQ}{T} = d\phi \quad \text{トスレバ} \quad \phi = \int \frac{dQ}{T}$$

又熱量ノ變化ニ關シテハ

$$dQ = Td\phi \quad \text{從ツテ} \quad Q = \int Td\phi$$

上記ノ方程式ニ於ケル ϕ ハ物質ノ「エントロピー」ノ増加 (increase of entropy) トシテ知ラレタルモノニシテ或ル變化ノ間ニ於ケル平均絶對溫度ヲ乘ズレバ其ノ變化中ニ於テ出入シタル熱量ヲバ熱單位ニ於テ與フルガ如キ量ナリ

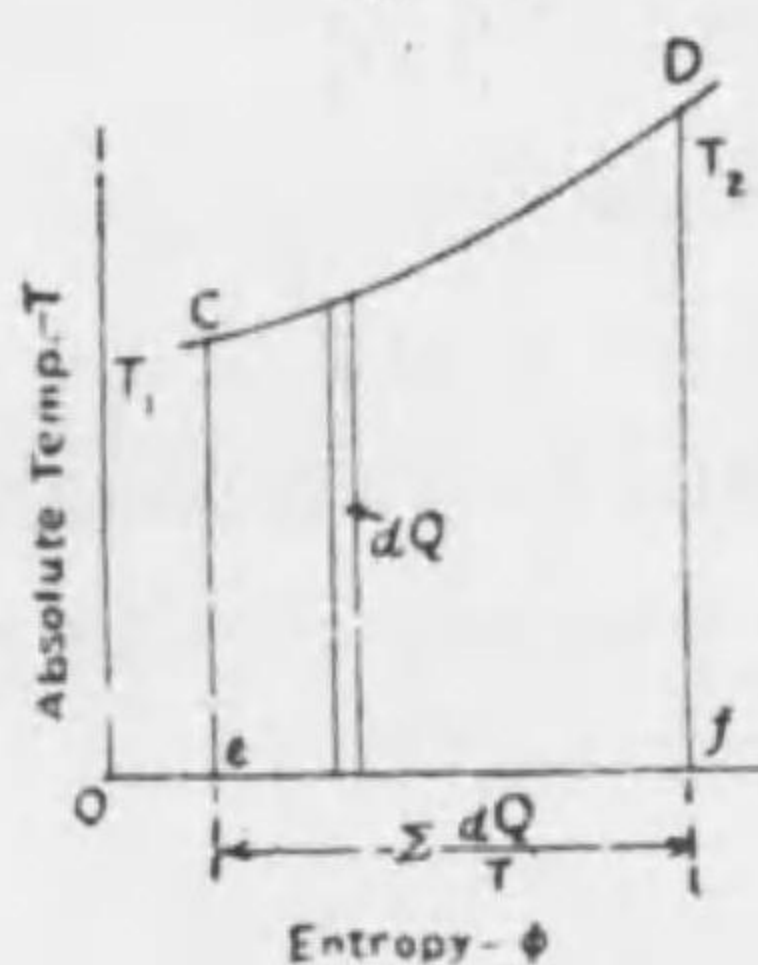
而シテ「エントロピーノ増加」ナル言葉ハ一般ニ「エントロピー」其自身ヨリ多ク使用セラル

「エントロピー」ハ又次ノ如ク定義セラル、コトアリ

「如何ナル溫度ニ於テ熱ヲ取捨ガ行ハル、トモ其ノ物質ハ「エントロピー」ヲ増減スルモノナリ」

例ヘバ一物質ガ絶對溫度 T ニ於テ dQ ナル熱ヲ取り入レタル時ハ其ノ物質ハ $\frac{dQ}{T}$ 丈「エントロピー」ヲ増加ス

Fig. 18.



第十八圖ニ示ス「エントロピー」線圖ニ於テ其ノ縱坐標ハ絶對溫度、横坐標ハ或ル標準溫度ヨリ計算シタル「エントロピー」ヲ示スガ故ニ上述ノ定義ニヨリ CD 線下ノ面積ハ或ル物質ガ溫度 T_1 「エントロピー」 $\phi_1 = oe$ ナル状態ヨリ溫度 T_2 「エントロピー」 $\phi_2 = of$ ナル状態ニ變化シタル時其ノ物質ニ加ヘラレタル熱單位

ノ數ヲ示シ同様ニ其ノ物質ガ T_2 ヨリ T_1 ニ變化シタル場合ニハ此ノ面積ハ其ノ物質ヨリ取去ラレタル熱單位ノ數ヲ示ス

(六三) 氣體ノ定壓膨脹ニ於ケル「エントロピー」ノ變化

(Entropy change during constant pressure expansion of Gases)

氣體ノ定壓膨脹又ハ壓縮ノ間ニ於テ出入シタル熱量ハ既ニ述ベタル如ク

$$dQ = wC_p dT$$

又ハ $Q = wC_p(T_2 - T_1)$ ナリ

然ルニ $\phi = \int \frac{dQ}{T}$ ナルヲ以テ定壓比熱 C_p ヲ一定ノモノト假定スレバ

$$\begin{aligned} \text{「エントロピー」ノ變化 } \phi &= wC_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} \\ &= wC_p (\log_e T_2 - \log_e T_1) = wC_p \log_e \frac{T_2}{T_1} \end{aligned}$$

(六四) 定容積變化ニ於ケル氣體ノ「エントロピー」ノ増減

(Entropy changes of Gases at constant volume)

定容積ノ變化ニ於テ氣體ニ熱ヲ出入セシメタル時其ノ熱量ハ

$$dQ = wC_v dT.$$

或ハ $Q = wC_v(T_2 - T_1)$ ナリ

今定容比熱 C_v ヲ一定ト假定スレバ

$$\text{「エントロピー」ノ變化 } \phi = wC_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = wC_v \log_e \frac{T_2}{T_1}.$$

(六五) 氣體ノ等溫變化ノ間ニ於ケル「エントロピー」ノ増減

(Entropy changes during isothermal processes of a Gas)

等溫變化ニ於テハ溫度ハ一定ニ保タル、ガ供給セラル、カ又ハ取り去ラル、熱量ハ爲サレタル仕事ノ熱當量ニ等シキコトハ明ナリ、而シテ此ノ仕事量ハ既ニ知ル如ク

$$wRT \log_e \frac{V_2}{V_1} \text{ ナリ}$$

又此ノ變化ニ於テハ溫度ハ一定ナルガ故

$$\text{「エントロピー」ノ變化 } \phi = \frac{1}{T} wRT \log_e \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{T} wR \log_e \frac{V_2}{V_1}.$$

(六六) 氣體ノ可逆的斷熱變化ニ於ケル「エントロピー」ノ増減

(Entropy changes during reversible adiabatic processes of gases)

斷熱變化ノ間ニ於テハ取捨セラル、熱量ハ零ナリ、從ツテ此ノ變化ノ間ニ於ケル「エントロピー」ノ増減ハ皆無ニシテ不變ナリ、即チ

$$\text{「エントロピー」ノ變化 } \phi = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} = 0$$

此ノ斷熱變化ハ氣體ガ低壓力ヲ有スル器内ニ膨脹スル時ノ如ク可逆ナラザル場合ニ於テモ起リ得ルモノナリ、例ヘバ蒸氣ノ絞作用ノ如シ、此ノ場合ニ於テハ熱ノ出入ナキニ拘ラズ仕事ノ一部又ハ全部ハ再ビ操作物質中ニ熱トシテ出現ス從ツテ此ノ如キ變化ニ於テハ「エントロピー」ハ一定値ヲ有スルコト能ハズ此ノ不可逆斷熱變化ト可逆斷熱變化トヲ區別センガタメ時トシテハ後者ヲ等「エントロピー」變化 (isoentropic process) ト稱スルコトアリ

(六七) 「カーノー、サイクル」ニ於ケル「エントロピー」ノ變化 (Entropy change during a Carnot cycle)

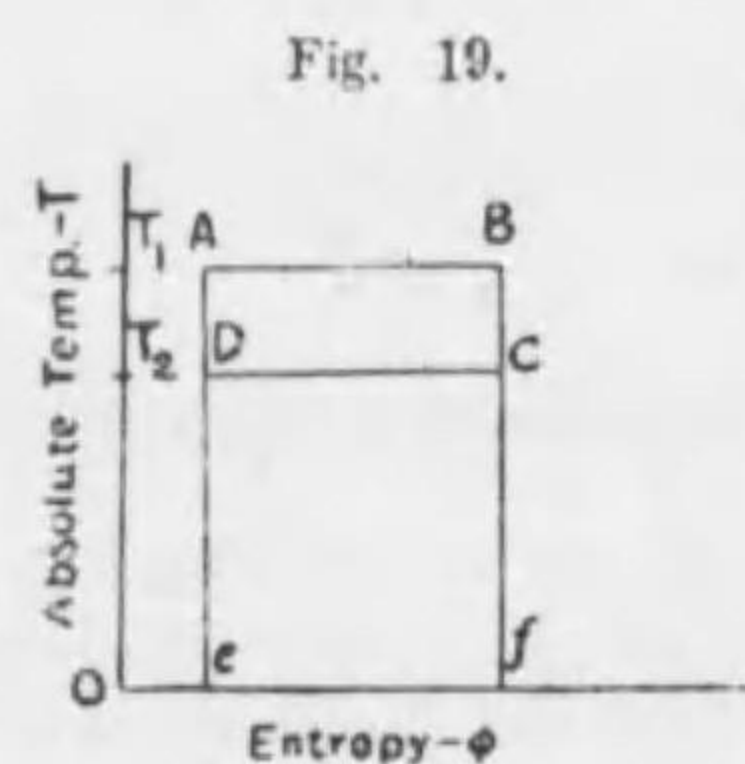


Fig. 19.

Entropy diagram of Carnot Cycle.

操作物質ノ 1「ボンド」ガ最初等温的ニ膨脹セシメラレタリトセヨ、今 T-φ 線圖ニ於テ操作物質ノ最初ノ状態ガ A 點ニ依リテ示サレタリトスレバ等温膨脹變化ハ AB ナル水平線ニヨリテ示サルベシ、此ノ變化ノ間ニ於テハ温度ヲ一定ニ維持センガタメ外部ヨリ熱ノ供給ヲ受クルガ故ニ「エントロピー」ハ oe ヨ

リ of ニ増加ス

B ナル状態ヨリ斷熱膨脹ヲ爲サシムル時ハ其ノ温度ハ T₁ ヨリ T₂ 迄下降スベシ、此ノ變化ノ間ニ於テハ熱ノ出入ナキニヨリ「エントロピー」ハ一定ナレドモ膨脹ノ結果内部「エネルギー」ヲ消費シテ外部仕事ヲ爲スガ故ニ其ノ温度ハ下降スルニ至ルベク而シテ此ノ變化ハ BC ナル垂直線ニヨリテ表示セラル

C ナル状態ヨリ起ル等温壓縮變化ハ CD ナル水平線ニヨリテ示サル、此ノ

變化ニ於テハ壓縮セラル、結果内部ニ熱ヲ發生スルモ此ノ熱ハ外部ニ抽出セラル、ガ故温度ハ一定ニ維持セラレ「エントロピー」ハ of ヨリ oe ニ減少ス

「サイクル」ノ最後ノ變化ハ D ヨリ A ニ至ル斷熱壓縮ナリ

此ノ變化ノ間ニ於テハ熱ノ出入ナキヲ以テ「エントロピー」ハ一定ナレドモ壓縮作用ヲ受クル結果温度ハ T₂ ヨリ T₁ ニ上昇ス

斯クシテ「サイクル」ヲ完結セバ此ノ「サイクル」ヲ爲ス間ニ於テ操作物質ニ供給セラレタル熱量ハ面積 ABfe ニヨリテ示サルベシ

今 A, B, 二點ニ於ケル「エントロピー」ノ値ヲ夫々 φ_e, φ_f トスレバ

$$\text{面積 } ABfe = (\phi_f - \phi_e) T_1 \text{ ナリ}$$

又「サイクル」ノ間ニ於テ操作物質ヨリ抽出セラレタル熱量ハ面積 CDef ニヨリテ示サレ

$$(\phi_f - \phi_e) T_2 = \text{等シ}$$

而シテ「サイクル」ノ間ニ於テ爲サレタル仕事ハ加ヘラレタル熱量ト抽出セラレタル熱量トノ差ナルヲ以テ

$$\text{仕事} = \text{面積 } ABfe - \text{面積 } CDfe$$

$$= \text{面積 } ABCD = (\phi_f - \phi_e) T_1 - (\phi_f - \phi_e) T_2$$

$$= (T_1 - T_2) (\phi_f - \phi_e)$$

$$\text{「サイクル」ノ効率 } E = \frac{\text{面積 } ABCD}{\text{面積 } ABfe}$$

$$= \frac{(T_1 - T_2) (\phi_f - \phi_e)}{T_1 (\phi_f - \phi_e)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

以上ノ研究ニ依リ T-φ 線圖ノ使用ニ關シ知リ得タル重要事項ハ次ノ如シ

(1) 若シ或ル熱變化ガ T-φ 線圖ニ於テ曲線ニヨリ表示セラレタル時ハ此ノ變化ノ間ニ出入シタル熱量ハ曲線下ノ面積ニヨリテ示サル

(2) 熱變化ノ「サイクル」ガ T-φ 線圖ニ於テツノ閉結線ニヨリテ示サレタル時ハ此ノ「サイクル」ノ間ニ於テ爲サレタル仕事ノ正味量ハ此

ノ閉結線=テ圍マレタル面積=等シ即チ此ノ面積ハ仕事=轉換セラレタル
熱量ヲ示スモノナリ

(六八) 水及ビ蒸氣ノ「エントロピー」(Entropy for Water and Steam)

蒸氣ノ溫度「エントロピー」線圖ヲ畫ク=當リテハ先ヅ水及ビ蒸氣ノ「エ
ントロピー」ノ種々ナル値ヲ算出スル方法ヲ知ルコト肝要ナリ

便宜上華氏 32° 即チ絶對溫度ニテ 492°F. =於ケル水ノ「エントロピー」
ヲ零トシ此ノ點ヲ出發點トシテ或ル溫度ノ水及ビ蒸氣ノ「エントロピー」
ノ增量ヲ計算ス

今茲= T_0 即チ 32°F. =於ケル水ノ一聴ヲ採リ之レヲ T_1 迄熱シタル時 h
ナル顯熱ヲ要シタリトセヨ、然ルトキハ水一聴ノ「エントロピー」 ϕ ハ次
式=依リテ求ムルコトヲ得ベシ

$$\phi = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dh}{T}$$

一般=水ノ比熱ハ一トシテ差支ヘナキヲ以テ

$$h = t_1 - 32 = T_1 - T_0$$

$$\therefore dh = dT$$

$$\text{從ツテ } \frac{dh}{T} = \frac{dT}{T} \text{ 即チ } \int \frac{dh}{T} = \int \frac{dT}{T}$$

$$\therefore \phi = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dT}{T} = \log_e T_1 - \log_e T_0 = \log_e \frac{T_1}{T_0}$$

$$= 2.3026 \log_{10} \frac{T_1}{T_0} = 2.3026 \log_{10} \frac{T_1}{492}$$

或ハ熱量ヲバ平均溫度ニテ除ストノ意=依リテ

$$\phi = \frac{h}{\frac{1}{2}(T_1 + 492)} = \frac{T - 492}{\frac{1}{2}(T_1 + 492)}$$

トスルコトアリ

次=或ル壓力=相當スル沸騰點 T_1 =於テ水一聴ヲバ全部氣化セシムル=
ハ其ノ溫度=於ケル氣化熱 L_1 ヲ要スベシ、而シテ此ノ氣化作用中=於テ

ハ溫度ハ終始一定ナルガ故

$$\text{「エントロピー」ノ增量} = \frac{L_1}{T_1} \text{ ナリ}$$

斯クシテ得タル飽和蒸氣ヲバ尙ホ一層熱スル時ハ過熱蒸氣=變ズベシ而シ
テ此ノ加熱作用中=於ケル

$$\text{「エントロピー」ノ增量} = \int_{T_{sat}}^{T_{sup}} C_p \frac{dT}{T} = C_p \log_e \frac{T_{sup}}{T_{sat}}$$

但シ C_p =一定壓力ノ下=於ケル過熱蒸氣ノ平均比熱

$$T_{sup} = \text{過熱蒸氣ノ絶對溫度}$$

$$T_{sat} = \text{飽和蒸氣ノ絶對溫度}$$

(六九) 蒸氣ノ總「エントロピー」(Total entropy of steam)

蒸氣ノ有スル總「エントロピー」ハ其ノ性狀=依リテ差違アリ而シテ 32°F.

ヨリ起算シタル溫度 T_1 =於ケル乾燥飽和蒸氣ノ總「エントロピー」 ϕ_{sat}

ハ水ノ「エントロピー」 ϕ_1 ト飽和蒸氣=變ズル間=於ケル「エントロピー」

ノ增量 $\frac{L_1}{T_1}$ ノ和=等シキガ故=

$$\phi_{sat} = \phi_1 + \frac{L_1}{T_1} = \log_e \frac{T_1}{T_0} + \frac{L_1}{T_1}$$

次= T_1 °ノ濕潤蒸氣=關シテ其ノ性狀ガ x ナル時ハ水一聴ノ内 $x\%$ ノミ
ガ氣化シタル場合ナルガ故

$$\phi_{wet} = \phi_1 + x \frac{L_1}{T_1} = \log_e \frac{T_1}{T_0} + x \frac{L_1}{T_1}$$

凡テノ場合蒸氣ノ乾燥度 x 、飽和溫度 T_1 ガ既知ナレバ此ノ溫度=於ケル蒸
氣ノ氷點ヨリ起算シタル「エントロピー」ノ增量ハ

$$\phi_1 + x \frac{L_1}{T_1}$$

ナル式=依リテ求メ得ベク、又或ル狀態ヨリ他ノ狀態=變ジタル時其ノ
「エントロピー」ノ變化ハ

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

ナル式=依リテ求ムルコトヲ得ベシ

次= T_1 ナル温度=於ケル飽和蒸氣ヲバ同壓力=於テ T_{sup} ナル温度迄過熱スル時ハ其ノ過熱蒸氣ノ總「エントロピー」 ϕ_{sup} ハ次式=依リテ與ヘラル

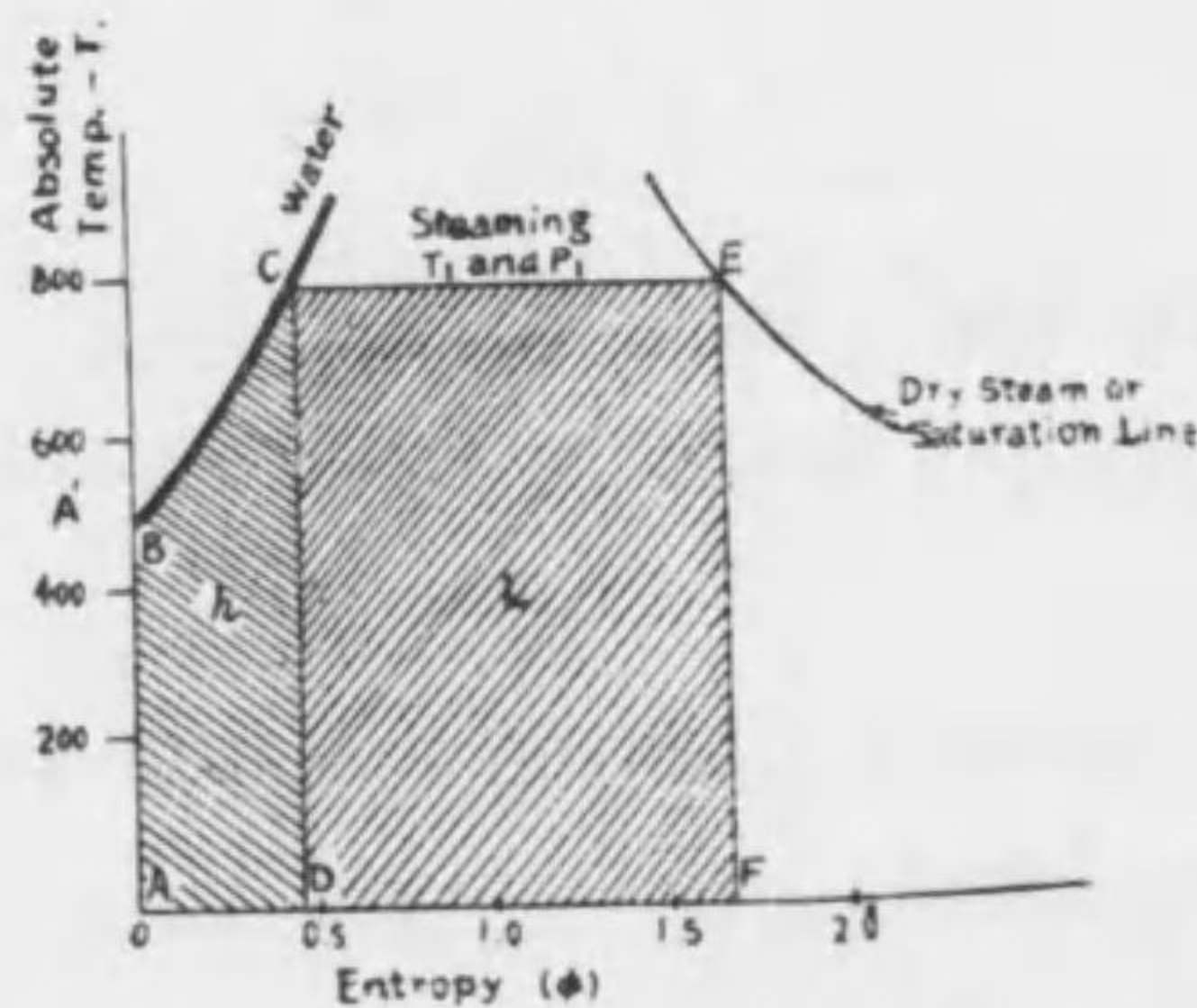
$$\begin{aligned} \phi_{sup} &= \phi_1 + \frac{L_1}{T_1} + \int_{T_{sat}}^{T_{sup}} C_p \frac{dT}{T} \\ &= \log_e \frac{T_1}{T_0} + \frac{L_1}{T_1} + C_p \log_e \frac{T_{sup}}{T_{sat}} \\ &= 2.3026 \left\{ \log_{10} \frac{T_1}{T_0} + C_p \log_{10} \frac{T_{sup}}{T_{sat}} \right\} + \frac{L_1}{T_1} \end{aligned}$$

(七〇) 蒸氣ノ温度「エントロピー」線圖 (Temperature-Entropy diagram of steam)

第二十圖ハ蒸氣ノ温度「エントロピー」線圖ヲ示ス

此ノ線圖=於テ面積 ABCE 32°F. =於ケル水一昕ヲバ P_1 ナル壓力=於テ全部氣化セシムル=必要ナル熱量ヲ示シ面積 ABCD ハ 32°F. ノ水一昕ヲバ氣化作用ノ起ルベキ温度迄高ムル=要セラル、熱量即チ F_1 ナル壓力=於ケル顯熱ヲ示スモノナリ

Fig. 20.



P_1 ナル壓力=於テ其ノ壓力=相當スル温度 T_1 迄水ヲ熱シタル後尙一層加熱スル時ハ其ノ温度=於テ氣化作用ヲ惹起スベシ而シテ此ノ氣化作用ハ線圖上=於ケル CE 線=依リテ表示セラレ此ノ氣化作用中=於テ水=加ヘラレタル熱量即チ潜熱ハ CE 線下ノ面積 DCEF =ヨリテ示サル

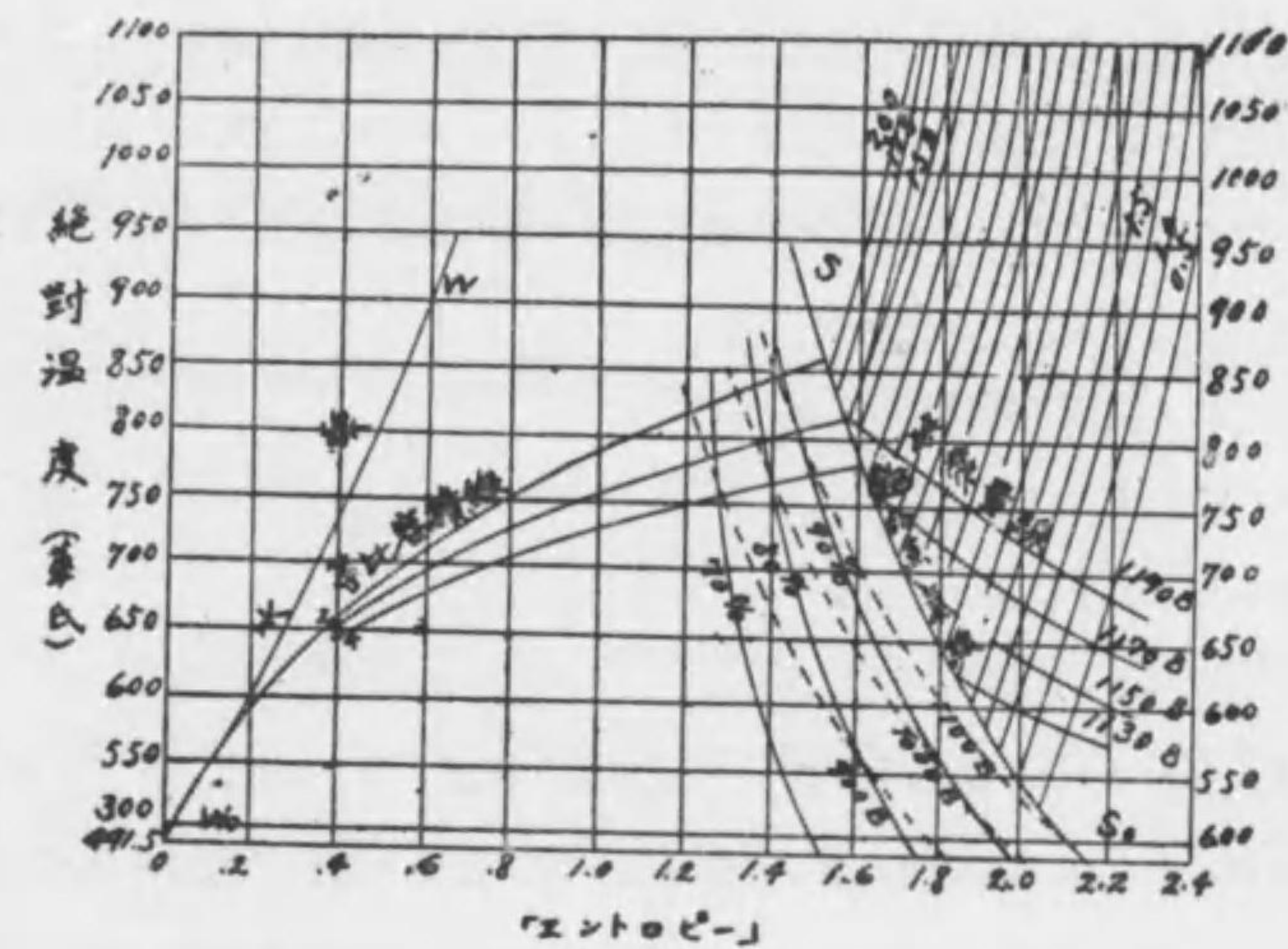
飽和蒸氣=對シ尙ホ更ニ加熱スル時ハ蒸氣ハ過熱セラル、=至ル可ク此ノ際要セラル、熱量ハ過熱線下ノ面積=依ツテ表示セラル

而シテ此ノ線圖上=ハ第二十一圖=示スガ如ク次ノ如キ諸線アリ

(1). 水線 (Water line) W_0W .

各温度=於ケル水ノ「エントロピー」ヲ表ハス點ヲ連結シタルモノニシテ其ノ下端ハ 32°F. 即チ絶對温度 492°F. ノ點ヨリ始マル曲線ナリ

Fig. 21.



(2). 飽和蒸氣線 (Saturation or Dry steam line)

各温度=於ケル飽和蒸氣ノ「エントロピー」ヲ示ス點ヲ連結シタル曲線 SS_0 ナリ

(3). 同一乾度曲線 (Constant quality curve)

蒸氣ノ乾度ガ夫々 90%, 80%.....ノ如キ性狀ヲ示ス點ヲ連結シタル曲線ナリ

(4). 等比容積線 (Constant specific volume curve).

各狀態ニ於ケル比容積ノ等シキ點ヲ連結シタル曲線ナリ

(5). 等壓力曲線 (Constant pressure curve).

適宜ノ間隔ニ於テ一定壓力ノ下ニ蒸氣ヲ過熱シタル時其ノ溫度ト「エントロピー」トヲ示ス點ヲ連結シタル曲線ナリ

(6). 等熱量線 (Constant heat content curve).

32°F. ノ水ヨリ其ノ狀態ニ變ズルタメニ要セラレタル總熱量ノ相等シキ點ヲ連結シタル曲線 9003, 10003, 等ナリ

上述ノ如ク此ノ線圖ニハ種々ナル曲線ヲ畫キアルガ故此ノ線圖ニ依リ任意ノ壓力ニ對スル蒸氣ノ飽和溫度、水ノ「エントロピー」濕潤又ハ過熱狀態ニアル蒸氣ノ「エントロピー」總熱量及ビ比容積等ヲバ直チニ知ルコトヲ得

茲ニ此ノ線圖ノ構成大要ヲ述ベシ

(1). 水線ノ畫キ方

既ニ知ル如ク、水ノ「エントロピー」

$$\theta = \log_e \frac{T}{T_0}$$

ナルヲ以テ T- θ 線圖ニ於テ T ヲ縱坐標トシ此ノ T = 相當スル「エントロピー」 θ ヲ横坐標ニ取り多數ノ點ヲ求メ此等ノ諸點ヲ連結スレバ水線ヲ得、但シ 32°F. ニ於ケル水ノ「エントロピー」ハ零ナルガ故、此ノ曲線ハ絕對溫度 492°F. ヨリ出發ス

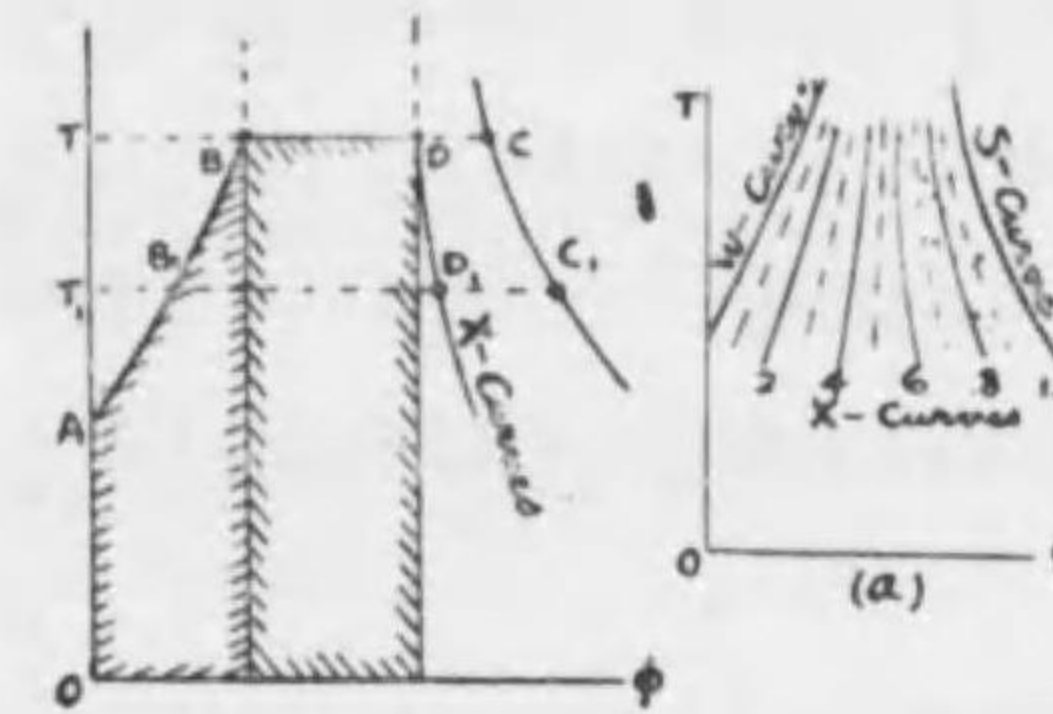
(2). 飽和蒸氣線ノ畫キ方

飽和蒸氣ノ總「エントロピー」

$$\phi_{sat} = \log_e \frac{T}{T_0} + \frac{L}{T}$$

ナルヲ以テ第二十二圖ニ於テ

Fig. 22.



$$TB = \log_e \frac{T}{T_0} \quad BC = \frac{L}{T}$$

トシ C 點ヲ求ムル時ハ此ノ點ハ絕對溫度 T = 於ケル飽和蒸氣ノ狀態ヲ示ス、同様ニ各溫度ニ於テ C 點ニ相當スル諸點 C₁.....ヲ求メ此等ノ諸點ヲ連結スレバ飽和曲線 CC₁ヲ得ベシ

(3). 同一乾度曲線ノ畫キ方

$$\phi_{wet} = \log_e \frac{T}{T_0} + x \frac{L}{T}$$

ナルヲ以テ

$$TB = \log_e \frac{T}{T_0} \quad BD = x \frac{L}{T}$$

トシ或ル絕對溫度 T = 於ケル state point D ヲ求ムベシ、同様ニ各溫度ニ於テ乾度 x ナル state point D₁.....等ヲ求メ此等ノ諸點ヲ連結スレバ x ナル同一乾度曲線ヲ得、而シテ

$$BC = \frac{L}{T} \quad BD = x \frac{L}{T}$$

$$\therefore \frac{BD}{BC} = x$$

即チ飽和曲線ト水線トノ間ヲバ

$$\frac{BD}{BC} = \frac{B_1D_1}{B_1C_1} = \dots\dots\dots = x$$

ナル關係ヲ存スル如ク D, D₁, ……ノ諸點ニ依リテ分割シ此等ノ諸點ヲ連結スレバ任意ノ乾度ヲ示ス所ノ曲線ヲ得

而シテ $x \frac{L_v}{T} \times T = xL_v$ ナルガ故 BD 線下ノ面積ハ溫度 T = 於テ水一聴ノ内 x 「パーセント」丈蒸發セシムルニ要セラル、熱量ヲ示ス

(4). 等比容積線ノ畫キ方

第二十三圖ニ示スガ如ク垂直軸ヲ下方ニ延長シ容積「エントロピー」「クオードラント」ヲ作り原點 o ヨリ下方ニ容積ヲ取ルモノトス

今 B 點ノ直下ニ圖示スル如ク ab ヲ取り溫度 T = 於ケル水一聴ノ容積ヲ表ハサシメ又 c ノ直下ニ其ノ溫度ニ於ケル飽和蒸氣ノ容積ヲ取り c 點ヲ定ム、而シテ後 bc 二點ヲ連結スレバ此ノ直

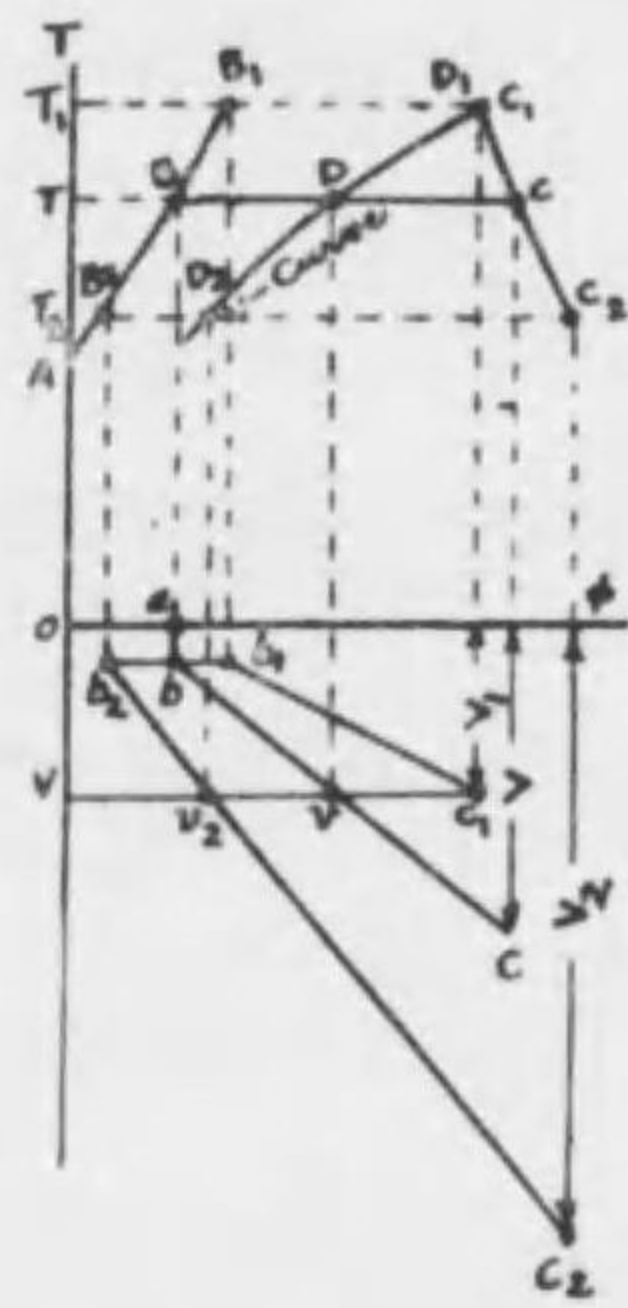
線ハ溫度 T ナル水一聴ノ蒸發作用中ニ於ケル容積ノ增加(垂直距離)及ビ「エントロピー」ノ增加(水平距離)ヲ示ス

同法ニ依リ溫度 T₁ 及ビ T₂ = 對スル直線 b₁c₁ 及ビ b₂c₂ 等ヲ引ク可シ次ニ等容積線 V₁ ヲ引キ b₂c₂, bc, b₁c₁, 等ト v₂v₁ ノ諸點ニ於テ交ハラシメ此等ノ各點ヲバ之レニ相當スル溫度線上ニ移シ T-φ co-ordinate ヲ有スル D₂, D, D₁ ノ如キ諸點ヲ決定セバ此等諸點ノ軌跡ハ等容積曲線ナリ、而シテ此ノ線圖ハ蒸氣一聴ニツキ畫カレアルヲ以テ等比容積曲線ト稱スルコトヲ得ベシ

(5). 等壓力曲線ノ畫キ方

水ガ氣化シ初メテヨリ飽和點ニ達スル迄ハ等壓力曲線ハ等溫變化ヲ示ス所ノ水平線ト一致スレドモ過熱狀態ニ於テハ然ラズ茲ニ過熱範圍内ニ於ケル等壓力曲線ヲ畫カントセバ次ノ方法ニ依ルヲ要ス

Fig. 23.



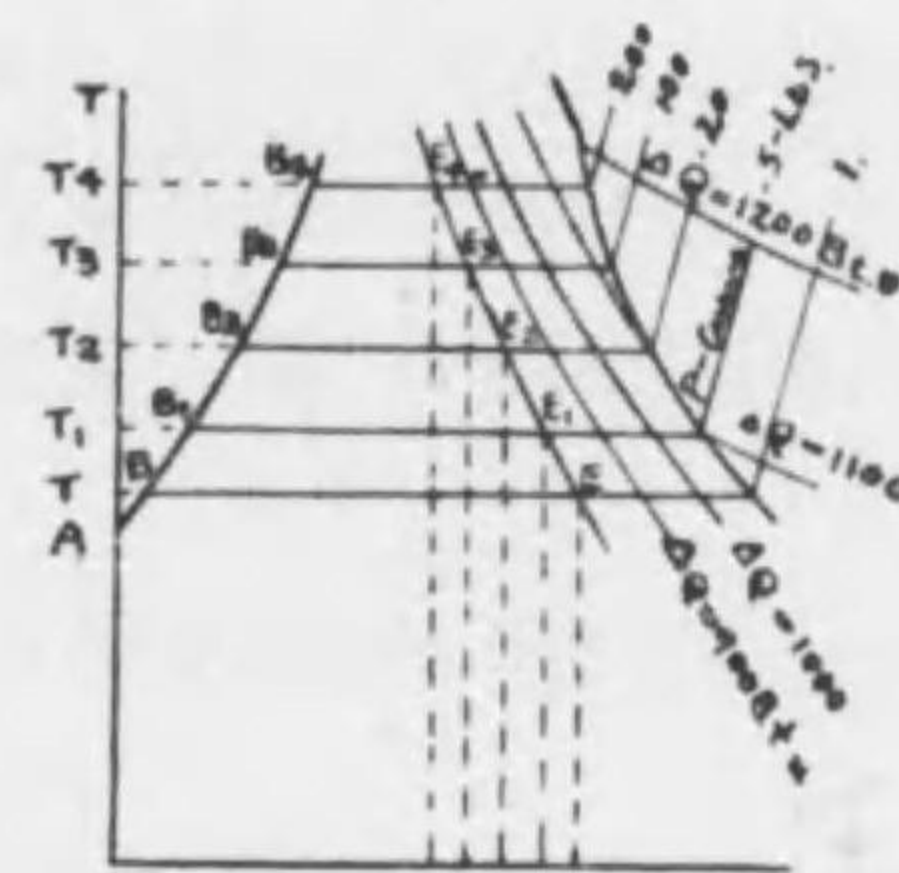
$$\text{即チ } \phi_{sup} = \log_e \frac{T}{T_0} + \frac{L}{T} + C_p \log_e \frac{T_{sup}}{T_{sat}}$$

ナルヲ以テ或ル壓力ニ於テ蒸氣ヲ過熱シタル場合ニハ先ツ

$$C_p \log_e \frac{T_{sup}}{T_{sat}}$$

ヲ算出シ縱坐標トシテ過熱蒸氣ノ絕對溫度 T_{sup} 横坐標トシテ φ_{sup} ヲ取り或壓力ニ對スル數點ヲ求メ之レヲ連結スレバ可ナリ、各壓力ニ對シテ求メタル等壓力曲線ハ第二十四圖上ニ於テ 200, 100, ……5, 1, lbs. ニテ示シアリ而シテ各壓力ニ對スル飽和溫度ハ此ノ曲線ト飽和曲線トノ交點ノ縱坐標ニヨリテ示サル

Fig. 24.



(6). 等熱量曲線ノ畫キ方

濕潤蒸氣ニ對シテハ

$$h + zL = h_1 + z_1L_1 = h_2 + z_2L_2 = \text{constant}$$

ナル如ク各蒸發線上ニ state point ヲ求メ此等ノ諸點ヲ連結スレバ可ナリ第二十四圖ニ於ケル 1000 B.T.U., 900 B.T.U. ノ如キ線是レナリ

過熱範圍ニ於テ此ノ曲線ヲ畫カントセバ次ノ方法ニ依ルベシ

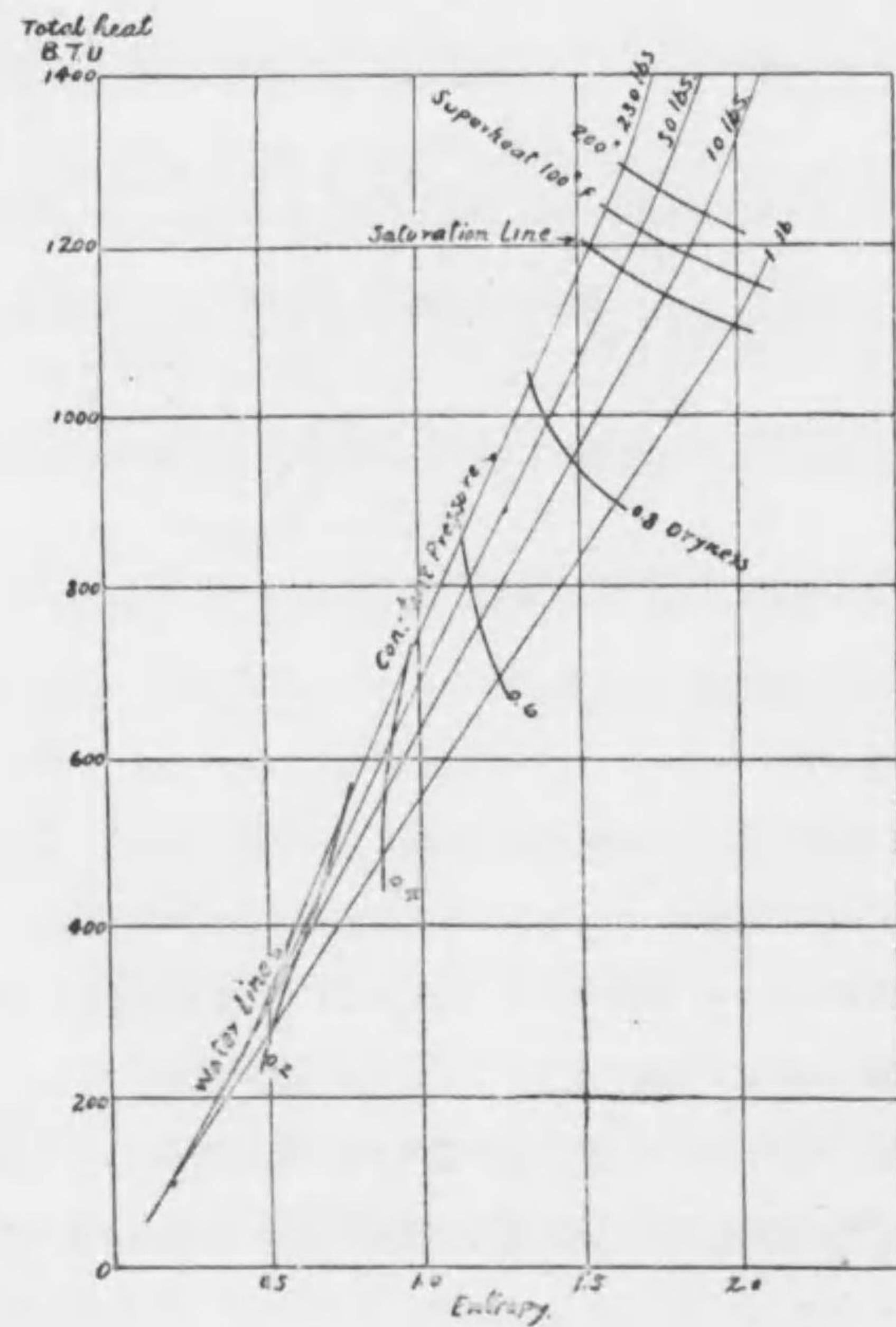
即チ任意ノ壓力ニ於ケル飽和蒸氣ノ有スル總熱量ハ蒸氣表ニ依リ求メ得ラル、ガ故一定ノ熱量ヲ以テ或ル壓力ヲ有スル蒸氣ガ過熱セラル、時ノ上昇溫度 (T_s) ハ

(一定熱量) — (或ル壓力ヲ有スル飽和蒸氣ノ總熱量)
 (其ノ壓力ニ於ケル過熱蒸氣ノ平均比熱)

ニヨリ求ムルコトヲ得ベシ、從ツテ各等壓力曲線上ニ於テ一定熱量ヲ有スル過熱蒸氣ノ state point ヲ求メ得ルガ故此等ノ諸點ヲ連結スレバ過熱範圍ニ於ケル等熱量線ヲ得ラル可シ、圖上ニ於ケル 1200 B.T.U. 1100 B.T.U. ノ如シ

(溫度「エントロピー」線圖参照)

Fig. 25.



(七一) 熱量「エントロピー」線圖、又ハ「モリエル」線圖 (Heat Entropy diagram or Mollier chart)

蒸氣ノ熱變化ヲ研究スルニ當リ T-φ 線圖ハ甚ダ必要ナルモノナレドモ蒸氣ノ種々ナル状態ヲ表示スルカ或ハ仕事量ヲ算出スル場合ニ於テハ「モリエル」博士ノ創製ニ係ル熱量「エントロピー」線圖ヲ使用セバ一層便利ナリ

此ノ線圖ハ 32°F. ヨリ起算シタル或ル蒸氣ノ總熱量ヲ縱坐標ニ取り其ノ間ニ増加シタル「エントロピー」ヲ横坐標ニ取りタルモノニシテ各壓力ニ對シ蒸發線、過熱線ヲ引キ飽和曲線ニ依リテ過熱範圍ト濕潤範圍ヲ區劃シタルコト、及ビ濕潤範圍ニ於テ同一乾度線、過熱範圍ニ於テ等溫度線等ノ畫キアルコトハ T-φ 線圖ト同様ナリ

第二十五圖ハ此ノ線圖ノ略圖ヲ示ス、此ノ線圖ニ於テ水線ト飽和蒸氣線ノ間ニ引カレタル諸定壓力線即チ等溫度線ハ夫々其ノ壓力ニ於ケル蒸發線ヲ示スモノナリ、今此ノ蒸發線上ノ一點ニ於テ之レニ切線ヲ引キ此レガ φ 軸トナス角ヲ θ トスレバ

$$\tan \theta = \frac{dQ}{d\phi} = T.$$

ニシテ其ノ角ノ正切ハ其ノ壓力ニ相當スル絕對溫度ヲ示ス、故ニ氣化作用ノ間ノ如ク定壓力ノ下ニ於テ等溫變化ヲ爲ス時ハ此ノ線ハ直線トナリ其ノ兩端ハ水線及ビ其壓力ニ對スル過熱線ニ切スルモノナリ

此ノ線圖ニ依リ測定シ得ル事項ハ次ノ如シ

- (1). 蒸氣ノ壓力、乾度、熱量。「エントロピー」等ノ如キ状態ヲ表ハス量ノ相互關係
- (2). 「ランキン、サイクル」ノ仕事量及ビ其ノ効率
- (後 述)
- (3). 蒸氣ノ流出速度

(後 述)

練習問題 (六)

- (1) One pound of water is raised in temperature from 60° to 90°F. What is the increase in entropy?
- (2) Dry and saturated steam has a pressure of 100 pounds per sq. in. absolute.
- Calculate the entropy of the liquid.
 - Calculate the entropy of evaporation.
 - Calculate the total entropy of the steam.
- (3) Steam at 150 lbs. per sq. in. absolute has a quality of 0.90.
- What is the entropy of the liquid?
 - What is the entropy of evaporation?
 - What is the total entropy of the steam?
- (4) Steam having a temperature of 300°F. has an entropy of evaporation of 1.1900. What is its quality?
- (5) Steam having a pressure of 200 lbs. per sq. in. absolute has a total entropy of 1.540.
- What is the total entropy of dry and saturated steam under the given pressure?
 - Is the steam wet or dry?
 - What is the quality?
- (6) A boiler generates steam of 0.90 quality at a temperature of 350°F. with the feed water admitted at 90°F.

What is the increase in entropy?

- (7) What is the entropy of steam 92 per cent dry at a pressure of 15 lbs. per sq. in. absolute?
- (8) With a quality of 0.90, what is the entropy of evaporation of steam at a pressure of 25 lbs. per sq. in. absolute?
- (9) What is the total entropy of steam 94 per cent dry at a pressure of 100 lbs. per sq. in. absolute?

第七章 蒸發氣ノ膨脹及ヒ壓縮

(Expansion and Compression of Vapors).

(七二) 蒸發氣ノ熱變化ニ關シ適用シ得ル一般公式 (The General equation for the heat changes of Vapors)

蒸發氣ハ氣體ト同様ニ膨脹又ハ壓縮セシメ得ルモノナレドモ其ノ熱力學的
關係ヲ支配スル所ノ法則ハ極メテ複雑ナリ

蒸發氣ノ熱變化ヲ研究スルニ當リテハ外部仕事ヲ爲スタメニ要セラル、熱
量及ビ其ノ物質ノ溫度ニ變化ヲ生ゼシムルタメニ要セラル、熱量ノ外向ホ
物質其ノ物ノ状態ヲ變ゼシムルタメニ要セラル、熱量ヲ考慮スルノ必要ア
リ

一般ニ膨脹或ハ壓縮作用ノ間ニ於テ其ノ物質ニ對シ熱ヲ出入セシメタル時
ノ影響ヲ示ス方程式

$$dQ = dI + dW$$

$$\text{或ハ } Q = \int_{I_1}^{I_2} dI + \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

ハ氣體ト同様ニ蒸發氣ニ對シテモ適用スルコトヲ得

上式ニ於ケル外部仕事 $\int_{V_1}^{V_2} PdV$ ハ氣體ノ場合ト同様ニ膨脹又ハ壓縮曲線
下ノ面積ニヨリテ求メ得ルモノニシテ作働媒體 (working medium) ノ種類
ニハ無關係ナリ

次ニ又蒸發氣ノ膨脹或ハ壓縮作用中ニ於テ起ル内部「エネルギー」ノ増減
ハ熱變化ノ前後ニ於ケル其ノ差ニヨリテ求ムルコトヲ得、蒸氣表ニ示シア
ル内部「エネルギー」ノ値ハ 32°F. ナル標準溫度ヨリ計量シタルモノナル
ガ故膨脹又ハ壓縮作用ノ前後ニ於ケル内部「エネルギー」ヲ表ニヨリテ
求メ其ノ差ヲ算出セバ是レ即チ或ル變化ノ間ニ起リタル内部「エネルギー」
ノ増減量ヲ示スモノナリ

而シテ次ニ示ス方程式ハ如何ナル蒸發氣ニモ適用シ得ル一般公式ナリ

(加ヘラレタル熱) = (膨脹或ハ壓縮作用ノ終リニ於ケル内部「エネルギー」)

− (膨脹或ハ壓縮作用ノ初メニ於ケル内部「エネルギー」) + (爲サレタル外
部仕事ノ熱當量)

式ニテ示ス時ハ

$$Q = (I_2 - I_1) + W$$

次ノ諸問題ハ各種ノ膨脹作用ニ於ケル上記一般公式ノ適用例ヲ示ス

(1). 定容積ニ於ケル濕潤蒸氣ノ膨脹

(Expansion of wet steam at constant volume).

絕對壓力每平方吋 15 听ノ壓力ヲ有スル蒸氣一听アリ其ノ乾燥度ハ 50「パ
ーセント」ナリ、今容積ヲ一定ニ保チ熱ヲ加ヘ其ノ絕對壓力ヲバ每平方吋
30 听迄高メタリトセヨ

然ラバ (a) 加熱後ニ於ケル蒸氣ノ容積

(b) 蒸氣ノ性状 (c) 仕事量

(d) 加ヘラレタル熱量

如何

解. (a). 加熱ノ前後ニ於テ其ノ容積ハ不變ナルガ故

最終容積 $= xV_{sat} = 0.5 \times 26.27 = 13.13$ 立方呎

(b). 蒸氣表ニ依レバ絕對壓力每平方吋 30 听ノ壓力ニ於ケル乾燥飽和
蒸氣ノ比容積ハ 13.74 立方呎ナリ、然ルニ此ノ問題ニ於テ算出シタル蒸氣
ノ實際容積ハ飽和蒸氣ノ容積ヨリ小ナルガ故濕潤状態ニ在ルヤ明カナリ、
而シテ其ノ性状ハ

$xV_{sat} = V_2$ ナル關係式ニ依リテ次ノ如ク求ムルコトヲ得

$$\text{即チ } x = \frac{V_2}{V_{sat}} = \frac{13.13}{26.27} = 0.955 \text{ or } 95.5\%$$

(c). 容積一定ナルガ故ニ

$$W=0$$

(d). 加ヘラレタル熱 $Q=I_2-I_1+W=I_2-I_1$.

$$\begin{aligned} \text{而シテ } I_2 &= h_2 + x_2 \left\{ L_2 - \frac{P_2(V_2 - v_2)}{778} \right\} = h_2 + x_2 \rho_2 \\ &= 218.8 + 0.955 \times 869.0 = 1048.7 \text{ B.T.U.} \end{aligned}$$

但シ上式ニ於ケル h_2 及ビ ρ_2 ハ絶対壓力毎平方吋 30 听ノ壓力ニ於ケル
顯熱及ビ内部潜熱ヲ示ス

$$\text{次ニ } I_1 = h_1 + x_1 \rho_1 = 181 + 0.5 \times 896.8 = 629.4 \text{ B.T.U.}$$

$$\therefore Q = 1048.7 - 629.4 = 419.3 \text{ B.T.U.}$$

(2). 定容積ニ於ケル過熱蒸氣ノ膨脹

(Expansion of superheated steam at constant volume).

50°F. 過熱セラレタル絶対壓力毎平方吋 130 听ノ蒸氣 1 听アリ今此ノ過
熱蒸氣ヲバ定容積ノ下ニ於テ絶対壓力毎平方吋 180 听ノ壓力ニ高マル迄熱
シタリトセヨ

然ラバ (a). 蒸氣ノ最終性状

(b). 供給セラレタル熱量

如何

解.

(a) 過熱蒸氣表ニ依リ蒸氣ノ最初容積ハ 3.74 立方呎ナルコトヲ知リ
得ベシ、而シテ蒸氣ハ定容積ニ於テ熱セラレタルガ故其ノ最終容積モ亦
3.74 立方呎ナリ、依リテ表ニヨリ 300°F. 丈ケ過熱セラレタル状態ニアル
コトヲ知リ得ベシ

(b). 加ヘラレタル熱 $Q=I_2-I_1+W=I_2-I_1$

内部「エネルギー」ノ値ハ過熱蒸氣表ニ依リ求ムルコト能ハザルガ故之レ
ヲ算出セザル可カラズ

茲ニ H_{sup} = 過熱蒸氣表ニテ求メラレタル過熱蒸氣ノ總熱量

P = 毎平方呎ニツキ听ニテ計リタル絶対壓力

V_{sup} = 立方呎ニテ計リタル過熱蒸氣一听ノ容積

トスレバ、既ニ知ル如ク

$$I_H = I_s - \frac{P \times V_{sup}}{778}$$

此ノ公式ヲバ此ノ問題ニ適用スレバ

$$\begin{aligned} I_2 &= \left(1353.9 - \frac{180 \times 144 \times 3.74}{778} \right) \\ &= 1353.9 - 124.6 = 1229.3 \text{ B.T.U.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \left(1219.7 - \frac{130 \times 144 \times 3.74}{778} \right) \\ &= 1219.7 - 89.5 = 1130.2 \text{ B.T.U.} \end{aligned}$$

$$\therefore Q = 1229.3 - 1130.2 = 99.1 \text{ B.T.U.}$$

(3). 定壓力ノ下ニ於ケル膨脹

(Expansion at constant pressure).

容積 1.506 立方呎ニシテ絶対壓力毎平方吋ニツキ 150 听ナル蒸氣 1 听ア
リ、一定壓力ノ下ニ於テ乾燥飽和状態トナル迄膨脹シタリトセヨ

然ラバ (a). 最初ノ状態ニ於ケル性状

(b). 最終状態ニ於ケル蒸氣ノ容積

(c). 膨脹ノ間ニ於テ爲サレタル仕事量

(d). 膨脹ニ際シ要セラレタル熱量

如何

解. (a). 絶対壓力毎平方吋ニツキ 150 听ヲ有スル乾燥飽和蒸氣ノ比容積
ハ 3.012 立方呎ナリ

依リテ $xV_{sat} = V_{wet}$ ナル式ニヨリ

$$x = \frac{1.506}{3.012} = 0.50 = 50\%$$

(b). 題意ノ如ク蒸氣ハ乾燥飽和状態ニアルガ故ニ其ノ容積ハ 3.012
立方呎ナリ

(c). 仕事 $W = P_1(V_2 - V_1)$

$$= 150 \times 144(3.012 - 1.506) = 32530 \text{ 呎呎}$$

(d). 定壓膨脹及圧縮作用ノ間ニ於ケル所要熱量並ニ仕事量ヲ算出

スルニハ種々ナル方法アリ

第一法 $Q = I_2 - I_1 + W$ ナル公式ヲ適用ス

而シテ $I_2 = h_2 + x_2 p_2$

$$= 330.2 + 1 \times 780.4 = 1110.6 \text{ B.T.U.}$$

$$I_1 = h_1 + x_1 p_1$$

$$= 330.2 + 0.5 \times 780.4 = 720.4 \text{ B.T.U.}$$

次ニ膨脹中ニ爲サレタル外部仕事ノ熱當量

$$W = \frac{P_1(V_2 - V_1)}{778} = \frac{150 \times 144(3.012 - 0.5 \times 3.012)}{778} = 41.8 \text{ B.T.U.}$$

$$\therefore Q = 1110.6 - 720.4 + 41.8 = 432.0 \text{ B.T.U.}$$

第二法 定壓力ノ下ニ於ケル膨脹ニ際シ要セラル、熱量ハ直接次式ニ依リ

テ算出スルコトヲ得ベシ

$$Q = (x_2 - x_1)L$$

式中 x_1, x_2 ハ膨脹前後ニ於ケル蒸氣ノ性狀ヲ示シ L ハ與ヘラレタル壓力ニ

於ケル乾燥飽和蒸氣ノ潜熱ヲ示スモノナリ

此ノ問題ニ於テハ

$$Q = (1 - 0.5) \times 863.2 = 431.6 \text{ B.T.U.}$$

第三法

茲ニ H_1, H_2 ヲ以テ 32°F. ヨリ起算シタル最初及ビ最終状態ニ於ケル蒸氣ノ有スル總熱量ヲ表ハサシムル時ハ定壓力膨脹ノ間ニ於テ供給セラレタル熱

$$Q = H_2 - H_1 \text{ ナル可シ}$$

而シテ此ノ問題ニ於テハ

$$H_2 = 330.2 + 1.0 \times 863.2$$

$$H_1 = 330.2 + 0.5 \times 863.2$$

$$\therefore Q = (330.2 + 1.0 \times 863.2) - (330.2 + 0.5 \times 863.2) = 431.6 \text{ B.T.U.}$$

(七三) 蒸氣ノ等溫線 (Isothermal line for steam)

例ヘバ作働セル汽機ニ蒸氣ヲ供給シツ、汽罐内ニテ水ヲバ蒸氣ニ變ゼシム

ル場合ノ如ク蒸氣ノ膨脹作用ガ一定壓力ノ下ニ於テ起リタル時ハ溫度モ亦

終始不變ナルガ故等溫膨脹ト考フルコトヲ得ベシ、即チ濕潤蒸氣ノ等溫線

ハ或ル均一壓力ヲ示ス所ノ直線ナリ從ツテ壓力容積線圖上ニ於テハ此ノ等

溫線ハ横軸ニ平行ナル水平線ニヨリテ表示セラル、然レドモ蒸氣ガ過熱セ

ラル、時ハ容積ノ増加ニ際シ其ノ壓力ハ減少スルモノニシテ甚ダシク高溫度

ニ過熱セラレタル蒸氣ニ對シテハ此ノ等溫曲線ハ略ボ直角双曲線ト一致

ス、又 $T-\phi$ 線圖上ニ於テハ此ノ等溫線ハ ϕ 軸ニ平行ナル均一溫度線ニヨ

リテ表ハサル

(七四) 蒸氣ノ斷熱線 (Adiabatic lines for Steam)

此線ハ其ノ曲率 (curvature) ヲバ使用セラル、物質ニ依リテ異ニスルモノ

ナリ、即チ斷熱膨脹及ビ壓縮變化ヲ示ス方程式

$$PV^\gamma = \text{constant}$$

ノ式ニ於テ指數 γ ノ値ハ種々ナル氣體ニ依ツテ差違アルコトハ既ニ述ベ

タルガ如シ故ニ種々ナル氣體ニ對スル斷熱線ハ異ナル曲率ヲ有スルコトハ

明カナリ同様ニ蒸氣ノ斷熱線ノ曲率モ亦其ノ性狀ニ依ツテ差違アリ

最初乾燥又ハ濕潤状態ニアル蒸氣ヲバ斷熱的ニ膨脹セシメタル時ハ濕潤状

態トナルカ又ハ一層濕氣ヲ含有スルニ至ルベシ、勿論其ノ内ニ存在スル水

分ハ膨脹ノ程度ニ依ツテ差違アリ但シ最初ヨリ甚ダシキ濕潤状態ニアル蒸

氣ヲバ斷熱的ニ膨脹セシメタル場合ニ於テハ $T-\phi$ 線圖上ニ於テ明ナル如

ク幾分乾燥スル傾向ヲ有ス、而シテ此ノ斷熱線ハ T-φ 線圖上ニ於テハ T 軸ニ平行ナル一定「エントロピー」線ニ依ツテ示サル
 一般ニ如何ナル膨脹作用ニ於テモ仕事ヲ爲シツ、アル間ニ於テ蒸氣ヲシテ最初ノ状態ト同一ノ乾度ヲ有セシメンニハ必ず或ル熱ヲ外部ヨリ供給スルノ必要アリ、故ニ若シ膨脹作用ガ斷熱的ナル場合ナレバ熱ノ供給無キヲ以テ蒸氣ノ一部分ハ復水シ水滴トナルカ若シクハ密閉器ノ内面ニ露狀トナリ復水スルヲ見ルナラン、然レドモ壓力ト溫度トノ相互關係ハ蒸氣ガ最初乾燥飽和状態ニアルカ又ハ濕潤状態ニアルニセヨ蒸氣表ニ與ヘラレアル如ク膨脹作用中ヲ通ジテ維持セラル、モノナリ

(七五) 蒸氣ノ斷熱曲線 (Adiabatic curve for Steam).

蒸氣ガ最初、乾燥又ハ濕潤状態ニアルニセヨ其ノ斷熱曲線ハ

$$\text{一般ニ } PV^n = \text{constant}$$

ナル式ニ依リテ示サレ式中ニアル指數 n ノ値ハ蒸氣ノ最初ノ乾燥度ニ依ツテ決定セラル「ゾイネル」氏ノ定メタル n ノ値ハ

$$n = 1.035 + \frac{x}{10}$$

ニシテ x ハ蒸氣ノ性狀ヲ示ス、依リテ蒸氣ガ最初乾燥状態ニアル場合ナレバ $x=1$ 、ナルヲ以テ $n=1.135$ ナリ又 $x=0.75$ ナル時ハ $n=1.11$ ナリ「ランキン」氏ハ $n=\frac{10}{9}$ ト定メタレドモ蒸氣ガ乾燥飽和状態附近ニアル時ハ其ノ値ハ小ニ過グルモノニシテ寧ロ $x=0.75$ ノ状態ニアル場合ニ於テ此ノ値ヲ適用スルヲ至當トス

實際ノ蒸氣機關ニ依リテハ蒸氣ノ膨脹中熱ハ蒸氣ト筒及ビ吸鑄トノ相互間ニ於テ終始移行スルヲ以テ其ノ膨脹作用ハ決シテ斷熱的ナラザルコトヲ注意スルヲ要ス

斷熱膨脹ノ間ニ於テ爲サル、仕事ハ「ゾイネル」氏ノ關係式ニ依リテ定メラレタル n ノ値ヲ適用シ計算シ得レドモ普通ニ採用セラル、方法ハ次ノ

如シ

即チ斷熱變化ノ間ニ於テハ操作物質ニ對シ熱ノ出入ナキヲ以テ加熱ノ一般方程式

$$Q = I_2 - I_1 + W = 0$$

$$\therefore W = I_1 - I_2$$

上式ニ依リテ見ル如ク斷熱變化ノ間ニ於テ爲サル、仕事 W ハ其ノ變化ノ初メ及ビ終リニ於ケル内部「エネルギー」ノ差ニ依ツテ決定スルコトヲ得而シテ此ノ内部「エネルギー」ヲ求メントセバ勿論蒸氣ノ性狀ヲ知ルコト必要ナレドモ此性狀ハ「エントロピー」ノ比較ニ依リテ見出スコトヲ得

(七六) 斷熱膨脹中ニ於ケル蒸氣ノ性狀 (Quality of Steam during Adiabatic expansion).

斷熱膨脹ニ於テハ操作物質ニ對シ熱ノ出入ナキヲ以テ「エントロピー」ハ不變ナリ、故ニ T-φ 線圖上ニ於テハ此ノ斷熱膨脹ハ T 軸ニ平行ナル垂直線ニ依リテ表示セラル

今茲ニ

x = 蒸氣ノ性狀或ハ乾度

ϕ = 性狀 x ナル濕潤蒸氣ノ有スル總「エントロピー」

ϕ_0 = 水ノ「エントロピー」

トスレバ $\phi = \phi_0 + x \frac{I}{T}$ ナル關係アリ

依リテ濕潤蒸氣ノ斷熱膨脹前後ニ於ケル「エントロピー」ヲバ夫々 ϕ_1, ϕ_2 ヲ以テ示ス時ハ

$$\phi_1 = \phi_0 + x_1 \frac{I_1}{T_1}$$

$$\phi_2 = \phi_0 + x_2 \frac{I_2}{T_2}$$

ナリ、而シテ斷熱膨脹前後ニ於テハ「エントロピー」ニ變化ナキヲ以テ

$$\phi_1 = \phi_2$$

$$\text{即チ } \theta_1 + x_1 \frac{I_1}{T_1} = \theta_2 + x_2 \frac{I_2}{T_2}$$

上記ノ關係式=依リ蒸氣ノ最初ノ性狀 x_1 ヲ知レバ斷熱膨脹中ノ或ル時機

=於ケル蒸氣ノ性狀 x_2 ハ次式=依リテ容易ニ求ムルコトヲ得

$$x_2 = (\theta_1 + x_1 \frac{I_1}{T_1} - \theta_2) \times \frac{T_2}{I_2}$$

例. 絶對壓力每平方吋=付 100 听ナル乾燥飽和蒸氣アリ、今此レヲ絶對壓力

17 听迄斷熱的ニ膨脹セシメタル時ハ膨脹後ニ於ケル性狀如何

解. 100 听ノ壓力ヲ有スル飽和蒸氣ノ總「エントロピー」ハ蒸氣表ニヨリ

テ 1.6020 ナルコトヲ知ル

$$\text{即チ } \phi_1 = 1.6020$$

次ニ又 17 听ノ絶對壓力ニ於ケル

$$\text{水ノ「エントロピー」 } \theta_2 = 0.3229$$

$$\text{蒸發作用中ニ於ケル「エントロピー」ノ増加 } \frac{I_2}{T_2} = 1.4215$$

依ツテ上記ノ關係式ヲ適用シ

$$1.6020 = 0.3229 + x_2 \times 1.4215$$

$$\therefore x_2 = 0.899 \text{ or } 89.9\%$$

此ノ問題ハ又熱量「エントロピー」線圖ニ依リテ容易ニ解クコトヲ得、其

ノ方法ハ次ニ述ブルガ如シ

先ヅ 100 ノ壓力線ト飽和線トノ交點ヨリ垂直線ヲ引ク可シ然ル時ハ此ノ線

ハ 1.602 ナル一定ノ「エントロピー」ヲ有スル斷熱膨脹ヲ示ス、次ニ此ノ

垂直線ト 17 听ノ壓力線トノ交點ヲ求メ此ノ交點ガ幾許ノ乾度線上ニアル

カヲ見出セバ膨脹後ニ於ケル蒸氣ノ性狀ヲ決定シ得ベシ

例. 絶對壓力每平方吋ニツキ 100 听ノ壓力ニ於テ 0.95 ノ性狀ヲ有スル蒸

氣 1 听アリ今此ノ蒸氣ヲバ絶對壓力每平方吋ニツキ 15 听迄斷熱的ニ

膨脹セシメタリトセヨ、然ル時ハ

(1) 最終狀態ニ於ケル蒸氣ノ性狀

(2) 膨脹中ニ於テ爲サレタル仕事量

如何

解. (1). 最初ノ狀態ニ於ケル總「エントロピー」ヲ求ムレバ

$$\theta_1 + x_1 \frac{I_1}{T_1} = 0.4743 + 0.95 \times 1.1277 = 1.5456$$

次ニ斷熱膨脹後ニ於ケル總「エントロピー」ヲ算出スレバ

$$\theta_2 + x_2 \frac{I_2}{T_2} = 0.3133 + x_2 \times 1.4416$$

斷熱膨脹ノ前後ニ於ケル「エントロピー」ハ互ニ相等シキガ故

$$0.3133 + x_2 \times 1.4416 = 1.5456$$

$$\therefore x_2 = 0.854$$

(2). 斷熱膨脹ニ於テハ熱ノ出入ナキヲ以テ爲サレタル仕事ハ内部「エ

ネルギー」ノ減少量ニ等シ

茲ニ膨脹後ニ於ケル内部「エネルギー」ヲ求ムレバ

$$h_2 + x_2 p_2 = 181 + 0.854 \times 896.8 = 946.9 \text{ B.T.U.}$$

又 最初ノ狀態ニ於「エネルギー」ハ

$$h_1 + x_1 p_1 = 298.3 + 0.95 \times 806.6 = 1064.6 \text{ B.T.U.}$$

故ニ 爲サレタル仕事 $W = I_1 - I_2 = 1064.6 - 946.9$

$$= 117.7 \text{ B.T.U. 又ハ } 91,576 \text{ foot-pounds.}$$

(七七) 蒸氣ノ「ポリトロピック、エキスパンション」($n=1$) (Polytropic expansion of Steam)

例. 絶對壓力每平方吋 100 听ノ壓力ニ於テ 0.95 ノ性狀ヲ有スル蒸氣 1 听

アリ、 $n=1$ ナル曲線ニ沿ヒ絶對壓力每平方吋 20 听迄膨脹セシメタリ

然ラバ膨脹後ニ於ケル蒸氣ノ性狀如何

解. 最初ノ狀態ニ於ケル蒸氣ノ容積ハ $x \times V_{\text{sat}}$ ナリ

$$\text{即チ } x \times V_{\text{sat}} = 0.95 \times 4.429 = 4.207 \text{ 立方呎}$$

次ニ $P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$ ノ方程式ニ於テ $n=1$ ナルヲ以テ

$$100 \times 4.207 = 20 \times V_2$$

$$\therefore V_2 = 21.035 \text{ 立方呎}$$

然ルニ絶對壓力毎平方吋 20 听ノ壓力ニ於ケル乾燥飽和蒸氣ノ容積ハ 20.08 立方呎ナルヲ以テ膨脹後ニ於ケル蒸氣ハ過熱セラレアルコトヲ知り得ベシ

(七八) 「スロットリング、カロリメーター」及ビ熱量「エントロピー」線圖ニ依ル蒸氣ノ性狀ノ圖解ノ決定法 (Graphical Determination of Quality of Steam by Throttling calorimeter and Total Heat-entropy Diagram).

既ニ述ベタル如ク「スロットリング、カロリメーター」トハ蒸氣ヲバ何等外部仕事ヲ爲サシメズシテ膨脹セシメ其ノ前後ニ於テ有スル總熱量ノ等シキ點ヲ利用シテ膨脹後ニ於ケル蒸氣ヲ過熱セシメ其ノ溫度ヲ計測シテ蒸氣ノ最初ノ性狀ヲ決定スル器具ナリ

例ヘバ絶對壓力毎平方吋 150 听ノ蒸氣ヲバ「カロリメーター」内ニ送給シ絞作用ニ依リ其ノ壓力ヲバ絶對壓力 17 听迄下降セシメタル時計測溫度 240°F. ナリシトセヨ、然ル時ハ絶對壓力 17 听ニ相當スル飽和溫度ハ 219.4°ナルガ故「カロリメーター」内ノ蒸氣ハ 240°-219.4° 即チ 20.6°F. 丈ケ過熱セラレアリ

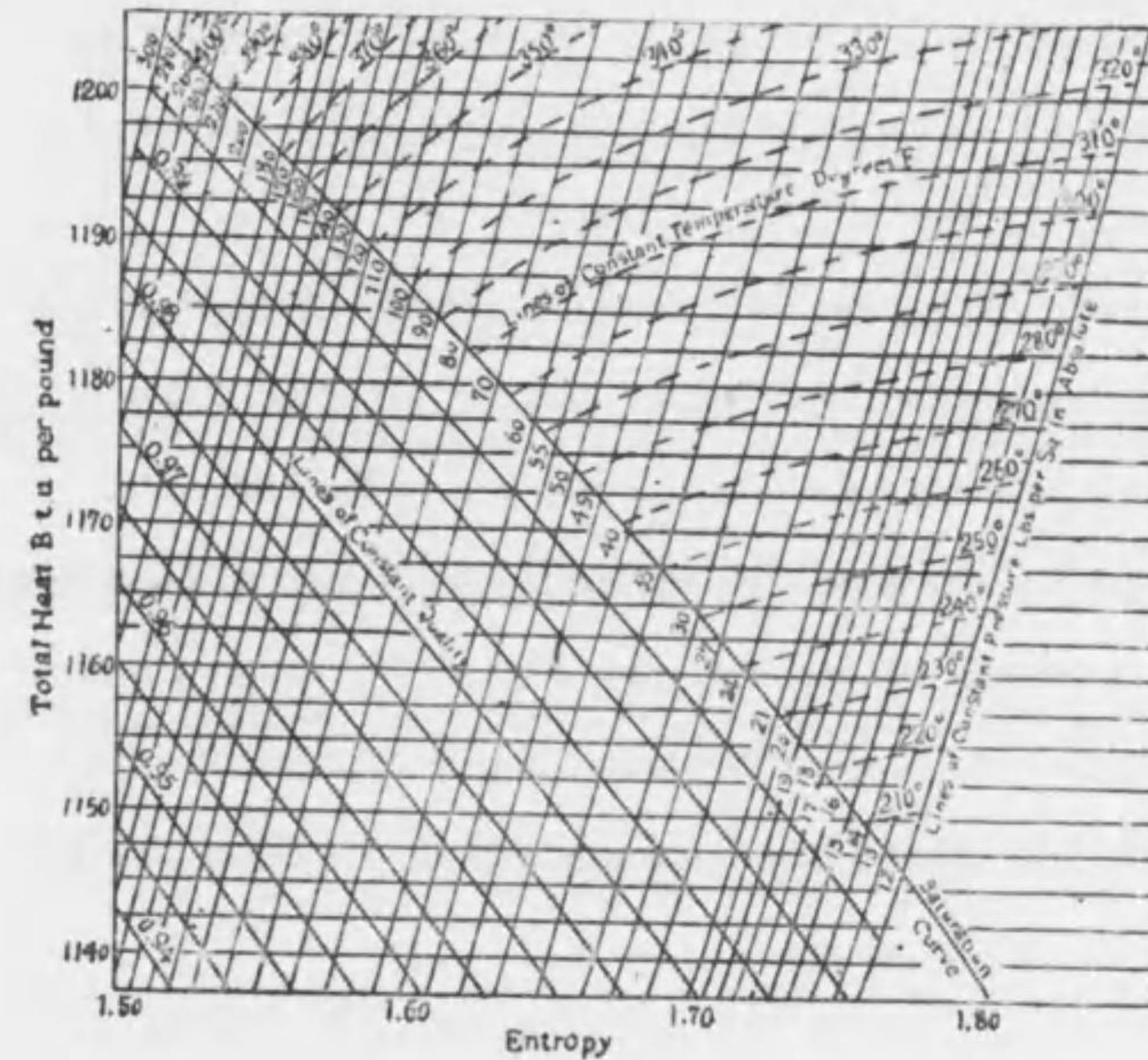
茲ニ於テ「モリエル」線圖ヲ使用シ最初「カロリメーター」ニ供給セラレタル蒸氣ノ性狀ヲ知ラントセバ次ノ方法ニ依ル可シ(「モリエル」線圖或ハ第二十六圖何レニ依ルモ可ナリ)

- (1). 先ヅ 20.6°ノ過熱線或ハ 240°ノ等溫度線ト 17 听ノ壓力線トノ交點ヲ求メヨ
- (2). 此ノ交點ヨリ等熱量ヲ示ス所ノ水平線ヲバ左方ニ見テ 150 听ノ壓力線トノ交點ヲ見出スベシ
- (3). 次ニ此ノ交點ガ幾許ノ乾度線上ニ存在スルヲ見レバ蒸氣ノ最初

ノ性狀ハ 0.965 ナルコトヲ知り得ベシ

若シ「カロリメーター」ノ部ニ於テ説明シタル公式

Fig. 26.



$$x_1 = \frac{H_2 + 0.47(t_c - t_2) - h_1}{L_1}$$

ヲ適用スレバ

$$x_1 = \frac{1153 + 0.47(240 - 219.4) - 830.2}{863.2} = 0.965$$

ナリ

練習問題 (七)

- (1) Dry saturated steam at 100 lbs. per sq. in. absolute pressure contained in a closed tank is cooled until its pressure drops to 15 lbs. per sq. in. absolute. What is the final quality

and the heat removed from each pound of steam.?

(2) One pound of steam at 15 lbs. per sq. in. absolute has a volume of 12.36 cu. ft. It is heated under constant volume until the pressure becomes 50 lbs. per sq. in. absolute.

(a) What is the quality before and after the heating.?

(b) How much heat was supplied.?

(3) Prove that for a constant pressure expansion the heat supplied equals the difference between the total heats of the vapor at the beginning and at the end of the expansion.

(4) One pound of steam at 100 lbs. per sq. in. absolute pressure and 50 per cent dry expands at constant pressure. What work is done and what heat is required to double the volume. What is the temperature at the beginning and at the end of the expansion.?

(5) One pound of steam at a pressure of 100 lbs. per sq. in. absolute and 50 per cent dry is expanded isothermally until it is dry and saturated. Find the heat supplied and the work done.

(6) If steam at 200 lbs. per sq. in. absolute, 95 per cent dry, is caused to expand adiabatically to 228°F., what are the properties of this steam at the lower point. (That is, final total entropy, entropy of evaporation, quality and volume.)

(7) Steam having a quality of 0.20 dry is compressed along

an adiabatic curve from a pressure of 20 lbs. per sq. in. absolute to a pressure corresponding to a temperature of 293°F. What is the final quality.?

(8) Determine the final quality of the steam and find the quantity of work performed by 2 lbs. of steam in expanding adiabatically from 250 lbs. per sq. in. absolute pressure to 100 lbs. per sq. in. absolute, the steam being initially dry and saturated.

(9) One pound of steam at 150 lbs. per sq. in. absolute, and 200°F. superheat, expand adiabatically. What is the pressure when the steam becomes dry and saturated.?

What is the work done during the expansion.?

(10) One pound of dry and saturated steam at 15 lbs. per sq. in. absolute pressure is compressed adiabatically to 100 lbs. per sq. in. absolute pressure. What is the quality at the end of the compression and the negative work done.?

(11) One pound of steam at 100 lbs. per sq. in. absolute pressure has a quality of 0.80. It expands along $n=1$ curve to a pressure of 15 lbs. per sq. in. absolute.

(a) What is the volume at the beginning and at the end of the expansion.

(b) What is the quality at the end of the expansion.

(c) What is the work done during the expansion.

(12) Steam at a pressure of 100 lbs. per sq. in. absolute having a quality of 0.50 expands adiabatically to 15 lbs. per sq. in. absolute. What is the quality at the end of the expansion?

(13) One pound of steam at a pressure of 100 lbs. per sq. in. absolute has a volume of 4 cu. ft. and expands adiabatically to 15 lbs. per sq. in. absolute.

(a) What is the quality at initial and final conditions?

(b) What is the work done during the expansion?

(14) One pound of steam at a temperature of 360°F. has a quality of 0.50, and expands under constant pressure to a volume of 3.4 cu. ft.

(a) What is the quality at the final condition?

(b) What is the work of the expansion?

(c) What heat is required?

(15) Two pounds of steam at a pressure of 100 lbs. per sq. in. absolute have a volume of 4 cu. ft. and expand under constant temperature to a volume of 8 cu. ft.

(a) What is the quality at the initial and final conditions?

(b) What is the work of the expansion?

(c) How much heat is required?

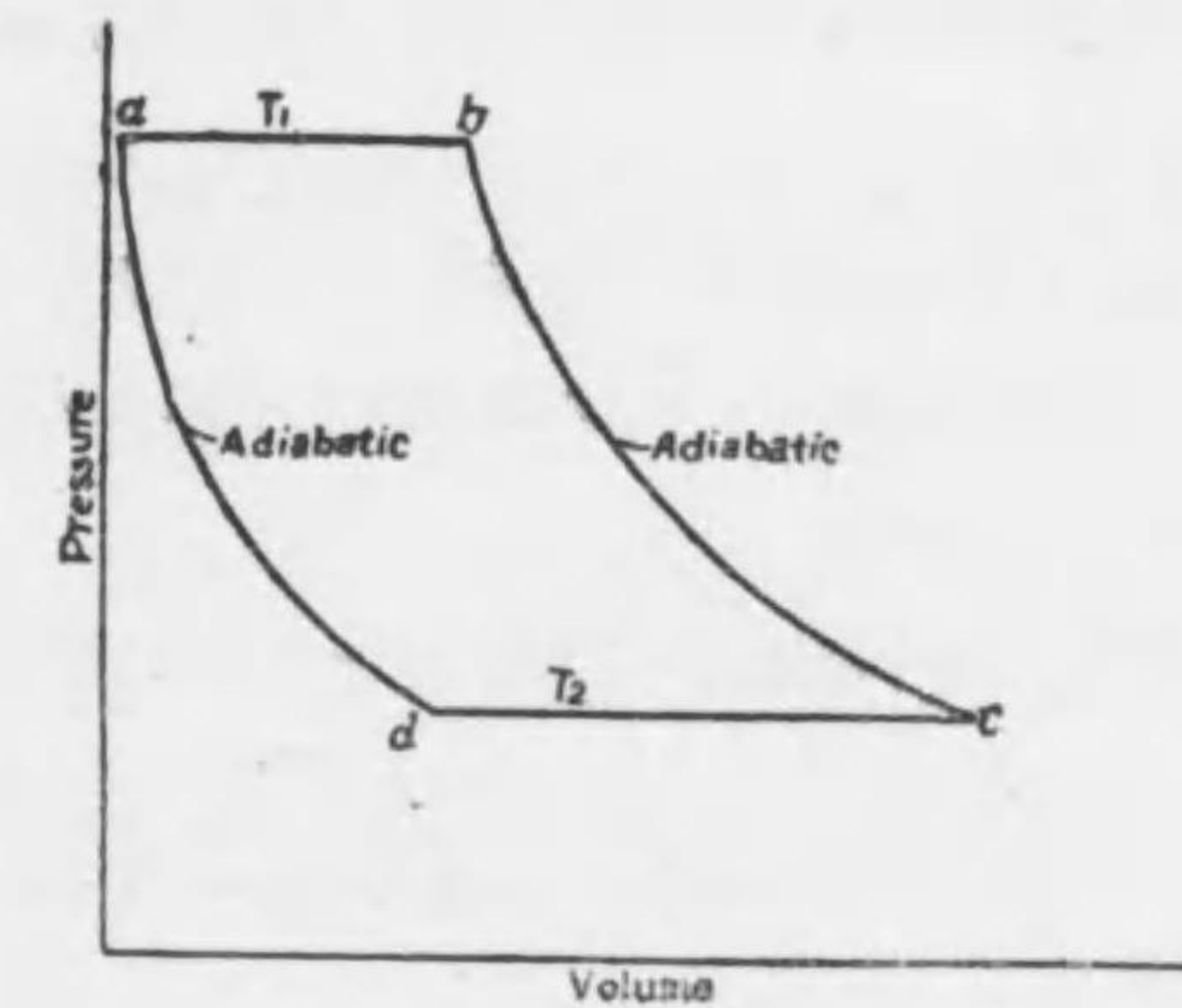
第八章 蒸發氣ヲ使用スル熱機關ノ「サイクル」

(Cycles of Heat Engines using vapors)

(七九) 「カーノー、サイクル」 (Carnot cycle).

蒸發氣ヲ用ヒタル「カーノー、サイクル」ハ氣體ヲ用ヒタル場合ト同様ノ裝置ヲ以テ遂行セシムルコトヲ得ルモノニシテ蒸發氣ヲ使用シタル場合ニ於テモ此ノ「カーノー、サイクル」ハ二ツノ等溫變化及ビ二ツノ斷熱變化ニ依リテ成立スルコト勿論ナリ、然レドモ蒸發氣ヲ用ヒタル場合ニ於テハ氣體ヲ用ヒタル時ノ等溫曲線ハ等壓力曲線ニヨリテ表示セラル、最初筒内ニアル單位重量ノ蒸發氣ハ加熱セラル、ニ際シ先ヅ T_1 ナル溫度ニ於テ液體ノ狀態ニアルモノトシ又加熱作用ハ液體ヨリ作ラル、蒸發氣ガ乾燥飽和狀態ニ達スル迄繼續セシメラル、モノトス、從ツテ溫度ヲ一定ニ維持センガタメニハ壓力ヲ一定ニ保チ得ル程度ニ於テ熱ヲ供給スルノ必要

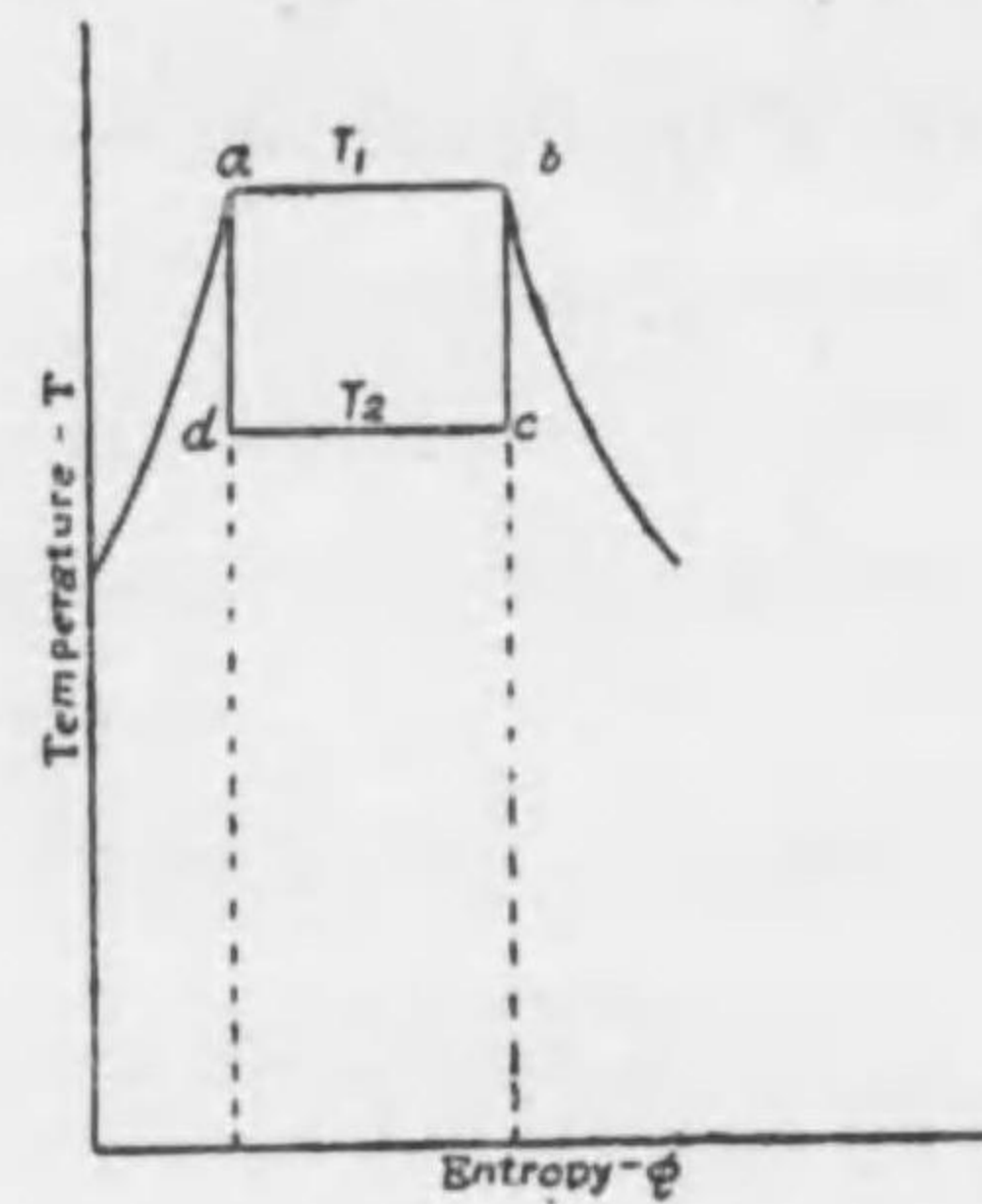
Fig. 27.



P-V diagram.

アリ、而シテ此ノ加熱作用ノ間ニ於テ液體ノ比容積ハ T_1 ナル溫度ニ於ケル乾燥飽和蒸發氣ノ比容積迄増大スルモノナリ

Fig. 28.



T-φ diagram.

茲 = 第二十七及二十八兩圖 = 示ス壓力容積線圖並 = 溫度「エントロピー」線圖 = 就テ「カーノー、サイクル」ヲ説明スレバ次ノ如シ

ab……等溫膨脹線 = シテ溫度 T_1 = 於ケル液體ガ加熱セラレタル結果同溫度ノ飽和蒸發氣 = 變ズル間 = 於ケル容積及ビ「エントロピー」ノ増加ヲ示ス

bc……箱ノ頭部ヨリ熱源ヲ取去リ不導體製ノ蓋ヲ以テ之レ = 代ヘ蒸發氣ヲシテ斷熱的 = 膨脹セシメタル時ノ變化ヲ示スモノ = シテ溫度ハ T_1 ヨリ T_2 迄下降ス

cd……箱ノ頭部ハ冷源ト觸接セシメラレ之レ = 熱ヲ與ヘツ、等溫的 = 壓縮セシメラル、時ノ變化ヲ示スモノ = シテ箱内ノ蒸發氣ハ熱ヲ抽出セラル、結果容積ヲ收縮スルガ故此ノ線ハ T_2 ナル溫度 = 於ケル定壓力線又ハ等溫度線ヲ示ス

da……箱ノ頭部ヨリ冷源ヲ取去リ不導體製ノ蓋ヲ以テ之レ = 代ヘ蒸發氣ヲ斷熱的 = 壓縮シタル時ノ變化ヲ示スモノ = シテd點ヲ適當 = 撰定セバ斷熱壓縮ノ結果其ノ溫度ハ T_1 迄上昇シ蒸發氣ハ完全「サ

イクル」ヲ爲ス可シ

此ノ「サイクル」ノ間 = 於テ加ヘラレタル熱量ハ即チ ab ナル等溫膨脹ヲ爲シムルタメ = 要セラレタル熱量ナリ、此ノ熱量ヲ Q_1 トスレバ

$$Q_1 = H_b - h_a = L_1$$

但シ H_b ……壓力 P_b = 於ケル乾燥飽和蒸氣ノ有スル全熱量

h_a …… 32°F . ヨリ起算シタル狀態 a = 於ケル顯熱ヲ示ス

次 = 「サイクル」ノ間 = 於テ放捨セラレタル熱量ハ冷源 = 吸收セラレタル熱量 = 等シキヲ以テ蒸氣ノ一封度 = 就テハ

$$Q_2 = (h_c + x_c L_c) - (h_d + x_d L_d).$$

T-φ 線圖 = 依レバ

$$Q_1 = T_1(\phi_b - \phi_a), \quad Q_2 = T_2(\phi_c - \phi_d), \quad \text{ナリ}$$

然ルニ $\phi_b - \phi_a = \phi_c - \phi_d$ ナルヲ以テ

$$Q_2 = T_2(\phi_b - \phi_a).$$

「サイクル」ノ仕事ハ P-V 線圖ヲ用ヒタル場合 = ハ各變化ヲ示ス曲線下ノ面積ノ代數和 = 依リテ求メ得ラルレドモ T-φ 線圖ヲ用ユレバ極メテ簡單 = 求ムルコトヲ得ベシ、即チ面積 abcd ハ仕事量 = 比例シ且ツ矩形ナルヲ以テ

「サイクル」ノ仕事 = $(T_1 - T_2)(\phi_b - \phi_a)$.

而シテ其ノ効率

$$E = \frac{(T_1 - T_2)(\phi_b - \phi_a)}{T_1(\phi_b - \phi_a)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

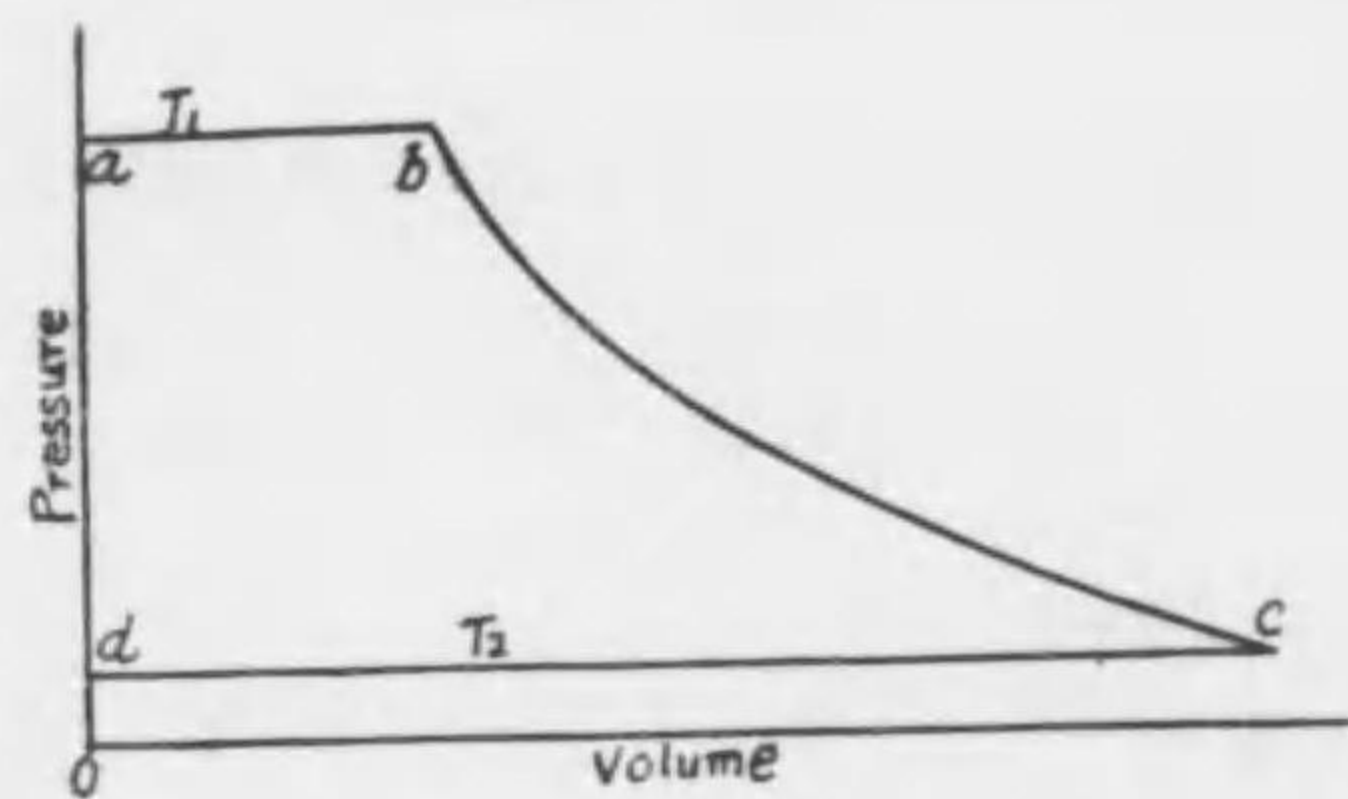
ナリ

此ノ方程式 = ヨリテ知ラル、如ク「カーノー、サイクル」ノ効率ハ操作物質ノ性質 = ハ無關係ノモノ = シテ單 = 最初及ビ最終ノ溫度 = 依リテ差違アルモノナリ

(八〇) 「ランキン、サイクル」(The Rankine Cycle).

「カーノー、サイクル」=依リテ得ラル、効率ハ與ヘラレタル 温度ノ界限内ニ於テ作働スル熱機關ニ依リ得ラルベキ理想的最高ノモノニシテ此レ以上ノ高キ効率ハ得ラル、モノニアラズ
前項ニ於テ説明シタル蒸氣ヲ操作物質トセル「カーノー、サイクル」ニ於テハ罐、筒及ビ冷汽器等ハ一器内ニ結合セラレタルモノト考ヘタリシモ實際ノ蒸氣機械ニアリテハ蒸氣ハ分離セル罐内ニ於テ釀成セラレ排氣ハ大氣又ハ別個ノ冷汽器内ニ排出セラル、ガ故蒸發氣ヲ使用スル「カーノー、サイクル」ヲ以テ直チニ實際ノ蒸氣機械効率比較ノ標準ト定ムルヨリハ寧ロ尙ホ一層實際ノ狀況ニ適合セル他ノ「サイクル」ヲバ其ノ標準トシテ採用スルヲ至當トス、即チ其ノ標準トスベキ最モ有効ナル實際ノ蒸氣「サイクル」ヲバ「ランキン、サイクル」ト稱ス

Fig. 29.



第二十九圖ハ「ランキン、サイクル」ノ壓力容積線圖ヲ示スモノニシテ其

ノ作働ハ次ノ如シ

- (1). 最初蒸氣ハ間隙ナキ筒内ニ ab 線ニ沿ヒ一定ノ壓力及ビ温度ニ於テ供給セシメラル
- (2). b 點ニ於テ斷切セラレタル蒸氣ハ b ヨリ c ニ達スル迄斷熱的ニ

膨脹ス而シテ此ノ膨脹作用中ニ於テ蒸氣ノ一部分ハ凝結ス

(3). 膨脹ノ終リ即チ c 點ニ達スレバ蒸氣ハ背壓力線 cd ニ沿ヒ一定壓力及ビ温度ニ於テ排氣セシメラル

(4). 復水シタル蒸氣ハ再ビ蒸發氣ニ變化セシメラル、ニ際シ da 線ニヨリテ示サル、如ク定容積ニ於テ温度及ビ壓力ノ上昇ヲ惹起ス

(1) (2) (3) ノ變化ハ可逆ニシテ「カーノー、サイクル」ノ場合ト全ク同様ナレドモ「ランキン、サイクル」ニ於ケル分離セル冷汽器ノ存在ハ「カーノー、サイクル」ノ如ク斷熱壓縮作用ヲ遂行スルコト能ハザルヲ以テ(4)ノ變化ニハ著シキ差違アリ、而シテ此ノ第四次ノ變化ヲ形成スル最良ノ方法ハ復水ガ爲シ遂ゲラル、迄排氣ヲ繼續シ然後給水筒ヲ以テ此ノ復水ヲバ罐内ニ送還スルニアリ

茲ニ「ランキン、サイクル」ニ於テ起ル四段ノ變化ニ就テ略説スレバ

(1). 給水ハ排氣温度ヨリ da 線ニ沿ヒ供給蒸氣ノ温度迄高メラル

(2). 供給蒸氣ノ温度ニ達シタル給水ハ ab 線ニヨリテ示サル、如ク一定壓力及ビ一定温度ニ於テ蒸發作用ヲ營ム

(3). b 點ニヨリテ示サレタル状態ニ達シタル蒸氣ハ bc 線ニ沿ヒ背壓力ニ等シキ壓力ニ至ル迄斷熱的ニ膨脹ス

(4). 膨脹作用ヲナシタル蒸氣ハ cd 線ニ沿ヒ背壓力ニ相當スル一定温度ニ於テ排出セシメラル

而シテ濕潤蒸氣1封度ガ此ノ「サイクル」ニ於テ爲シタル正味仕事量ハ次ノ如ク求ムルコトヲ得

(1). 蒸發作用中ニ於ケル外部仕事

$$W_{abd} = \frac{1}{778} \cdot P_b \cdot V_b \cdot x_b \quad (\text{B.T.U.})$$

(2). 内部「エネルギー」ノ減少量

$$W_{bc} = h_b + x_b p_b - (h_c + x_c p_c) \quad (\text{B.T.U.})$$

(3). 排氣溫度=於ケル復水作用中ノ外部仕事

$$W_{cd} = -\frac{1}{778} \cdot z_c P_c V_c$$

(4). $W_{da} = 0$

以上ノモノヲ加フレバ

「サイクル」ノ正味仕事量

$$W = \frac{1}{778} \cdot P_b V_b x_b + h_b + x_b p_b - h_c - z_c p_c - \frac{1}{778} \cdot P_c V_c z_c$$

然ルニ $\frac{1}{778} \cdot P_b V_b + p_b = L_b$ 及ビ $\frac{1}{778} \cdot P_c V_c + p_c = L_c$

ナルガ故

$$W = h_b + x_b L_b - (h_c + z_c L_c) \text{ (B.T.U.)}$$

(註) 「 z_c 」ヲ求メンニハ $\frac{h_b + x_b L_b}{T_1} = \frac{h_c + z_c L_c}{T_2}$ ノ式ニヨルベシ

以上ノ研究ニヨリ「ランキン、サイクル」ニ於テ爲サレタル正味仕事量ハ供給セラレタル蒸氣ノ有スル全熱量ト排出蒸氣ノ有スル全熱量ノ差ニ等シキコトヲ知ルベシ、而シテ此ノ關係ハ供給蒸氣ノ最初ノ状態ガ濕潤乾燥又ハ過熱ナルトモ適合スルモノナリ

「ランキン、サイクル」ニ於テ蒸氣一封度ノ爲ス正味仕事量ハ積分法ニ依リテ又次ノ如ク求ムルコトヲ得ベシ

即チ 面積 $abcd = \int_{p_2}^{p_1} V dP$

bc ナル膨脹曲線ガ $PV^n = C$ ノ式ニ從フモノトスレバ

$$PV^n = P_1 V_1^n \therefore V = P_1^{\frac{1}{n}} V_1 \cdot \frac{1}{P^{\frac{1}{n}}}$$

依リテ 面積 $abcd = \int_{p_2}^{p_1} P_1^{\frac{1}{n}} V_1 \frac{dP}{P^{\frac{1}{n}}} = P_1^{\frac{1}{n}} V_1 \int_{p_2}^{p_1} P^{-\frac{1}{n}} dP$

$$= \frac{P_1^{\frac{1}{n}} V_1}{-\frac{1}{n} + 1} \left| P^{-\frac{1}{n} + 1} \right|_{p_2}^{p_1} = \frac{n}{n-1} \cdot P_1^{\frac{1}{n}} V_1 \left(P_1^{\frac{n-1}{n}} - P_2^{\frac{n-1}{n}} \right)$$

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

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

$$= \frac{n}{n-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

斷熱膨脹ノ終リ或ハ中間ニアル任意ノ點ニ於ケル蒸氣ノ乾度ハ $PV^n = C$

ノ式ニ於テ $n = 1.035 + \frac{x}{10}$ トシテ次ノ如ク求ムルコトヲ得

即チ P_x ヲ最終壓力トスレバ

$$P_x V_x^{1.035 + \frac{x}{10}} = P_1 V_1^{1.035 + \frac{x}{10}}$$

ノ式ニヨリテ V_x ヲ求メ次ニ又 P_x = 相當スル飽和蒸氣ノ比容積 V ヲバ

表ニヨリテ見出シ双カノ比 V_x/V ヲ求ムレバ是レ所要ノ乾度ナリ

次ニ此ノ「サイクル」ノ間ニ於テ供給セラレタル熱量

$$Q_1 = h_a + x_b L_b - h_d$$

ニシテ又放捨セラレシ熱量

$$Q_2 = z_c L_c \text{ ナリ}$$

從ツテ「ランキン、サイクル」ノ効率

$$E = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{h_a + x_b L_b - h_d - z_c L_c}{h_a + x_b L_b - h_d}$$

然ルニ $h_a = h_b$, $h_c = h_d$ ナルガ故

$$E = \frac{h_b + x_b L_b - h_c - z_c L_c}{h_b + x_b L_b - h_c}$$

第三十圖ハ乾燥飽和蒸氣ヲ使用セル「ランキン、サイクル」ノ溫度「エン

トロピー」線圖ヲ示ス圖中 a.b.c.d ノ諸點ハ壓力容積線圖中ニアル各點ニ相當スルモノナリ

此ノ線圖ニ依ルモ「サイクル」ノ正味仕事量ハ供給蒸氣及ビ排出蒸氣ノ有スル全熱量ノ差ヲ示ス所ノ面積 (B+C) = ヨリテ表ハサル

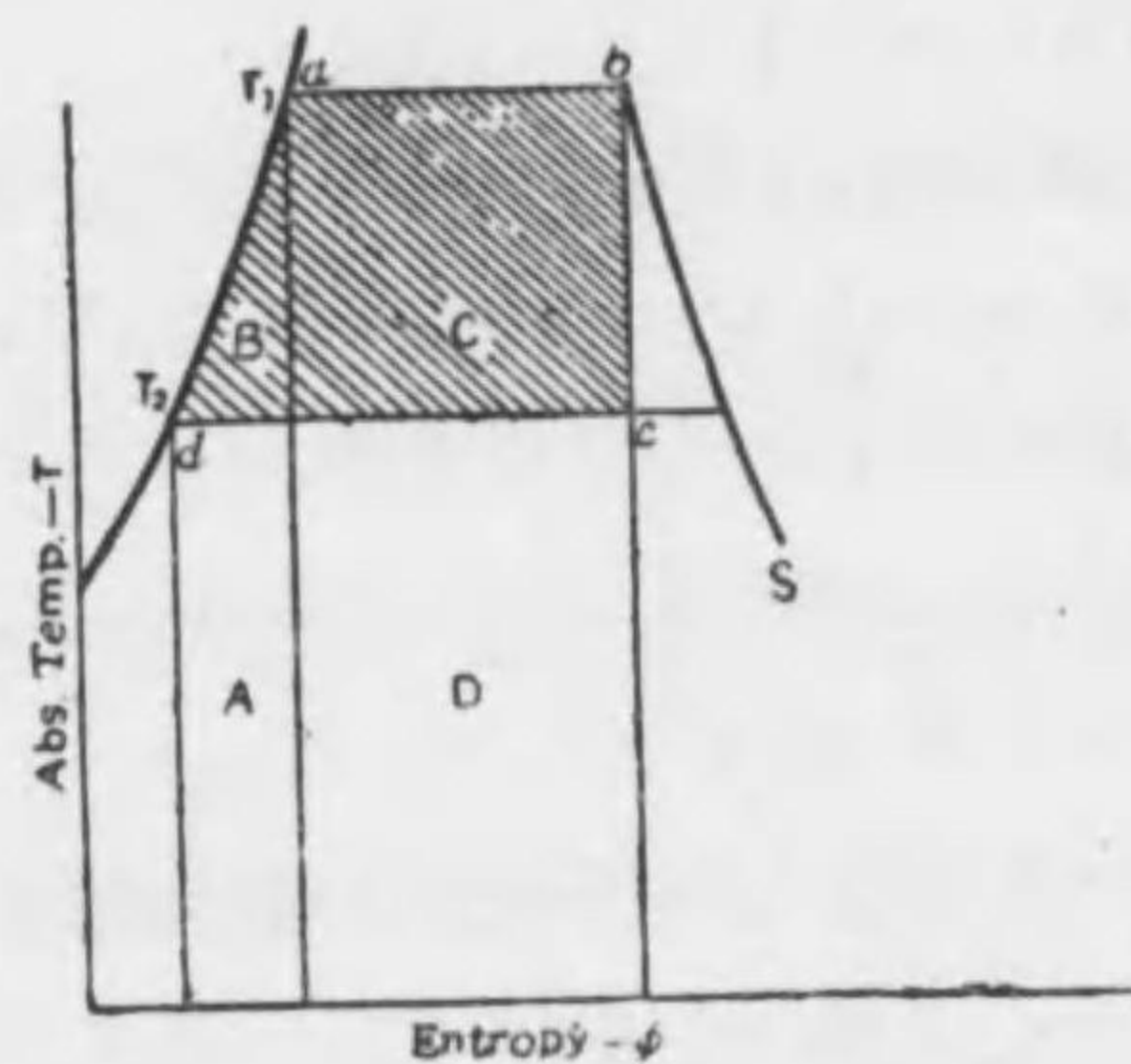
而シテ 面積 (B+C) = (A+B+C+D) - (A+D)

$$= h_a - h_d + L_b - T_2 \left(\log_e \frac{T_1}{T_2} + \frac{L_b}{T_1} \right)$$

又「サイクル」毎ニ加ヘラル、熱ハ面積 (A+B+C+D) = ヨリテ表ハサレ

$h_a + L_b - h_d = \text{等シ}$

Fig. 30.



「ランキン、サイクル」ノ T-phi 線圖

從ツテ其ノ効率

$$E = \frac{B+C}{A+B+C+D} = \frac{h_a + L_b - h_d - T_2 \left(\log_e \frac{T_1}{T_2} + \frac{L_b}{T_1} \right)}{h_a + L_b - h_d}$$

$$= \frac{h_a + L_b - h_d - x \cdot l_c}{h_a + L_b - h_d}$$

給水溫度以上ノ全熱量ヲ算出スルタメニハ 32°F. ヨリ起算シタル總熱量 $h_a + L_b$ ヨリ h_d ヲ減ズルコトヲ忘ルベカラズ、而シテ此ノ給水溫度ハ普通ノ汽機試験ノ成績比較上排氣溫度ト同一ニ見做サル、モノナリ

例. 絶對壓力每平方吋 160 封度ノ壓力ニ於ケル 0.95 ノ性狀ヲ有スル蒸氣一封度アリ、5 封度ノ絶對壓力ニ排氣シツ、
「ランキン、サイクル」ヲ爲サシメタル時

- (1). 排氣ノ際ニ於ケル蒸氣ノ性狀
- (2). 「サイクル」ノ間ニ於テ爲サレタル正味仕事量
- (3). 「サイクル」ノ効率

如何

解. (1). 最初ノ状態ニ於ケル總「エントロピー」

$= 0.5208 + 0.95 \times 1.0431$

排氣ノ際ニ於ケル總「エントロピー」

$= 0.2348 + 1.608x$

$\therefore 0.5208 + 0.95 \times 1.0431 = 0.2348 + 1.608x$

依リテ $x = 0.794$

(2). 「サイクル」ノ間ニ於テ爲サレタル仕事量

$W = H_1 - H_2 = 335.6 + 0.95 \times 858.8$

$- 130.1 - 0.794 \times 1000.3$

$= 227.2 \text{ B.T.U.}$

(3). $E = \frac{227.2}{335.6 + 0.95 \times 858.8 - 130.1} = 22.2 \text{ per cent.}$

(八一) 「カーノー、サイクル」ト「ランキン、サイクル」トノ比較

「ランキン、サイクル」ノ効率ハ溫度ノ同一界限内ニ作動スル「カーノー、サイクル」ノ理想的最高ノモノヨリ遙ニ低シ蓋シ「ランキン、サイクル」ニアリテハ第四次ノ變化ニ於テ物質ガ熱ヲ取入ル、ニ先チ T_1 ナル溫度迄之レヲ高ムルタメノ斷熱壓縮作用無キヲ以テナリ、而シテ此ノ斷熱壓縮作用ノナキガタメ熱ノ一部ハ T_1 ヨリ低キ溫度ニ於テ取入レラル然ルニ比較的
低溫度ニ於テ取入レラル熱ハ T_1 ニ於テ取入レラル熱ノ如ク多ク
ノ仕事ヲ爲シ得ザルヲ以テ其ノ効率ヲ低下セシムルニ至ルモノナリ

T-phi 線圖ニ就テ考フレバ

「カーノー、サイクル」ノ効率 $= \frac{C}{C+D}$

「ランキン、サイクル」ノ効率 $= \frac{B+C}{A+B+C+D}$

故ニ後者ハ前者ヨリ小ナリ

(八二) 溫度「エントロピー」線圖ニ依ル略算法

蒸氣ノ溫度「エントロピー」線圖ヲ使用スレバ「ランキン、サイクル」ニ

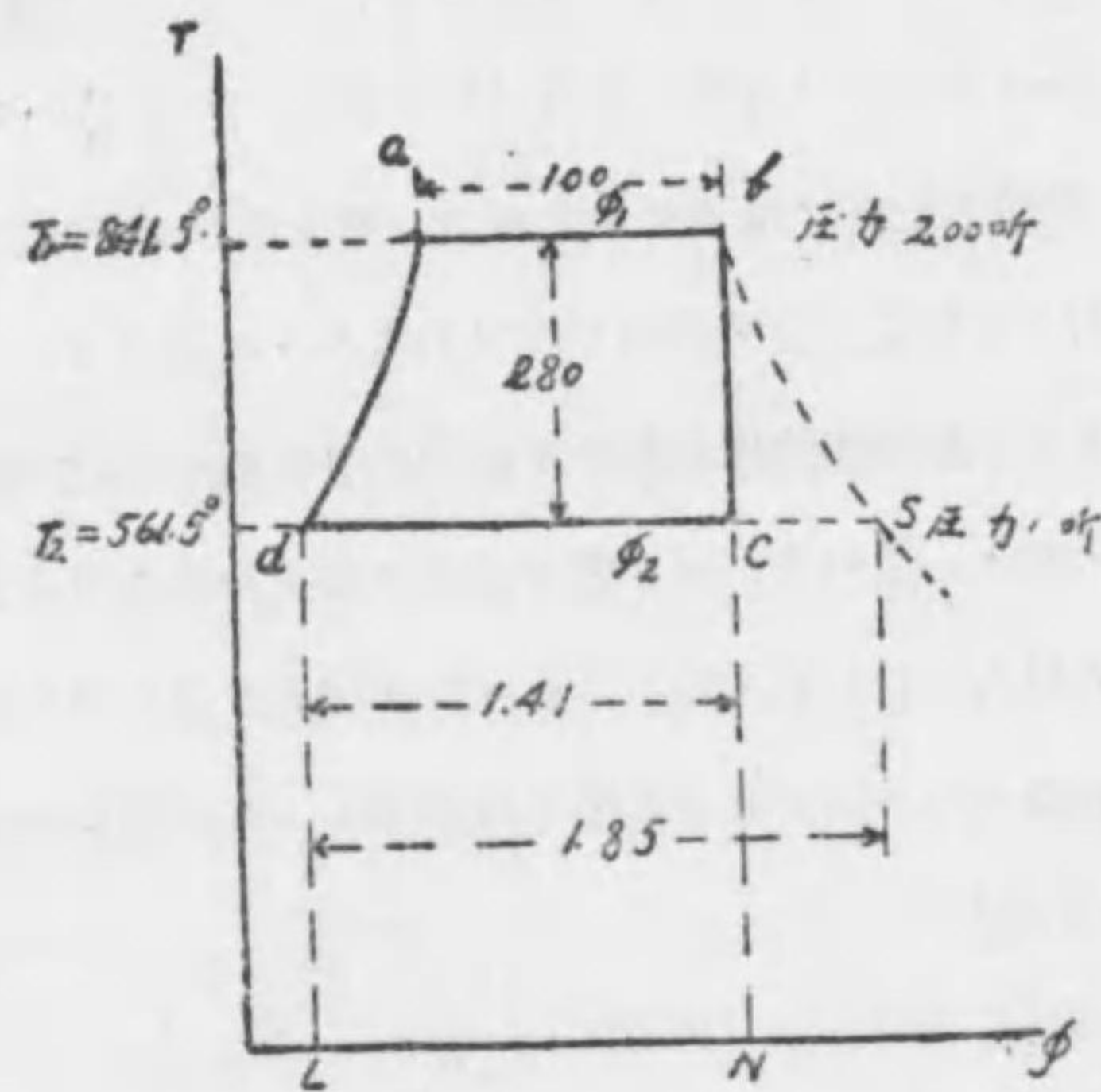
於ケル蒸氣一封度ノ仕事、効率、膨脹中任意ノ壓力ニ對スル乾度等ハ容易ニ之レヲ略算スルコトヲ得

茲ニ二三ノ例ヲ揚ゲテ其ノ方法ヲ説明セン

(1) 絶對壓力毎平方吋 200 封度ノ飽和蒸氣ヲ機械ニ送り絶對壓力 1 封度ノ背壓力迄斷熱的ニ膨脹セシメ冷汽器ニ排出セシメタル場合、蒸氣一封度ノ爲シタル仕事ノ量、與ヘラレタル熱量、効率及ビ膨脹後ニ於ケル乾度如何

解. T-φ 線圖上ニ於テ 200. 及ビ 1 封度ニ相當スル「エントロピー」ノ長さ、ab. 及ビ cd ヲ求メ第三十一圖ニ示スガ如キ數値ヲ得タリトス、然ル時ハ

Fig. 31.



仕事ノ量 = 面積 $abcd = \frac{1.00 + 1.41}{2} \times 280 = 337.4$ B.T.U.

與ヘラレタル熱量 = $abNI.d = abcd + dcNI.$

$= 337.4 + 1.41 \times 561.5 = 1,129.$ B.T.U.

効率 = $\frac{abcd}{abNI.d} = \frac{337.4}{1129} = 29.9\%$.

c = 於ケル乾燥度 = $\frac{dc}{ds} = \frac{1.41}{1.85} = 76\%$.

(2). 第一問題ニ於テ最初蒸氣ヲ 100°F. 過熱シテ使用シタル場合ニ於テハ如何

解. 第三十二圖ニ於テ

仕事ノ量 = $abb'c'd = abcd + bb'c'e$

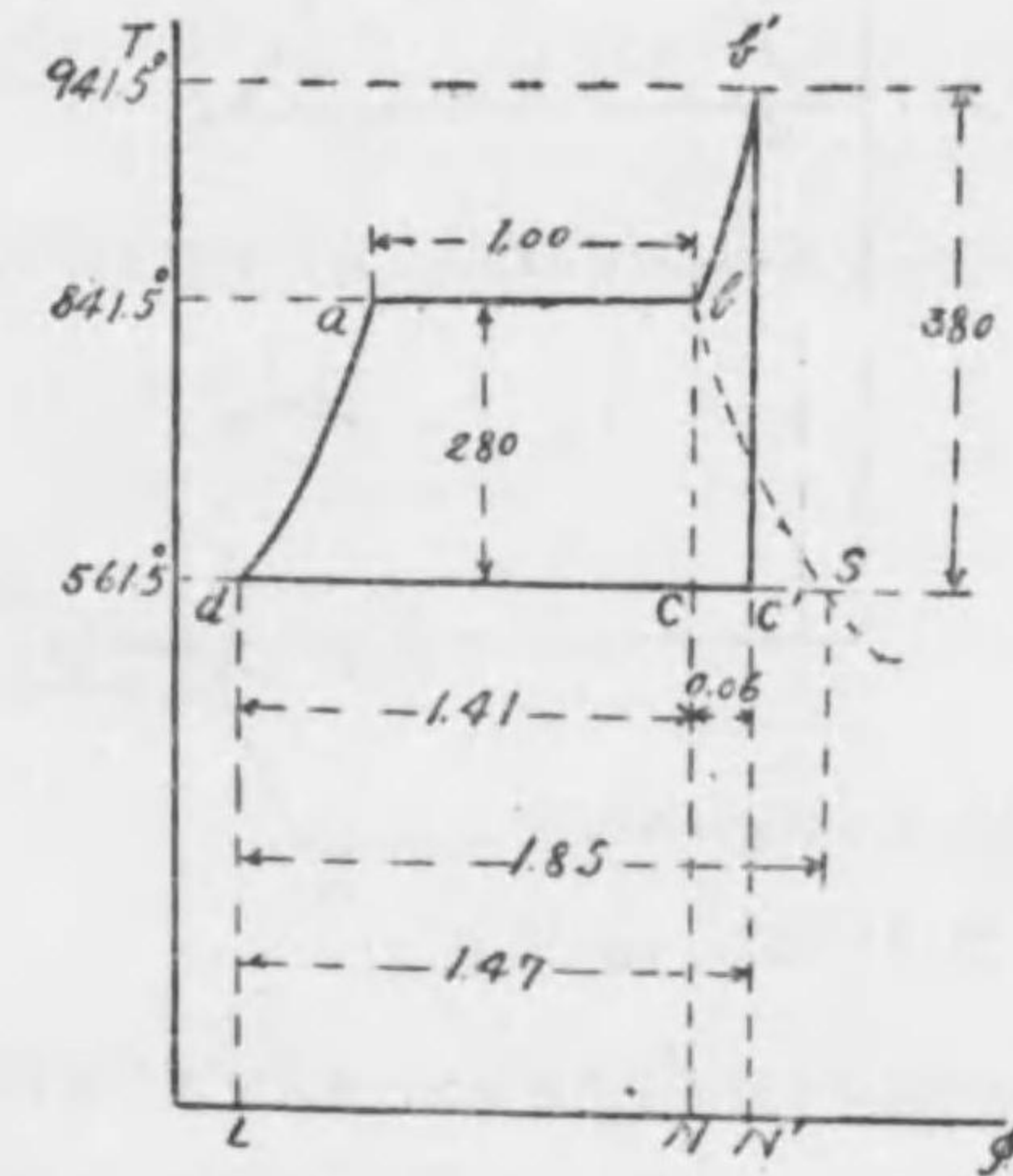
$= 337.4 + 0.06 \times \frac{280 + 380}{2} = 357.2$ B.T.U.

與ヘラレタル熱量 = $Ldabb'N' = abbc'd + Ldc'N'$

$= 357.2 + 561.5 \times 1.47 = 1,183$ B.T.U.

効率 = $\frac{357.2}{1183} = 30.2\%$

Fig. 32.



c' = 於ケル乾燥度 $\frac{dc'}{ds} = \frac{1.47}{1.85} = 79\%$

(3). 第一問題ノ機械ニ蒸氣衣ヲ設ケ蒸氣ヲシテ飽和膨脹ヲ爲サシメタル場合ニ於テハ如何

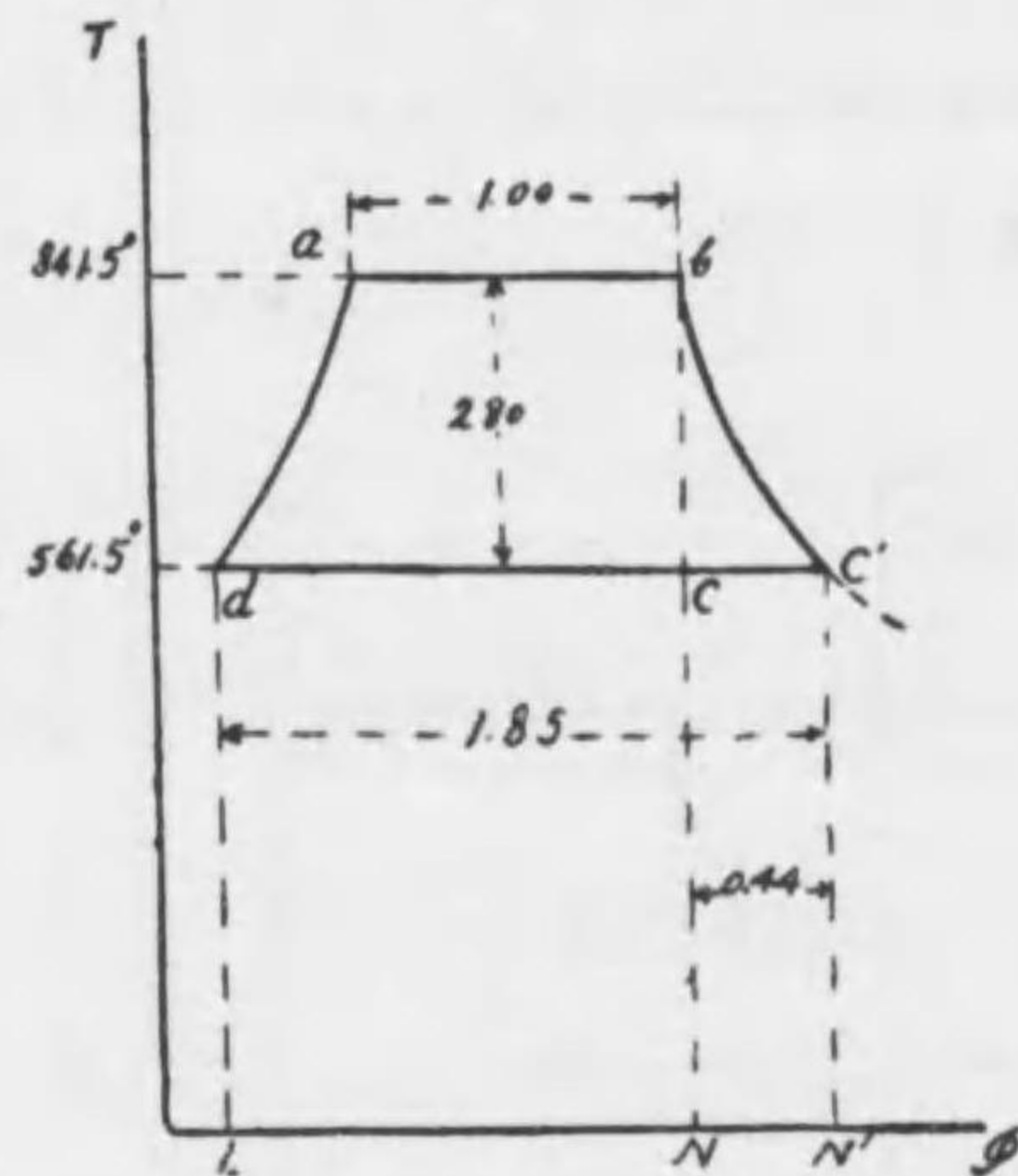
解. 第三十三圖 = 於テ

$$\begin{aligned} \text{仕事ノ量} &= abc'd = \frac{ab+dc'}{2} \times bc \\ &= \frac{1.00+1.85}{2} \times 280 = 399, \text{ B.T.U.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{與ヘラレタル熱量} &= Ldabc'N' = abc'd + Ldc'N' \\ &= 399 + 561.5 \times 1.85 = 1483 \text{ B.T.U.} \end{aligned}$$

$$\text{効率} = \frac{399}{1483} = 27.7\%$$

Fig. 33.



$$\begin{aligned} \text{蒸氣衣ヨリ供給シタル熱量} &= Nbc'N' \\ &= 0.44 \times \frac{841.5+561.5}{2} = 309 \text{ B.T.U.} \end{aligned}$$

以上ノ例題 = 於テ見ルガ如ク「ランキン、サイクル」即チ理想的蒸氣機械 = 於テ始終ノ壓力ガ同一ナル場合過熱蒸氣ヲ使用スレバ効率ヲ増シ蒸氣衣ヲ用ユレバ之レヲ減ズルコトヲ知り得ベシ

(八三) 實際機械 = 於ケル不完全膨脹 (Incomplete expansion in the actual steam engine).

筒 = 遊隙 (clearance) ナキ場合理想的機械 = 於テ蒸氣ヲバ完全 = 膨脹セシムレバ第三十四圖 = 示スガ如ク abfe ナル指壓圖ヲ得ベキモ若シ完全膨脹ヲ爲サシメズシテ假 = c 點 = 於テ排氣 = 開放セシムレバ cdf ナル「エネルギー」ヲ損失シテ其ノ指壓圖ハ abcde ノ如ク變形スベシ

實際ノ蒸氣機械 = 於テ蒸氣ガ「ランキン、サイクル」ヲ爲ス場合 = 於テハ既 = 説明シタル所ノモノト同一ノ變化ヲ受クレドモ斷熱膨脹後 = 於ケル壓力ハ背壓力ヨリ幾分か高シ即チ膨脹作用ハ不完全ナリ斯ク蒸氣ヲシテ完全 = 膨脹セシメザルハ (1) 行程ノ終リ = 於テハ壓力低少ナルガ故機械各部ノ摩擦ノタメ有効ナル仕事ヲ得ザルコト (2) 僅少ノ効率ヲ増スタメ甚ダシク機械ノ大サト重量ヲ増スコト (3) 膨脹度ヲ増大セシムレバ蒸氣ノ濕潤ノ程度ヲ増シ從ツテ筒壁ノ作用ヲ増進セシメ却ツテ効率ヲ低下セシムル等ノ理由 = 依ルモノナリ

第三十四、及ビ三十五圖ハ遊隙ナキ筒内 = 於テ乾燥飽和蒸氣ヲシテ不完全膨脹ヲ爲サシメタル時ノ「ランキン、サイクル」ノ壓力容積線圖及ビ溫度「エントロピー」線圖ヲ示ス

Fig. 34.

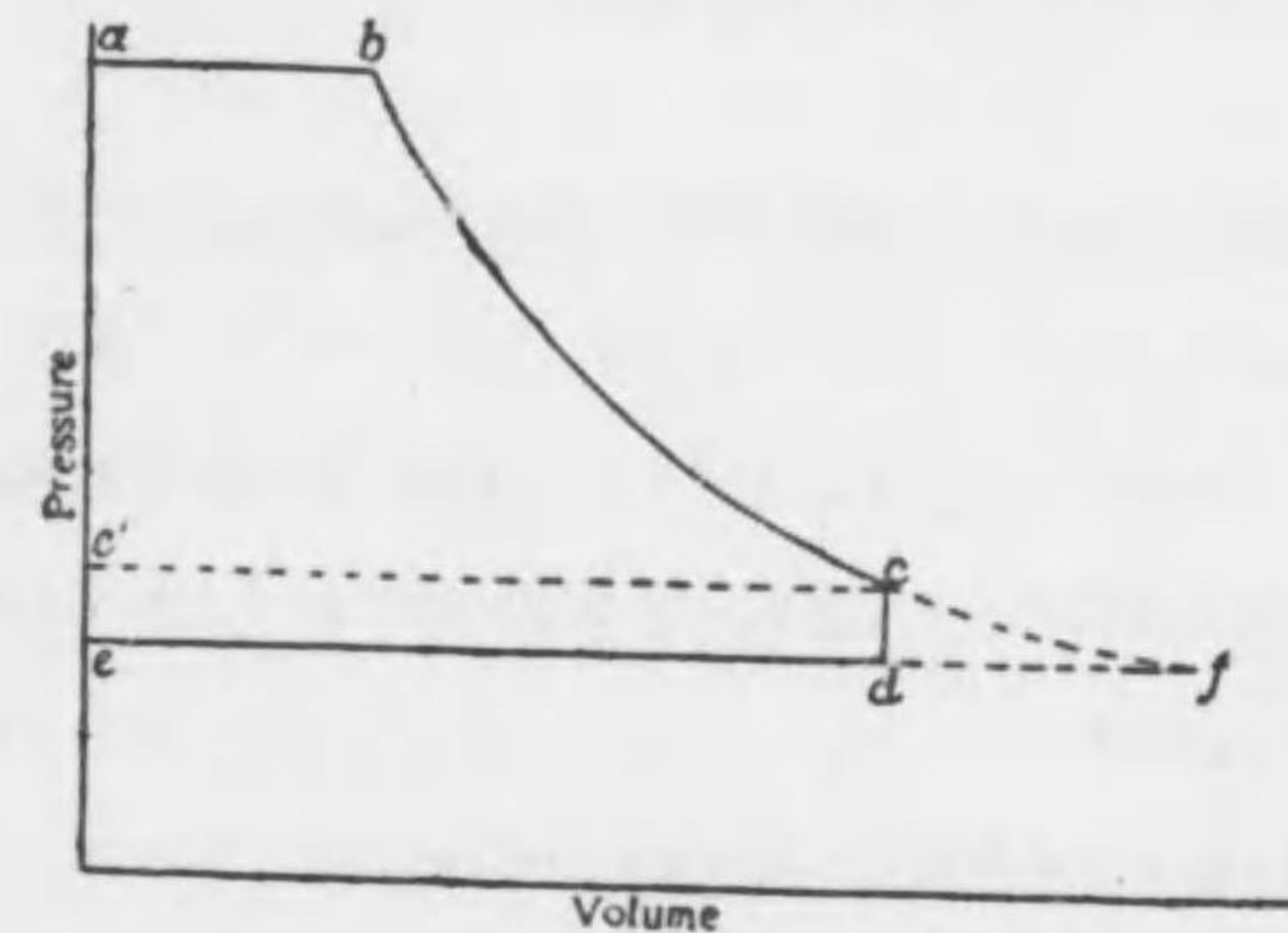
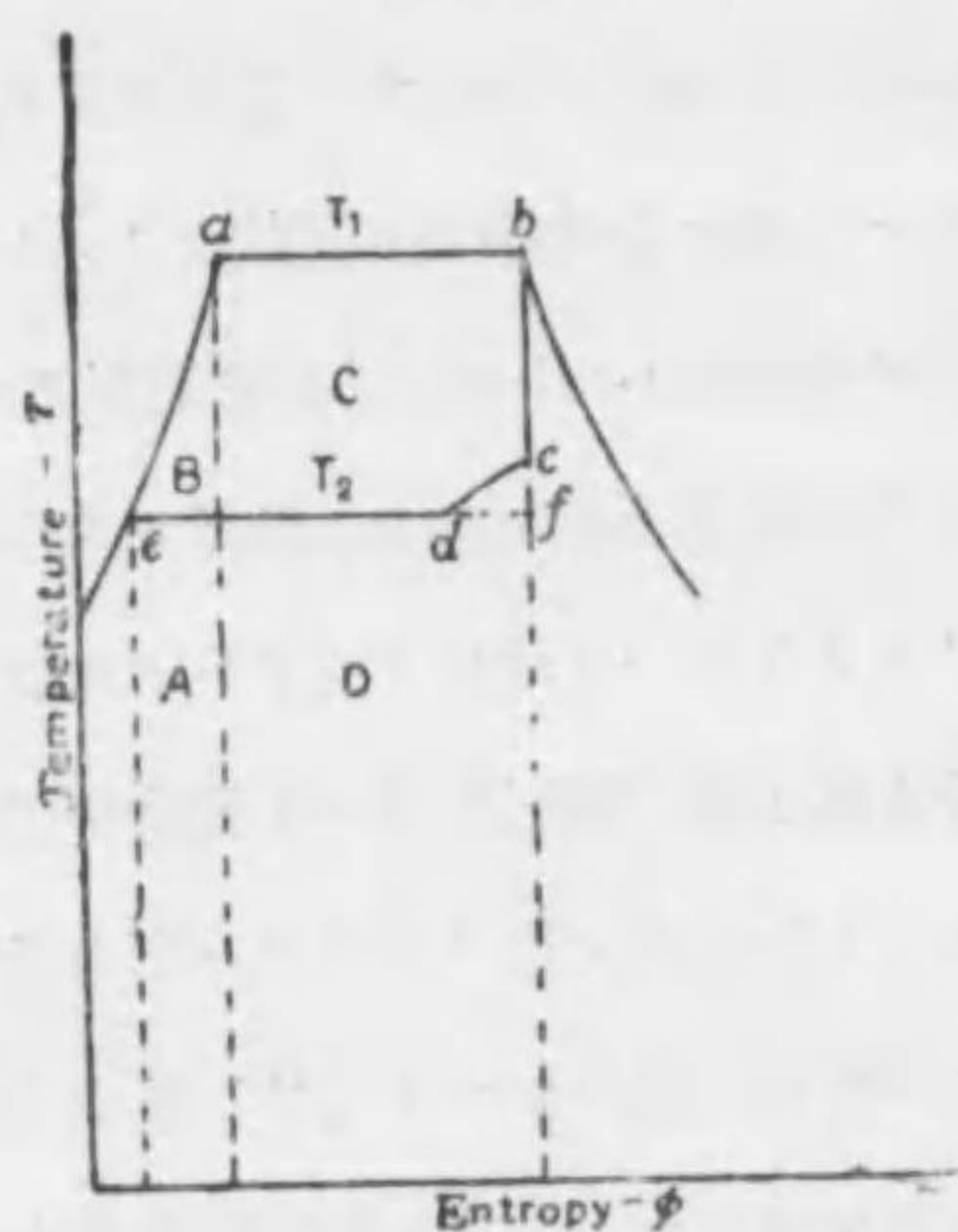


Fig. 35.



圖中. ab.....一定壓力及b一定溫度=於ケル蒸氣ノ供給

b.....斷切ノ起ル點

(此點=於テ蒸氣ハ斷熱膨脹ヲ始メcナル最終壓力迄下降ス)

c.....排氣=開放スル點

cd.....定容積=於ケル一部蒸氣ノ排出

de.....反行程=於ケル殘部蒸氣ノ排出

ea.....T₂ヨリT₁迄ノ給水溫度ノ上昇

等ヲ示ス

次=此ノ「サイクル」ノ正味仕事量ヲ求メントセバ第三十四圖=示セル abcdeノ面積ヲバニツノ面積 abcc' 及ビ c'dce = 區分シテ考フルヲ便トス 即チ前者ハ理想的「ランキン、サイクル」ノ正味仕事=シテ後者ハ矩形ナルヲ以テ容易=算出スルコトヲ得ベク兩者ノ和ハ此ノ「サイクル」ノ仕事ノ量ヲ示ス、而シテ

面積 abcc', ノ熱當量 = $h_b + x_b L_{b\beta} - h_c - x_c L_c$

面積 c'dce, ノ熱當量 = $\frac{1}{778} \cdot (P_c - P_d) (V_d - v)$

從ツテ此ノ「サイクル」ノ仕事ノ總熱當量

$$= h_b + x_b L_{b\beta} - h_c - x_c L_c + \frac{(P_c - P_d) V_d}{778}$$

又「サイクル」ノ間=加ヘラレタル熱量

$$= h_b + x_b L_{b\beta} - h_e$$

依リテ 此ノ「サイクル」ノ効率

$$E = \frac{h_b + x_b L_{b\beta} - h_c - x_c L_c + \frac{(P_c - P_d) V_d}{778}}{h_b + x_b L_{b\beta} - h_e}$$

第三十五圖=示ス溫度「エントロピー」線圖=於ケル a.b.c.d.e.ノ各點ハ 壓力容積線圖上=於ケル各點=夫々相當スルモノナリ而シテ此ノ線圖=於テハ仕事ノ正味量ハ面積(B+C).「サイクル」ノ間=於テ加ヘラレタル總熱量ハ面積(A+B+C+D)ニヨリテ示サル、コトハ既=述ベタルガ如シ 不完全ナル膨脹ヲナス所ノ「ランキン、サイクル」ノ効率ハ理想的ノ場合 =於ケル夫レ=比シ幾分か低シ是レ即チ不完全膨脹ノタメ面積cdfニヨリテ示サレタル仕事量ノ損失ヲ惹起スルガ故ナリ

此ノ不完全「ランキン、サイクル」ハ機械ノ効率比較=際シ其ノ標準トシテ屢々理想的「ランキン、サイクル」=代用セラル、コトアリ

例. 茲=絶對壓力毎平方吋 160 封度ニシテ 0.95ノ性狀ヲ有スル蒸氣一封度アリ、今此ノ蒸氣ヲシテ「ランキン、サイクル」ヲ行ハシメ絶對壓力 15 封度迄斷熱的=膨脹セシメ絶對壓力 5 封度=於テ排氣セシメタリトセヨ

(1). 「サイクル」ノ仕事量

(2). 「サイクル」ノ間=加ヘラレタル熱量

(3). 「サイクル」ノ効率

如何

解. 最初ノ状態=於テ蒸氣ノ有スル總「エントロピー」

$$0.5208 + 0.95 \times 1.0431$$

最終状態 = 於テ蒸氣ノ有スル總「エントロピー」

$$0.3133 + x(1.4416)$$

而シテ $0.5208 + 0.95 \times 1.0431 = 0.3133 + x(1.4416)$

$$\therefore x = 0.831$$

最終壓力 = 於ケル蒸氣ノ容積ハ

$$0.831 \times 26.27 = 21.83 \text{ 立方呎}$$

最初ノ状態 = 於ケル蒸氣ノ有スル總熱量ハ

$$335.6 + 0.95 \times 858.8 = 1151.5$$

最終壓力 = 於ケル總熱量ハ

$$181.0 + 0.831 \times 969.7 = 986.8$$

依リテ「サイクル」ノ間 = 於ケル仕事量

$$AW = 1151.5 - 986.8 + \frac{(15-5) \times 144 \times 21.83}{778} = 205.1 \text{ B.T.U.}$$

「サイクル」ノ間 = 加ヘラレタル熱量ハ

$$335.6 + 0.95 \times 858.8 - 130.1 = 1021.4 \text{ B.T.U.}$$

故 = 「サイクル」ノ効率

$$= \frac{205.1}{1021.4} = 20.08 \text{ per cent}$$

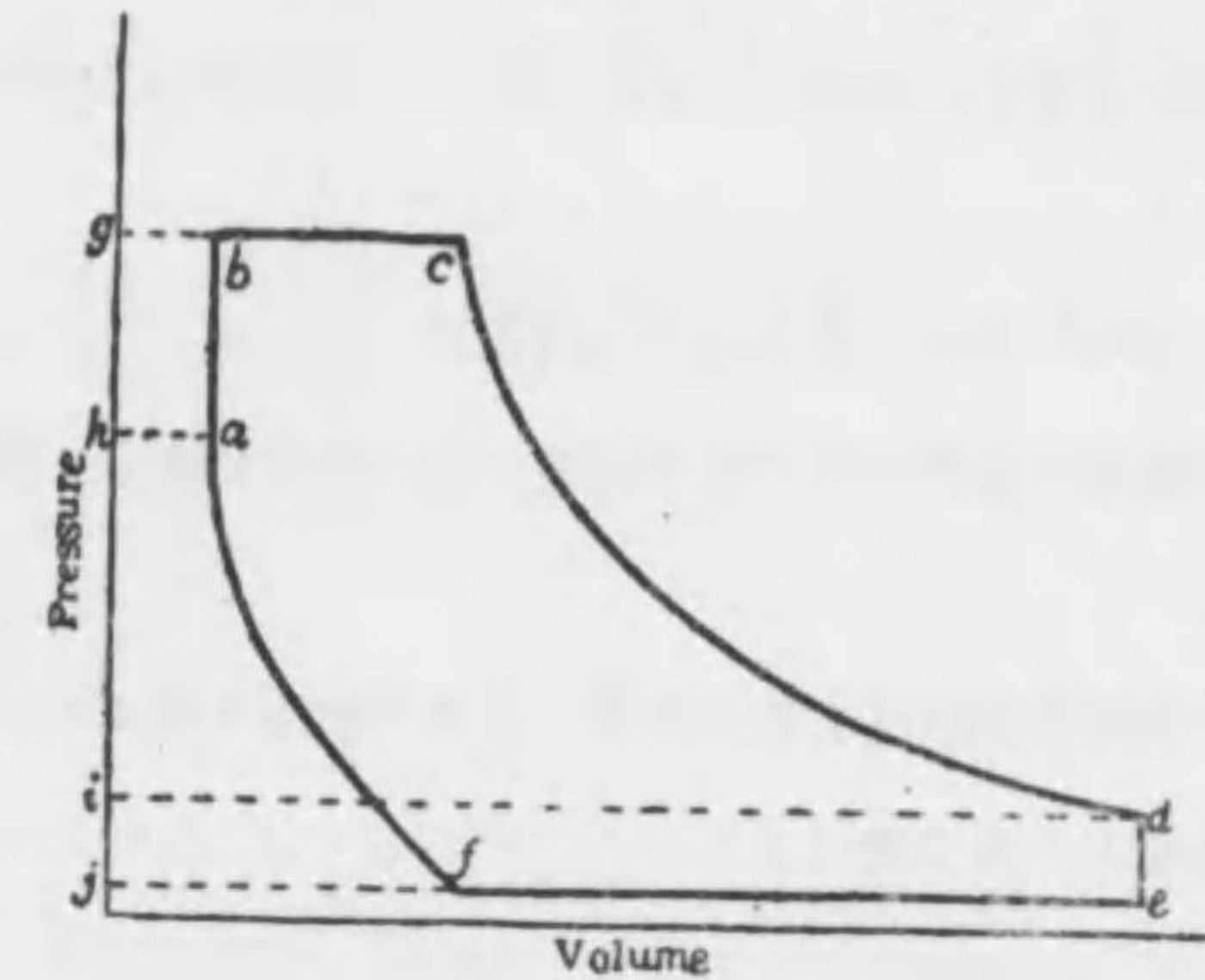
(八四) 實際ノ蒸氣機械ノ「サイクル」

(The Practical or Actual Steam Engine Cycle).

實用ニ適スル如ク計畫セラレタル蒸氣機械ニ於テハ蒸氣ヲシテ背壓力ニ等シキ壓力迄完全膨脹ヲナサシムルコトハ到底不可能ナルノミナラズ筒ニハ不慮ノ危害ヲ及ボサルタメ及ビ蒸氣ノ出入ニ對シ充分ナル通路ヲ得セシムルタメニ適當ノ遊隙 (clearance) ヲ存セシムルノ必要アリ、依リテ實際ノ蒸氣機械ヨリ得ラレタル指壓圖ニ關シテハ遊隙容積、及ビ不完全膨脹並ニ壓縮ノ影響ヲ考慮スルヲ要ス、第三十六圖ハ實際ノ蒸氣機械ニ依リテ

得ラレタル指壓圖ニシテ遊隙及ビ不完全膨脹並ニ壓縮ノ影響ヲ示スモノナリ

Fig. 36.



Indicator Diagram of practical engine cycle.

此ノ實際ノ「サイクル」ノ理論上ノ効率ヲ求メンニハ先ヅ膨脹及ビ壓縮曲線ノ cd, fa ヲバ夫々斷熱的ノモノト假定スルヲ要ス然ル時ハ英熱單位ニテ表ハサレタル指壓圖ノ面積ヲバ各「サイクル」毎ニ供給セラレタル熱量ニテ除シ理論上ノ熱効率ヲ算出スルコトヲ得、而シテ指壓圖ノ正味面積ヲ求ムルニハ之レヲ四個ノ簡單ナル形狀ヲ有スル小面積ニ區分スルヲ便トス即チ

gcdi 「ランキン、サイクル」ニ於テ得ラル、モノト同様ノ面積

idej 短形

hafj 「ランキン、サイクル」ニ於テ得ラル、モノト同様ノ面積

(但シ負値ヲ有ス)

gbah ... 矩形 (但シ負値ヲ有ス)

然レドモ一般ニ蒸氣機械ノ實際効率 (actual efficiency) ハ發生馬力ニ等シキ熱量ヲバ其ノ馬力ヲ發生スルタメニ要セラレタル蒸氣ノ有スル熱量ヲ以

テ除スルコトニヨリテ求メラル、而シテ一時間毎ニ發生スル一馬力ハ

$$\frac{33000 \times 60}{778} = 2545 \text{ B.T.U.}$$

ニ等シキヲ以テ蒸氣機械ノ實際効率ハ次式ニヨリテ表ハスコトヲ得ベシ

$$E = \frac{2545}{WR(H-h)}$$

但シ上式ニ於テ

WR … 毎時毎馬力ニ要スル蒸氣消費量

H …… 蒸氣ガ筒内ニ入ル時ノ初壓力並ニ最初ノ性狀ニ於テ有スル全熱量

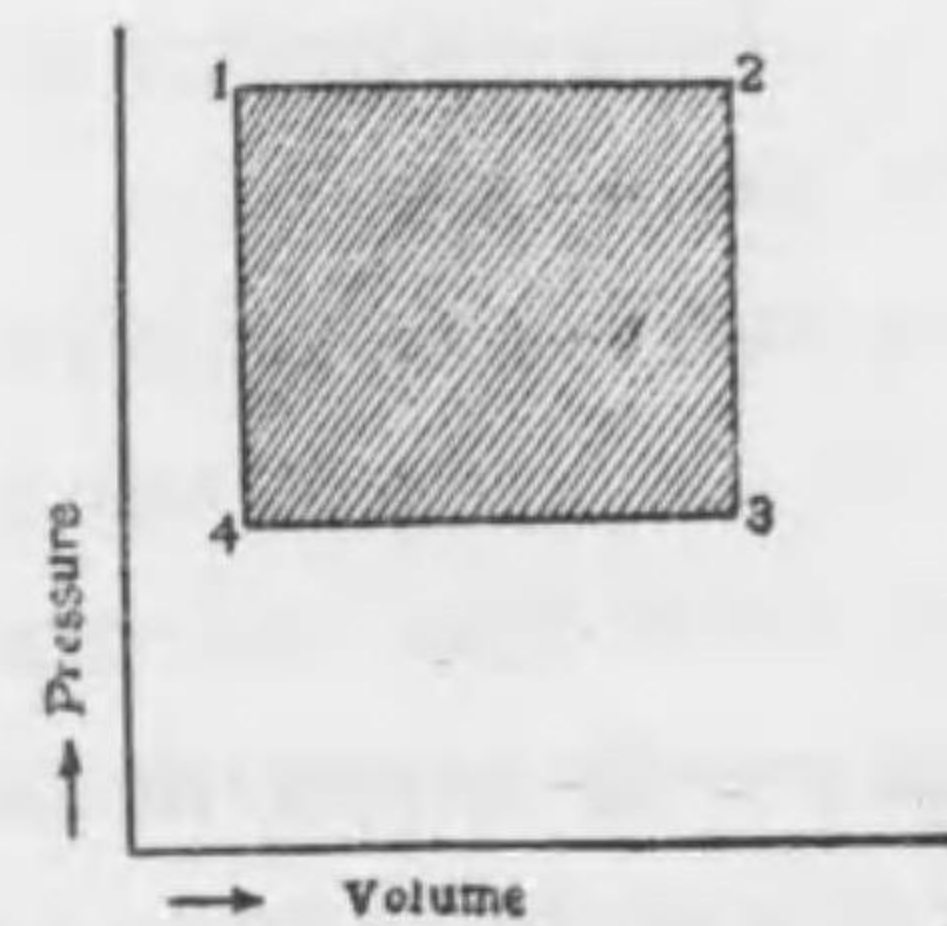
h …… 排氣壓力ニ相當スル溫度ニ於ケル給水ノ有スル熱量

(八五) 膨脹操作ナキ蒸氣機械ノ効率 (Efficiency of an engine using steam without expansion),

蒸氣機械ニ關スル古キ歴史ニハ蒸氣ノ膨脹操作ニ就テ何等記述セラレタル所ナシ即チ「ワット」氏發明當時ニ於ケル總テノ蒸氣機械ニアリテハ蒸氣ハ吸鑄行程ノ終リニ至ル迄罐壓力ト同一壓力ヲ持續シ其ノ壓力ニ於ケル蒸氣ヲ以テ吸鑄ヲ運行セシメタルモノナリ從ツテ上記ノ狀況ノ下ニ於テ作働スル蒸氣機械ニアリテハ罐壓力ニ於テ各行程毎ニ供給セラル、蒸氣ノ容積ハ正ニ吸鑄ノ移動シタル容積ニ等シ、第三十七圖ハ膨脹操作ナキ指壓圖ヲ

示スモノニシテ (1) ナル點ニ於テ罐壓力ヲ有スル蒸氣ハ筒内ニ供給セラレ其ノ壓力ヲ維持シツ、吸鑄ヲ壓シ出シ (2) ニ示スガ如キ位置迄之レヲ移動セシム、此ノ時排氣ニ開放スルヲ以テ其ノ壓力ハ (2) ヨリ (3) ナル背壓力迄急劇ニ下降ス而シテ (3) ヨリ (4)

Fig. 38.



ニ至ル反行程ニ於テ筒内ノ蒸氣ハ排氣管ニ排除セシメラル次ニ (4) ナル點ニ達スル時ハ筒内ニ新シキ蒸氣ノ急速ナル供給アルガタメ其ノ壓力ハ (1) ニテ示サレタル罐壓力迄上昇ス

此ノ如ク膨脹操作ヲ爲ササル蒸氣機械ノ熱効率ハ次式ニ依リテ表ハスコトヲ得

$$E = \frac{\text{爲サレタル仕事}}{\text{取入レタル熱量}} = \frac{(P_1 - P_4)(V_2 - V_1)}{778(x_1 L_1 + h_1 - h_2)}$$

上式ノ分母ハ排氣溫度 t_2 ニ於ケル給水ヲ送給シタル時取入レタル熱量ヲ示ス

實際ノ場合蒸氣ヲ膨脹セシメズシテ使用シタル機械ノ効率ハ復水溫度ガ約 100°F. ナル時ニ於テ凡ソ 0.06-0.07 ナリ、又復水装置ヲ備ヘズシテ蒸氣ガ膨脹操作ヲ爲ササル蒸氣機械ニアリテハ其ノ効率ハ一層低下スルモノナリ、一般ニ膨脹操作ナキ機械ノ効率ハ最も良好ナル狀態ノ下ニ於テ作働スル場合ト雖モ約 7「パーセント」ヲ超過スルコト能ハズ

「ニューコメン」蒸氣機械ノ効率ハ他式機械ノ夫ニ比スレバ遙ニ低シ蓋シ吸鑄ノ各行程毎ニ筒内ニ供給セラル、蒸氣量ハ其ノ大部分ガ低溫度ナル筒壁ニ觸レ凝結スル結果實際吸鑄ノ運行スル容積ニ相當スルモノヨリハ一層多量ナルヲ以テナリ

(八六) 斷熱膨脹並ニ利用シ得ル勢力 (Adiabatic expansion and Available energy).

茲ニ理論上完全ナル機械ニ於テ蒸氣一封度ノ斷熱膨脹ニ依リ幾許ノ仕事ヲ得ラル可キカヲ溫度「エントロピー」線圖ニ依リテ算出スル一例ヲ示サントス

蒸氣ガ斷熱的ニ膨脹スル場合ニ於テハ傳熱作用ニ依ル熱ノ出入ナキヲ以テ其ノ溫度ノ下降スルハ明カナリ而シテ溫度「エントロピー」線圖上ノ面積ハ熱量ヲ示スニ關ラズ斷熱膨脹中ニ於テハ熱ノ出入ナキヲ以テ此ノ膨脹線

下ノ面積ハ零ナルコトヲ必要トスルガ故此ノ斷熱變化ハ「エントロピー」ノ一定ナル垂直線ニヨリテ示サル

斷熱膨脹ノ間ニ於テ爲サル、仕事ハ既ニ説明シタルガ如ク壓力容積線圖ノ斷熱曲線下ノ面積ニヨリテ求ムルコトヲ得レドモ蒸氣表ヲ使用セバ次ノ如ク尙ホ一層容易ニ算出スルコトヲ得、即チ斷熱膨脹ニ依リテ爲サレタル仕事ハ内部「エネルギー」ノ減少量ノ仕事當量ニ等シキガ故ニ此ノ仕事量ヲ求メンニハ先ヅ斷熱膨脹前後ニ於ケル蒸氣ノ有スル内部「エネルギー」ヲ算出スレバ可ナリ、此ノ内部「エネルギー」ヲバ夫々 I_1, I_2 ヲ以テ表ハセバ

$$I_1 = h_1 + x_1 \phi_1$$

$$I_2 = h_2 + x_2 \phi_2$$

ニシテ

$$\begin{aligned} \text{Work during adiabatic expansion} \\ = \text{loss in internal energy.} \end{aligned}$$

ナルヲ以テ、爲サレタル仕事

$$W = (h_1 + x_1 \phi_1 - h_2 - x_2 \phi_2) 778 \text{ 呎吋}$$

第三十八圖ハ P_1 ナル壓力ニ相當スル T_1 ナル溫度ニ於ケル乾燥飽和蒸氣ガ壓力 P_2 ニ相當スル溫度 T_2 ニ迄斷熱的ニ膨脹シタル時ノ溫度「エントロピー」線圖ヲ示ス

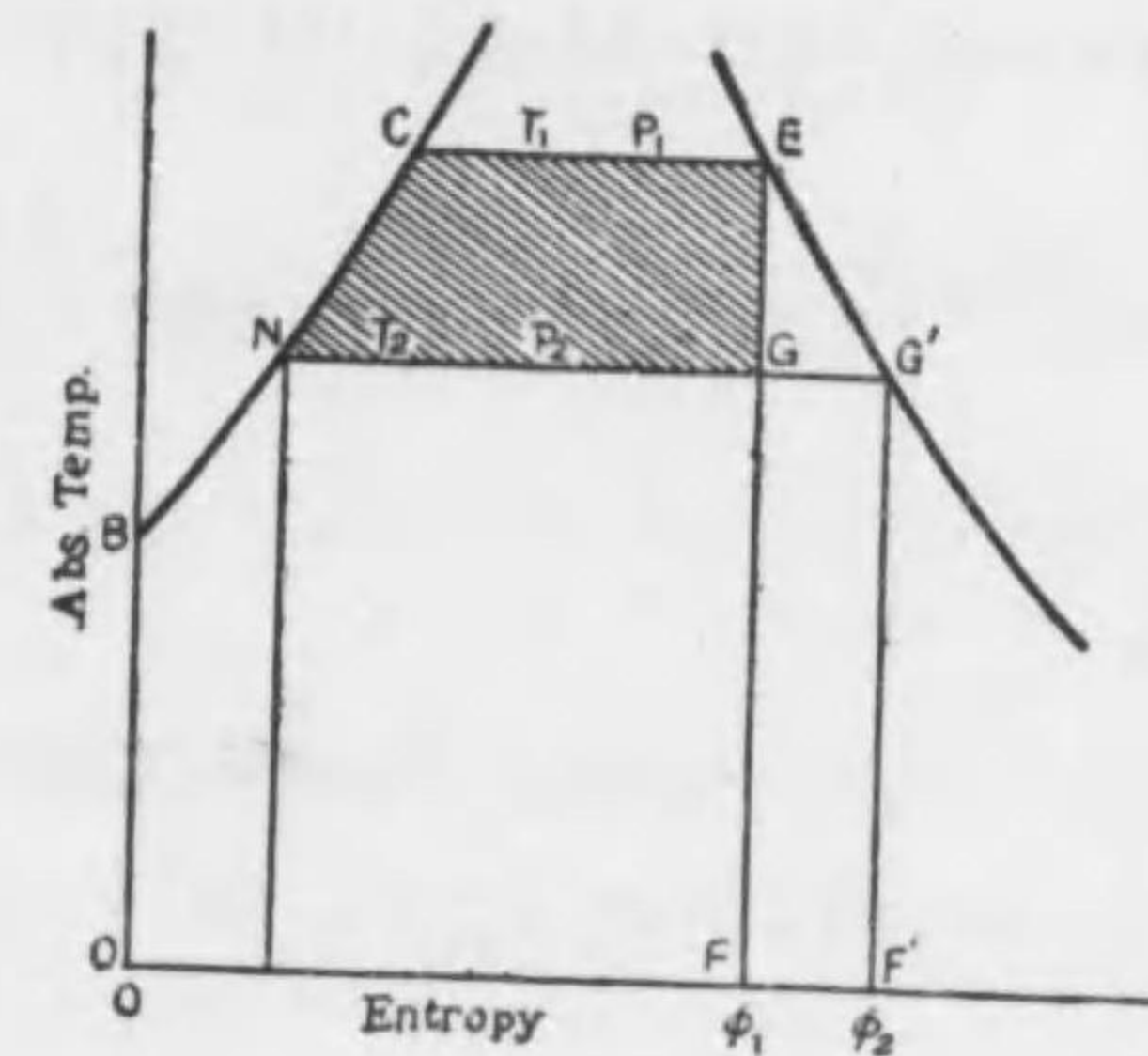
今 第三十八圖ニ於テ F_1 及ビ F_2 ナル壓力ニ相當スル乾燥飽和蒸氣ノ全熱量及ビ「エントロピー」ヲバ夫々 H_1, H_2 及ビ ϕ_1, ϕ_2 ヲ以テ表ハサシムル時ハ完全機械ニ依リテ爲サル、仕事即チ利用シ得ベキ「エネルギー」ハ線圖上ニ於テ面積 $NCEG$ ニテ示サル、ガ故此ノ「エネルギー」 E_a ヲバ全熱量、絕對溫度及ビ「エントロピー」ヲ以テ表ハセバ

$$H_1 = \text{面積 } OBNCEF.$$

$$H_2 = \text{面積 } OBNG'F'$$

$$\begin{aligned} \text{ナルガ故 } E_a &= \text{面積 } (OBNCEF + FGG'F') - OBNG'F' \\ &= H_1 - H_2 + (\phi_2 - \phi_1)T_2. \end{aligned}$$

Fig. 38.



例. 絕對壓力每平方吋 165 呎ノ乾燥飽和蒸氣ノ一吋ヲシテ 15 呎ノ絕對壓力ニ迄斷熱的ニ膨脹セシメタル場合利用シ得ル「エネルギー」ハ幾許ナルカ

解. $P_1 = 165$ $T_1 = 826^\circ$ (蒸氣表ニ依ル)

$$P_2 = 15 \quad T_2 = 673 \quad \text{''}$$

$$H_1 = 1195.0 \text{ B.T.U.} \quad \text{''}$$

$$H_2 = 1150.7 \text{ B.T.U.} \quad \text{''}$$

$$\phi_1 = 1.5615 \quad \text{''}$$

$$\phi_2 = 1.7549 \quad \text{''}$$

$$\text{故 } E_a = 1195.0 - 1150.7 + (1.7549 - 1.5615)673 = 174.5 \text{ P.T.U.}$$

今若シ蒸氣「タービン」ノ噴射孔ノ如キ適當ナル装置ヲ以テ蒸氣ヲ噴出セシメタル時ハ此ノ利用シ得ベキ「エネルギー」ハ速度ニ變化セシメラル而シテ此ノ場合ニハ單位質量ニ就テ次ノ如キ關係式ヲ得

$$\frac{V^2}{2g} = E_a(\text{foot-pounds}) = E_a(\text{B.T.U.}) \times 778$$

$$\therefore V = \sqrt{778 \times 2g E_a} = 223.8 \sqrt{E_a}$$

上式 = 於テ

V 毎秒呎單位 = 於ケル蒸氣ノ噴出速度

g 地球ノ引力 = 起因スル加速度 (32.2呎/毎秒²)

ヲ示ス

依リテ 174.5 B.T.U. ノ熱量 = 依リ得ラル可キ理論上ノ蒸氣噴出速度ハ次ノ如シ

$$V = 223.8 \sqrt{E_a} = 223.8 \times 13.22 = 2956 \text{ 呎/秒}$$

$E_a = H_1 - H_2 + (\phi_2 - \phi_1)T_2$ ナル方程式ハ最初蒸氣ガ乾燥飽和状態 = アリタルモノト假定シタル時得ラレタル關係式ナリ、然レドモ蒸氣ハ膨脹スルニ先チ

(1) 最初ヨリ濕潤状態 = アル時

(2) 最初ヨリ過熱状態 = アル時

ノニツノ場合アルヲ以テ此等ノ場合 = 就テ夫々考究スルヲ要ス

(八七) 濕潤蒸氣ノ利用シ得ル勢力 (Available Energy of Wet Steam)

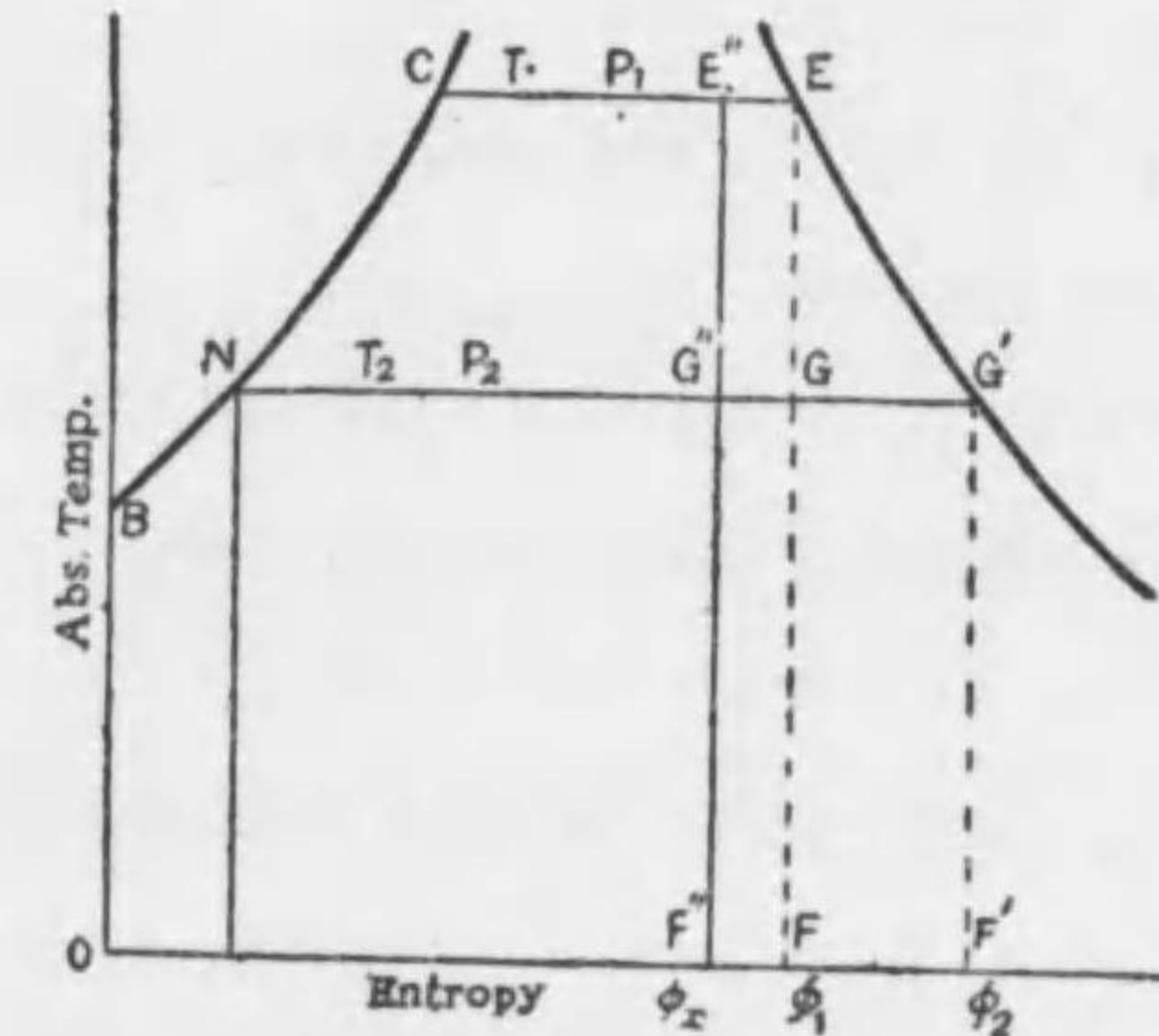
最初ヨリ蒸氣ガ濕リ居ル時モ乾燥飽和蒸氣ノ場合ト同様 = 考究スルコトヲ得而シテ 第三十九圖ハ濕潤蒸氣ノ斷熱膨脹ノ一例ヲ示ス、線圖上 = 於テ最初壓力 P_1 = 於ケル濕潤蒸氣一噸ノ有スル總熱量 $(h_1 + x_1 L_1)$ ハ面積

$OBNC'E'F'$ = ヨリテ示サレ最初ノ性状 x_1 ハ $\frac{CE''}{CE}$ = ヨリテ表ハサル

今壓力 P_1 = 相當スル溫度 T_1 ヨリ壓力 P_2 = 相當スル溫度 T_2 迄濕潤蒸氣ガ斷熱的 = 膨脹シタルモノトスレバ利用シ得ラル、「エネルギー」ハ線圖上 = 於テ面積 $NCE''G''$ = ヨリテ示サル可シ此ノ「エネルギー」ヲ E_{aw}

トスレバ

Fig. 39.



$$E_{aw} = \text{面積 } OBCE'F' + FGG'F' - OBNG'F' - G''E''EG \\ = H_1 - H_2 + (\phi_2 - \phi_1)T_2 - (\phi_1 - \phi_x)(T_1 - T_2).$$

而シテ $\phi_1 = \phi_1 + \frac{I_1}{T_1}$ $\phi_x = \phi_1 + x_1 \frac{L_1}{T_1}$ ナルヲ以テ

$$\phi_1 - \phi_x = \frac{I_1}{T_1} (1 - x_1) \text{ ナリ}$$

$$\text{故ニ } E_{aw} = H_1 - H_2 + (\phi_2 - \phi_1)T_2 - \frac{I_1}{T_1} (1 - x_1)(T_1 - T_2).$$

此ノ利用シ得ラル、「エネルギー」 = 相當スル噴出速度ハ乾燥飽和蒸氣ノ場合ト同様 = 求メ得ルコトハ勿論ナリ

例. 前例 = 於テ蒸氣ガ最初 5「パーセント」濕潤ナル場合其ノ流出速度ヲ算出セヨ

解. $P_1 = 165 \text{ lbs, absolute } T_1 = 825^\circ$

$P_2 = 15 \text{ ,, ,, } T_2 = 673^\circ$

$H_1 = 1195 \text{ B.T.U. } H_2 = 1150.7 \text{ B.T.U.}$

$\phi_1 = 1.5615 \phi_2 = 1.7549$

$L_1 = 856.8 \text{ B.T.U. } x = 1.00 - 0.05 = 0.95$

$$E_{aw} = (1195 - 1150.7) + (1.7549 - 1.5615) \times 673$$

$$- \frac{856.8}{826} (1 - 0.95)(826 - 673)$$

$$= 166.5 \text{ B.T.U. per pound of wet steam.}$$

而シテ $V = 223.8 \sqrt{E_{aw}} = 223.8 \times \sqrt{166.5} = 223.3 \times 12.9$
 $= 2886 \text{ feet per second.}$

「モリエル」線圖ヲ使用セバ此ノ問題ハ極メテ簡單ニ解クコトヲ得ベシ即チ線圖上ニ於テ 0.95 ノ乾度線ト 165 听ノ壓力線トノ交點ハ 1152 B.T.U. ノ總熱量線ニアルコトヲ知り得ベク其ノ點ヨリ「エントロピー」=1.507 ナル垂直線ヲ辿リ下方ニ於テ 15 听ノ壓力線トノ交點ヲ見出セバ斷熱膨脹後ニ於ケル總熱量ハ 985 B.T.U. ナルコトヲ知り得ルガ故ニ

利用シ得ル「エネルギー」=1152-985=167 B.T.U.

此ノ結果ハ前法ニヨリテ求メタルモノト同一ナリ
 (八八) 過熱蒸氣ノ利用シ得ル勢力 (Available energy of Superheated steam).

過熱蒸氣ヲバ斷熱的ニ膨脹セシメタル時利用シ得ル勢力ハ前法ト同様ニ線圖ニ依リテ求ムルコトヲ得、第四十圖ハ利用シ得ル勢力ヲ示ス線圖ナリ、但シ膨脹後ニ於ケル状態ヲバ二ツニ區分シテ考フルコト必要ナリ

- (1) 膨脹後ニ於テモ尙ホ過熱状態ニアル時
- (2) 膨脹後ニ於テ濕潤又ハ飽和状態ニアル時

今

E_{as} 最初ヨリ過熱セラレタル蒸氣ガ斷熱的ニ膨脹シタル時其ノ一
 毎ニ利用シ得ベキ勢力(英熱單位)

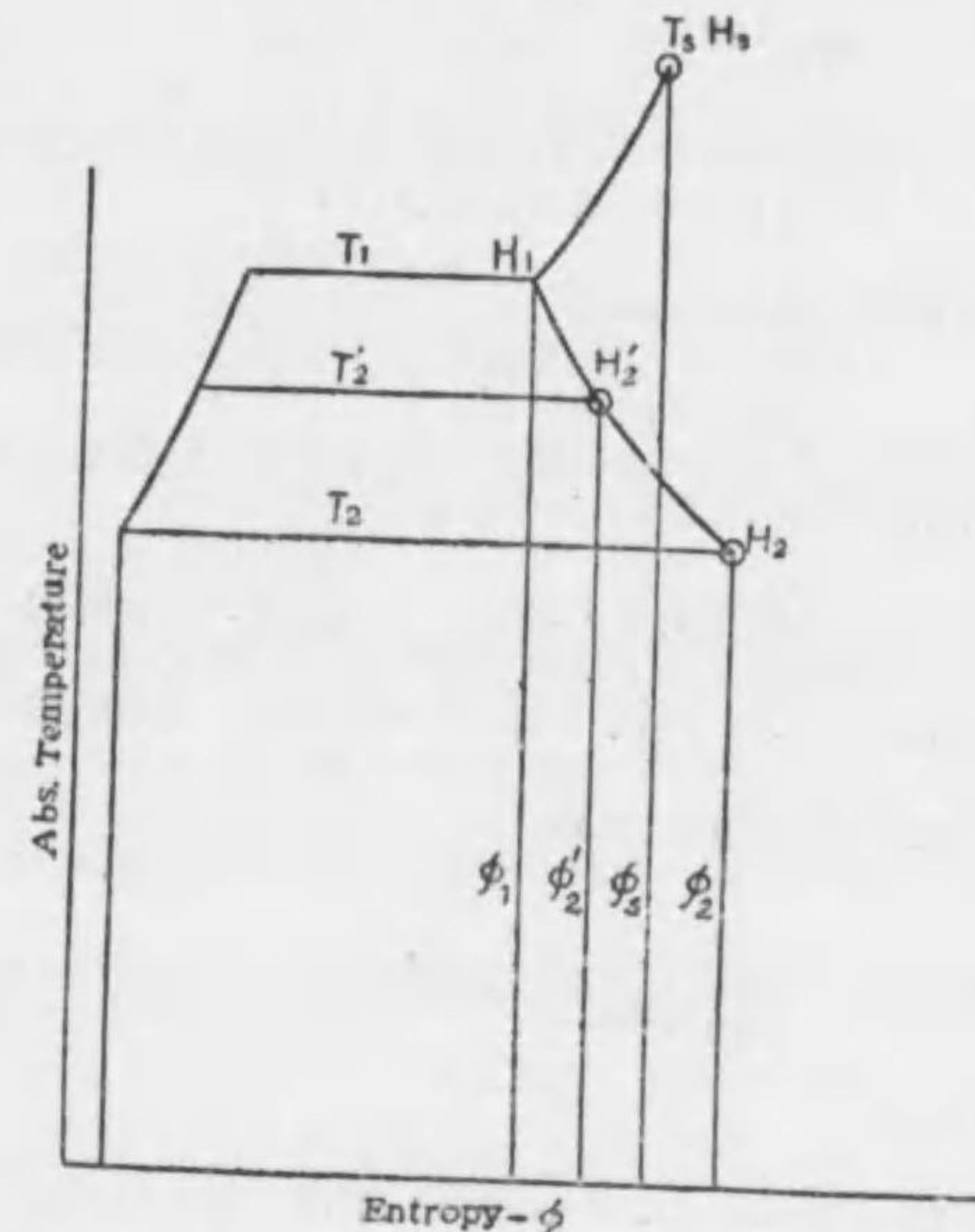
ϕ_s 過熱蒸氣ノ總「エントロピー」

H_s 最初ノ状態ニ於ケル過熱蒸氣ノ有スル總熱量

トセバ膨脹後ニ於テ蒸氣ガ濕潤状態ニアル場合ニハ線圖上ヨリ

$$E_{as} = H_s - H_2 + (\phi_2 - \phi_s) T_2 \dots \dots \dots (A)$$

Fig. 40.



又蒸氣ガ膨脹後ニ於テモ尙ホ過熱状態ニアル時ハ

$$E_{as} = H_s - H'_2 - (\phi_s - \phi'_2) T'_2 \dots \dots \dots (B)$$

ナル關係式ヲ得ベシ而シテ (A) (B) 兩式ト

$$E_a = H_1 - H_2 + (\phi_2 - \phi_1) T_2 \dots \dots \dots (C)$$

ノ方程式ヲ比較スル時ハ全ク相等シク單ニ (A) = 於テハ (C) 式中ノ H_1, ϕ_1 ノ代ハリニ H_s, ϕ_s ヲ用ヒタルニ過ギズ、換言スレバ (C) 式ハ最初過熱セラレタル程度ニ應ジ蒸氣表ニヨリテ其ノ總熱量並ニ「エントロピー」ヲ求メ其ノ値ヲ使用スレバ過熱蒸氣ニ對シテモ適用スルコトヲ得
 例. 絶對壓力每平方吋 150 听ニシテ 300°F. 丈過熱セラレタル蒸氣ヲバ 1 听ノ壓力迄斷熱的ニ膨脹セシメタル場合其ノ蒸氣ノ 1 听毎ニ利用シ得ベキ勢力ハ英熱單位ニテ幾許ナルカ

解. $H_s = 1348.8$ B.T.U. per pound.

$H_2 = 1104.4$ " " "

$\phi_2 = 1.975$ $\phi_s = 1.732$

$T_2 = 561.8$

$$E_{as} = 1348.8 - 1104.4 + (1.975 - 1.732) 561.8$$

$$= 380.9 \text{ B.T.U. per pound.}$$

熱量「エントロピー」線圖ヲ用ユレバ

$$1349 - 967 = 382. \text{ B.T.U. per pound.}$$

例. 前問題ニ於テ最終壓力ヲバ35听トセバ利用シ得ル勢力ハ幾許ナルカ
但シ此場合ニ於テハ蒸氣ハ膨脹後ト雖モ尙ホ過熱状態ニアリ

解. $H_s = 1348.8$ B.T.U. per pound.

$H_2 = 1166.8$ " " "

$\phi_s = 1.732$ $\phi_2 = 1.6868$

$T_2 = 718.9^\circ\text{F.}$

$$\therefore E_{as} = 1348.8 - 1166.8 - (1.732 - 1.6868) 718.9$$

$$= 149.5 \text{ B.T.U. per pound.}$$

(八九) 蒸氣機關ノ解法ニ關スル溫度「エントロピー」線圖ノ適用

(Application of Temperature-entropy Diagram to Analysis of Steam Engine).

蒸氣機關ノ作働狀況ハ既ニ述ベタル如ク壓力容積線圖ニ依リテ詳知シ得ル
ノミナラズ溫度「エントロピー」線圖ヲ用ヒテモ亦研究スルコトヲ得而シ
テ此ノ T- ϕ 線圖ハ圖解的ニ蒸氣機關ニ於テ實際仕事ニ轉換セラレタル熱
量並ニ蒸氣機關内ニ於テ生ズル損失ノ分配ヲモ示スモノナリ

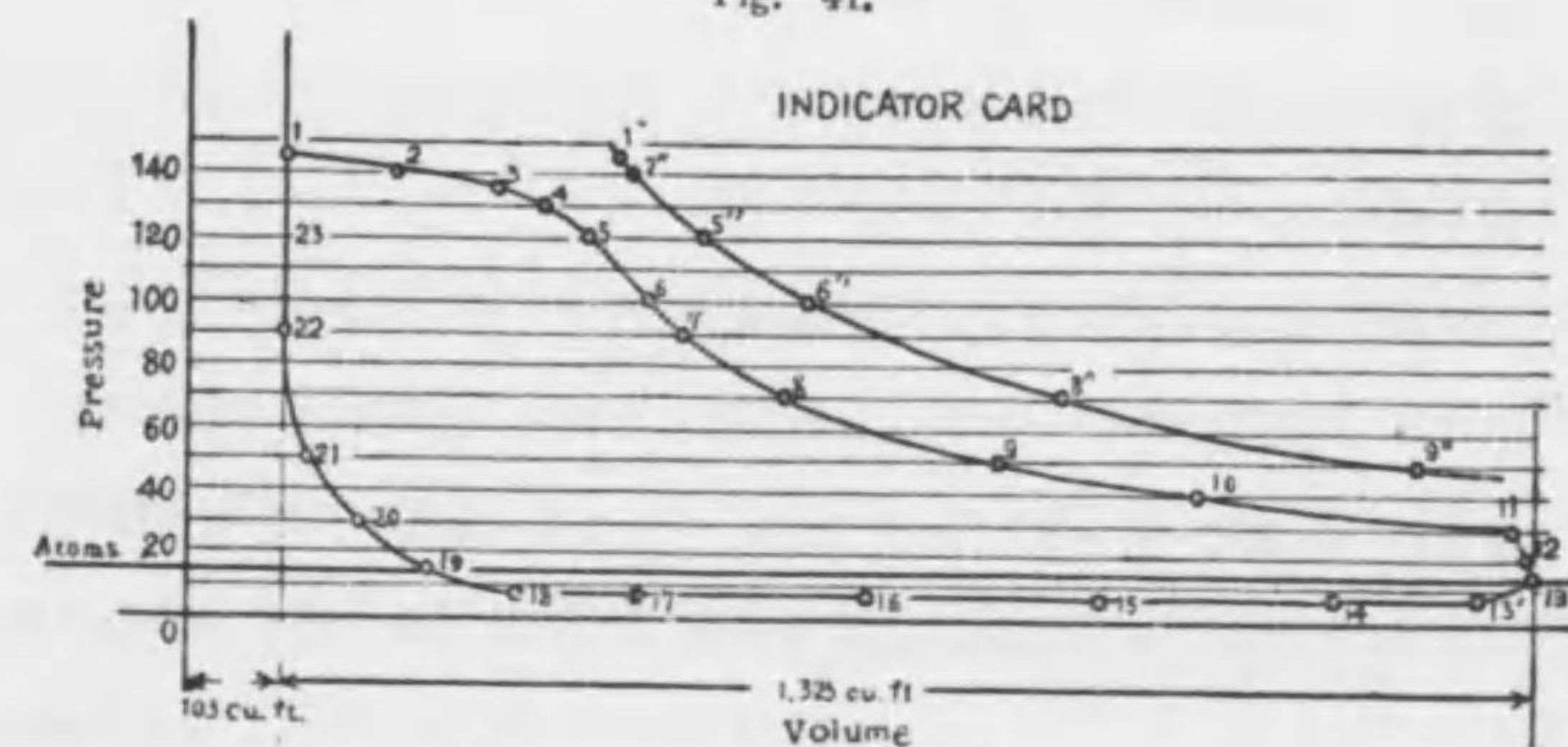
茲ニ或ル蒸氣機關ヨリ撮取セラレタル一枚ノ指壓圖アリ其ノ筒容積ハ
1.325 立方呎ニシテ 7.74 「パーセント」即ハチ 0.103 立方呎ノ遊隙ヲ有シ
各行程毎ニ筒内ニ供給セラル、蒸氣ノ重量ハ 0.14664 听ナリ、指壓圖撮取

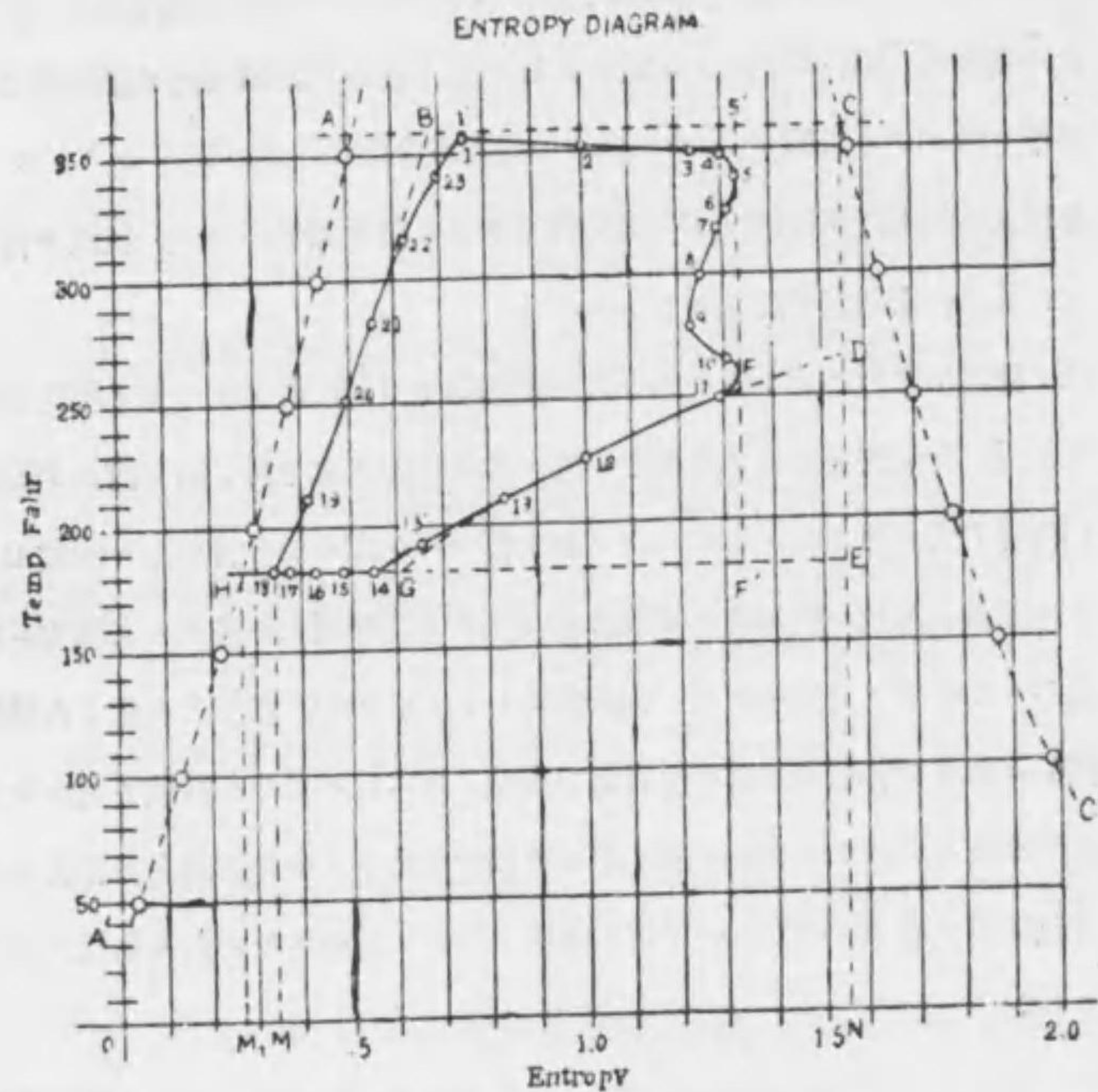
當時ニ於ケル氣壓ハ絕對壓力毎平方吋 14.5 听ニシテ指壓圖撮取用ニ供シ
タル發條ハ 80 听=1 吋ナル割合ヲ有セリ、而シテ蒸氣筒内ノ絕對壓力ハ
毎平方吋ニツキ 153 听ニシテ蒸氣ハ最初乾燥飽和状態ニ在ルモノトス
今以上ノ如キ既知條件ノ下ニ於テ得ラレタル指壓圖ヲバ T- ϕ 線圖ニ轉寫
シテ其ノ作働狀況ヲ詳査セントス

此ノ轉寫法ヲ行ハントセバ先ツ大氣壓力以下 14.5 听ヲ示ス所ノ絕對零線
ヨリ 10 听ノ間隔ニ於テ第四十一圖ニ示スガ如ク水平線ヲ引ケ而シテ後飽
和曲線ヲ引ク可シ此ノ方法ハ次ノ如ク行フベシ即ハチ各行程毎ニ消費セラ
ル、蒸氣ノ重量ハ既知ナルガ故蒸氣表ニヨリ指壓圖上ニ於ケル各壓力ニ相
當スル比容積ヲ見出し兩者ノ相乘積即ハチ (0.14664 \times 各壓力ニ於ケル比容
積) ニ依リテ各壓力ニ於ケル實際ノ容積ヲ求ムレバ是レ各状態ニ於ケル立
方呎單位ニテ示サレタル飽和蒸氣ノ容積ナリ依リテ各壓力線上ニ相當スル
容積ヲ示ス點 2".5".6".....ヲ定メ此等ノ諸點ヲ連結スレバ飽和曲線ヲ得
ルベシ

次ニ轉寫表 (transformation table) ヲ作製セヨ、但シ復水及ビ蒸發作用ハ
共ニ筒内ニ於テ起ルモノト假定シ T- ϕ 線圖ハ通常ノ如ク蒸氣 1 听ニ就テ
畫カルベキモノトス

Fig. 41.





T-φ diagram of actual steam engine indicator diagram.

表中.

- 第一行……指壓圖上ニ示サレタル各點
- 第二行……各點ニ相當スル絕對壓力
- 第三行……各壓力ニ相當スル溫度
- 第四行……各點ニテ示サレタル容積(立方呎)
- 第五行……各壓力ニ於ケル乾燥飽和蒸氣ノ比容積(蒸氣表ニヨリテ求ム)
- 第六行……蒸氣一噸ノ實際容積(第四行ニ示シタル容積ヲ各行程毎ニ消費セラル、蒸氣ノ總重量ナル 0.14664 噸ニテ除シタルモノナリ)

Transformation Table

Point number	Pressure, lbs per sq. in. abs.	Temperature (Fahr.)	Volume to a certain point.	Sp. vol. per lb. dry and saturated steam.	Volume of actual steam per lb. (cu. ft.)	Dryness fraction (x)	Entropy of evaporation L/T	L/T	Entropy liq. id. (φ)	Total entropy (φ)
1	145	356	0.1050	3.11	0.716	0.2302	1.0612	0.2440	0.5107	0.7547
a	140	353	0.2250	3.22	1.536	0.4770	1.0675	0.5090	0.5072	1.0162
5	120	341	0.4230	3.73	2.890	0.7740	1.0954	0.8475	0.4919	1.3394
9	48	279	0.8500	8.84	5.810	0.6580	1.2536	0.8250	0.4077	1.2327
12	20	228	1.4225	20.08	9.700	0.4830	1.3965	0.6740	0.3355	1.0095
15	8	183	0.9758	47.27	6.060	0.1410	1.5380	0.2168	0.2673	0.4841
18	8	183	0.3500	47.27	2.390	0.0506	1.5380	0.0778	0.2673	0.3451
20	30	250	0.1825	13.74	1.245	0.0907	1.3311	0.1208	0.3680	0.4888

第七行……第五行ノ各容積ヲ以テ第六行ノ實際容積ヲ除シ求メタル所ノ乾度

第八行……各狀態ニ於ケル蒸發作用中ノ「エントロピー」ノ増量 $\frac{L}{T}$ (蒸氣表ニ依リテ求メタルモノ)

第九行……第七行ノ乾度ト第八行ノ $\frac{L}{T}$ トノ相乗積

第十行……蒸氣表ニ依リテ求メタル各狀態ニ於ケル水ノ「エントロピー」

第十一行……第九行ト第十行ノ和即ハチ總「エントロピー」等ヲ示スモノナリ

此ノ表ヲ完成シタル時ハ第三行ノ華氏溫度ト第十一行ノ總「エントロピー」トニヨリテ溫度「エントロピー」線圖上ニ多數ノ點ヲ求メヨ、但シ適當ナル「スケール」ヲ撰定シ縱軸ニ溫度横軸ニ「エントロピー」ヲ取ルモノトス、斯クシテ求メタル 1 ヨリ 23 ニ至ル多數ノ點ヲ連結スル時ハーツノ閉結線圖ヲ得ベシ

此ノ線圖ノ面積ハ即ハチ實際ニ仕事ニ轉換セラルタル熱量ヲ示スモノナリ而シテ此ノ線圖ハ指壓圖ヨリ轉寫シタル實際ノ溫度「エントロピー」線圖

ナルガ故「ランキン、サイクル」線圖ト重ネ合ハスレバ熱ノ損失量並ニ其ノ配布状態ヲバ明ニ知ルコトヲ得、線圖上ニ示シアル水線ノ AA' 及ビ飽和線 CC' ハ直接蒸氣表ニヨリ得ラレタル値ニヨリテ多數ノ點ヲ求メ此等ノ諸點ヲ連結シテ畫キタルモノナリ

圖上ニ於テ理論上ノ「ランキン、サイクル」ハ HACE. ニヨリテ示サル而シテ此ノ「サイクル」ニ於テハ蒸氣ハ斷切セラル、迄其ノ壓力ヲ維持シ斷切點ニ達シタル時背壓力ニ等シキ壓力迄斷熱的ニ膨脹シ最後ニ毫モ壓縮作用ヲ起サズシテ行程ノ終リ迄一定壓力ニ於テ排氣セシメラル、モノナリ、而シテ圖上ニ示サレタル C 點ハ絕對壓力 153 呎ノ蒸氣壓力ニ相當スル等溫度線 AC ト飽和曲線 CC' トノ交點ナリ

此ノ H-A-C-E ナル線圖ハ第一遊隙ナキ時ニ於テ操作物質ノ一呎ニ對スル「ランキン、サイクル」ヲ示スモノニシテ

供給セラレタル熱量 = 面積 $M_1 HACN$.

排氣中ニ放捨セラレタル熱量 = 面積 $M_1 HEN$.

ナリ

「但シ双方ノ面積ハ絕對零線以上ノ面積ヲ示サマルガ故供給セラレタル熱量及ビ放捨セラレタル熱量ヲ考フル場合ニハ線圖上ニ示サレザル $M_1 N$ 線ト絕對零線トノ間ノ矩形ノ面積ヲバ夫々加フルヲ要ス」

依リテ 仕事 = 轉換セラレタル熱量 = 面積 HACE.

理論上ノ「ランキン、サイクル」ニ在リテハ上述ノ如ク面積 HACE = 依リテ示サレタル熱量ヲバ仕事ニ轉換セシメ得レドモ實際ノ蒸氣機械ニ於テハ種々ナル損失アルガタメ斯ク多量ノ熱ヲバ仕事ニ轉換セシムルコト能ハズ故「ランキン、サイクル」ハ單ニ實際ニ撮取セラレタル指壓圖トノ比較ニ使用セラル茲ニ實際ノ指壓圖ヨリ轉寫セラレタル線圖ト「ランキン、サイクル」線圖トヲ比較スルニ實際ニ仕事ニ轉換セラレタル熱量ヲ示ス面

積 1-2-3.....22-23 ト「ランキン、サイクル」ノ面積 HACE トノ間ニハ著シキ差アルコトヲ知ルベシ、此ノ差ハ即ハチ實際蒸氣機關ニ於ケル種々ナル損失ヲ示スモノニシテ更ニ此等ノ損失ヲ細別スレバ

面積 1-5-5'-1' = ヨリテ表ハサレタル仕事量

= 絞作用 (wire-drawing) = 因ル損失

面積 5'-C-D-F = 初期復水 (initial condensation) = 起因スル損失

面積 F-12-14-F' = 開放ノ早キタメ起ル損失

面積 D-G-E = 不完全膨脹ノタメニ起ル損失

面積 22-B-1-1' = 不完全壓縮ノタメニ起ル損失

面積 H-A-B-18 = 遊隙ノタメニ起ル損失

等ヲ示ス

而シテ 5. ヨリ 9. = 至ル膨脹線ハ管壁ニ熱ヲ與ル結果「エントロピー」ノ減少ヲ來シツ、アルコトヲ示シ、9 ヨリ 10 = 至ル膨脹線ハ再蒸發 (Re-evaporation) ノタメ「エントロピー」ヲ増加シツ、アル有様ヲ示ス

以上列挙シタル熱損失ハ漏氣ニ起因スル蒸氣ノ浪費アルガ故必シモ蒸氣ニ對シ起リタル熱ノ移動ノミニ原因スルモノニアラズ然レドモ一般ニ此ノ溫度「エントロピー」線圖ハ此等ノ熱損失ヲ表示スル上ニ於テ遺憾ナキモノト考フルコトヲ得

第四十二圖ハ實際ノ熱効率 (actual thermal efficiency) ト理論上ノ熱効率 (theoretical thermal efficiency) ヲバ線圖上ニ於テ如何ニシテ求ムベキカヲ説明スルタメニ畫キタルモノニシテ單ニ第四十一圖ニ絕對零溫度線ヲ附加シタルノミナリ

而シテ 熱効率 = $\frac{\text{爲サレタル仕事}}{\text{加ヘラレタル熱量}}$

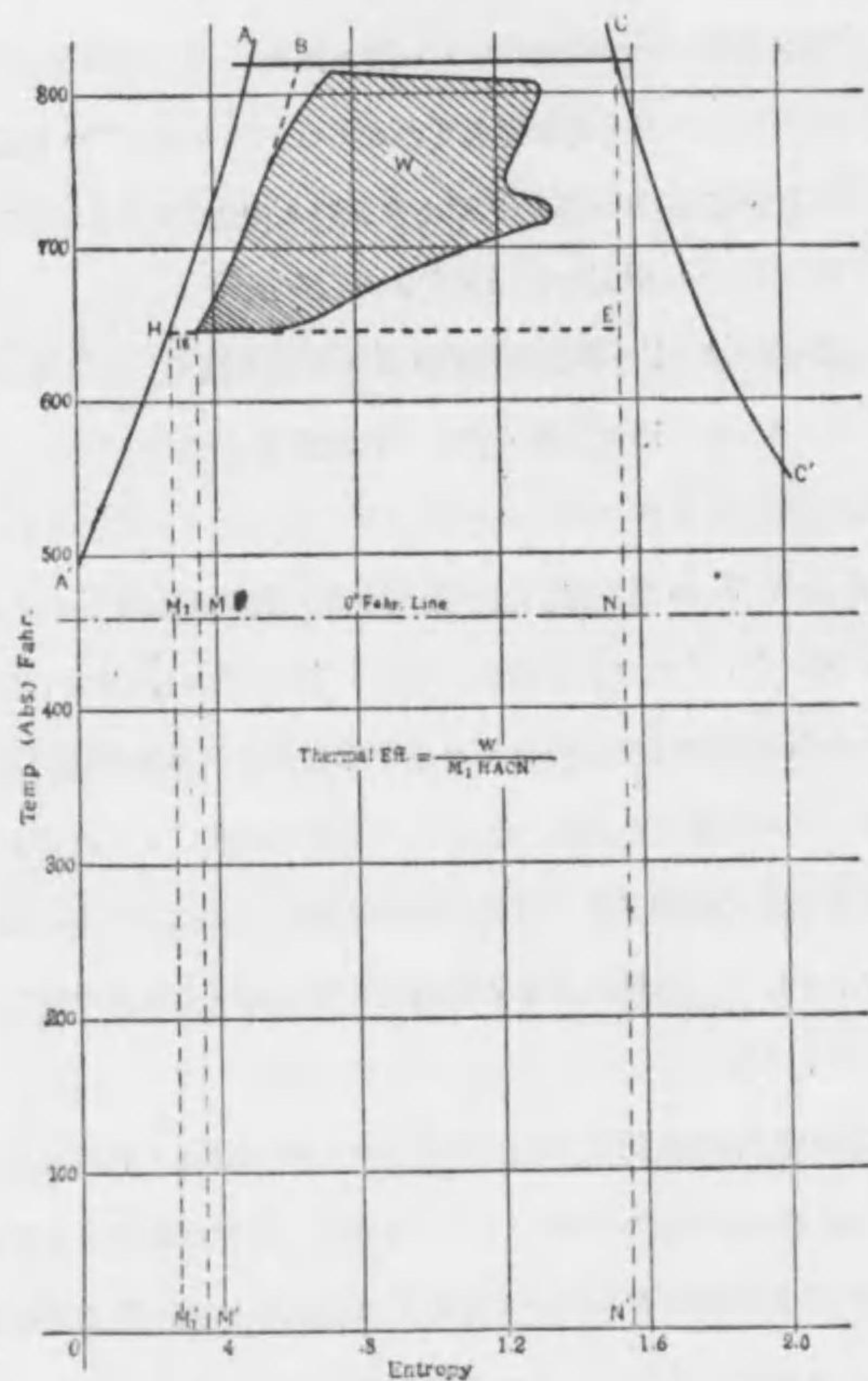
ナルヲ以テ各効率ハ次ノ如ク表ハスコトヲ得ベシ

即ハチ

$$\text{Actual thermal efficiency} = \frac{\text{Shaded area } W}{M_1' - H - A - C - N'}$$

$$= \frac{2.50 \text{ sq. in.}}{26.00 \text{ sq. in.}} = (\text{Planimeter}) = 0.096 \text{ or } 9.6 \text{ per cent.}$$

Fig. 42.



茲ニ得ラレタル効率ハ一行程ニ對スル實際効率ト考フベキモノナリ、然レドモ運轉中ノ機械ニ在リテハ筒ノ遊隙ヲ滿タシタル「クツション、スチーム」ハ次ノ行程ニ於テ使用セラル、ガ故面積 A-B-18-H ニヨリテ表ハ

ザレタル熱量ハ每行程ニ要セラル、熱量ヨリ除外スルコトヲ得ベシ從ツテ運轉狀態ニ於ケル蒸氣機關ノ實際熱効率ハ

$$\frac{W}{M' - 18 - B - C - N'}$$

ニヨリテ示スコトヲ得ベシ而シテ 18-B-C-E ハ遊隙ヲ有スル筈ニ於テ完全ナル壓縮作用ヲ行ヒタル「ランキン、サイクル」ヲ示スモノナリ

次ニ

Rankine cycle efficiency (theoretical thermal efficiency)

$$= \frac{H - A - C - E}{M_1' - H - A - C - N'} = \frac{5.29}{26.00} (\text{Planimeter})$$

$$= 0.203 \text{ or } 20.3 \text{ per cent.}$$

「ランキン、サイクル」効率 (Em) ハ常ニ熱機械ノ最大効率 $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ヨリモ低ク又蒸氣機械ノ實際熱効率ハ「ランキン、サイクル」効率ヨリモ遙ニ低シ、斯ノ如ク蒸氣機械ニ於テ得ラル、効率ノ甚ダシク低キハ既ニ述ベタル種々ノ損失ヲ惹起スルガタメナリ、茲ニ理論上ヨリ此等ノ損失ヲ種別スレバ

(1) 原則的ニ避ケ得ベカラザル熱力學上ノ損失

$$(1 - E_m)Q \text{ 但シ } Q \text{ ハ與ヘラレタル熱量ヲ示ス}$$

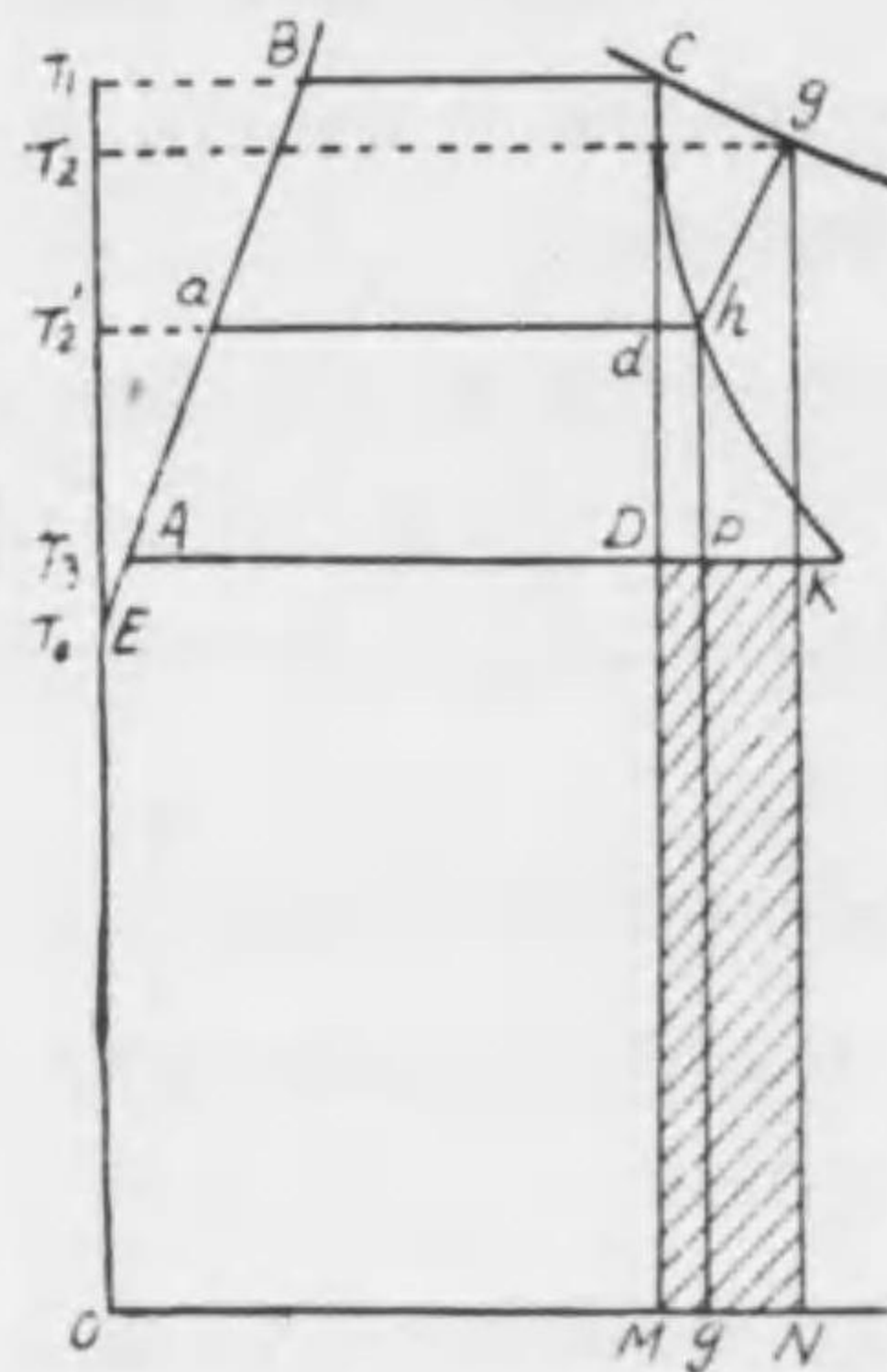
(2) 機械ノ材料、構造、調整及ビ取扱等ノ完全ナラザルガタメニ起ル損失 $E_m Q - W$.

依リテ蒸氣機械ノ實際ノ効率ヲ増進セシメンニハ第一ニ熱力學上ノ効率ヲ増シ次ニ實効率 $\frac{W}{E_m Q}$ ヲ増スベキナリ而シテ前者ヲ増加スルニハ温度ノ界限ヲ許ス限リ廣ムルヲ要ス即チ出來得ル限リ機械ノ使用壓力ヲ高メ冷汽器ノ真空ヲ高度ニスレバ可ナリ、過熱蒸氣ノ使用ハ壓力ヲ高メズシテ温度ノ上限ヲ高ムル一法ナレドモ過熱蒸氣ヲ使用スレバ熱ノ散逸ヲ増加スルハ止ムヲ得ザル事ナリ又實効率ヲ増加センニハ前述ノ諸損失ヲバ減少セシムルヲ要ス

(九〇) 絞氣又ハ絞作用ノ影響 (Effects of Wire-drawing or Throttling action).

絞作用ハ機械の仕事ニ變化シ能ハザル「エネルギー」ヲ増加スルモノナリ
換言スレバ絞氣ノ結果ハ溫度ニ關シ「エネルギー」ノ品位ヲ低落セシム、
茲ニ溫度「エントロピー」線圖ニヨリテ絞氣ノ影響ヲ考究センニ最初蒸氣
ハ絕對溫度 T_1 ニ於テ飽和狀態ニ在ルモノトシ T_3 ヲ最低溫度トセバ一
毎ニ有スル全熱量ハ第四十三圖ノ面積 OEBCMニヨリテ表ハサレ其ノ一

Fig. 43.



部面積 ABCD. ハ利用シ得ベキ「エネルギー」ヲ示ス、若シ蒸氣ガ P_2 壓力
迄絞氣セラル、モノトスレバ蒸氣表ニ示シアル壓力 P_2 ニ相當スル溫度
 T_2' ニ於テ ah 線ヲ引キ然ル後、面積 oEahgNト面積 OEBCMガ相等シ
クナル如ク g 點迄過熱線ヲ引クベシ然ル時ハ T_2 ハ壓力 P_2 迄絞氣セラ
レタル過熱蒸氣ノ溫度ナリ、即ハチ此ノ蒸氣ハ壓力 P_2 ニシテ溫度ハ T_2

ヨリ T_2 迄過熱セラレアリ、上記ノ説明ハ每一斤ノ全熱量ハ絞作用ノ前後
ニ於テ同一ナリトノ假定ニ基キタルモノナレドモ實際此ノ假定ハ殆ド眞
ナリ

圖上ニ於テ面積 OEAKNハ使用シ得ザル「エネルギー」ヲ示スガ故ニ絞
氣ノ結果使用シ能ハザル「エネルギー」ハ面積 MDKNニテ示サレタル
量丈増加シタリ、是レ即ハチ利用シ得ベキ「エネルギー」ノ減少トナルモ
ノナリ

蒸氣機械箱ニ於テハ蒸氣口及ビ蒸氣路ノ摩擦抵抗等ノタメ箱内ノ壓力ハ第
四十一圖ニ示スガ如ク給入ノ間罐壓力ヨリモ低ク又排出ノ間ハ冷汽器壓力
ヨリモ高シ是レ等モ亦損失ノ原因トナルモノナリ

(九一) 箱壁ノ作用 (Action of the cylinder wall).

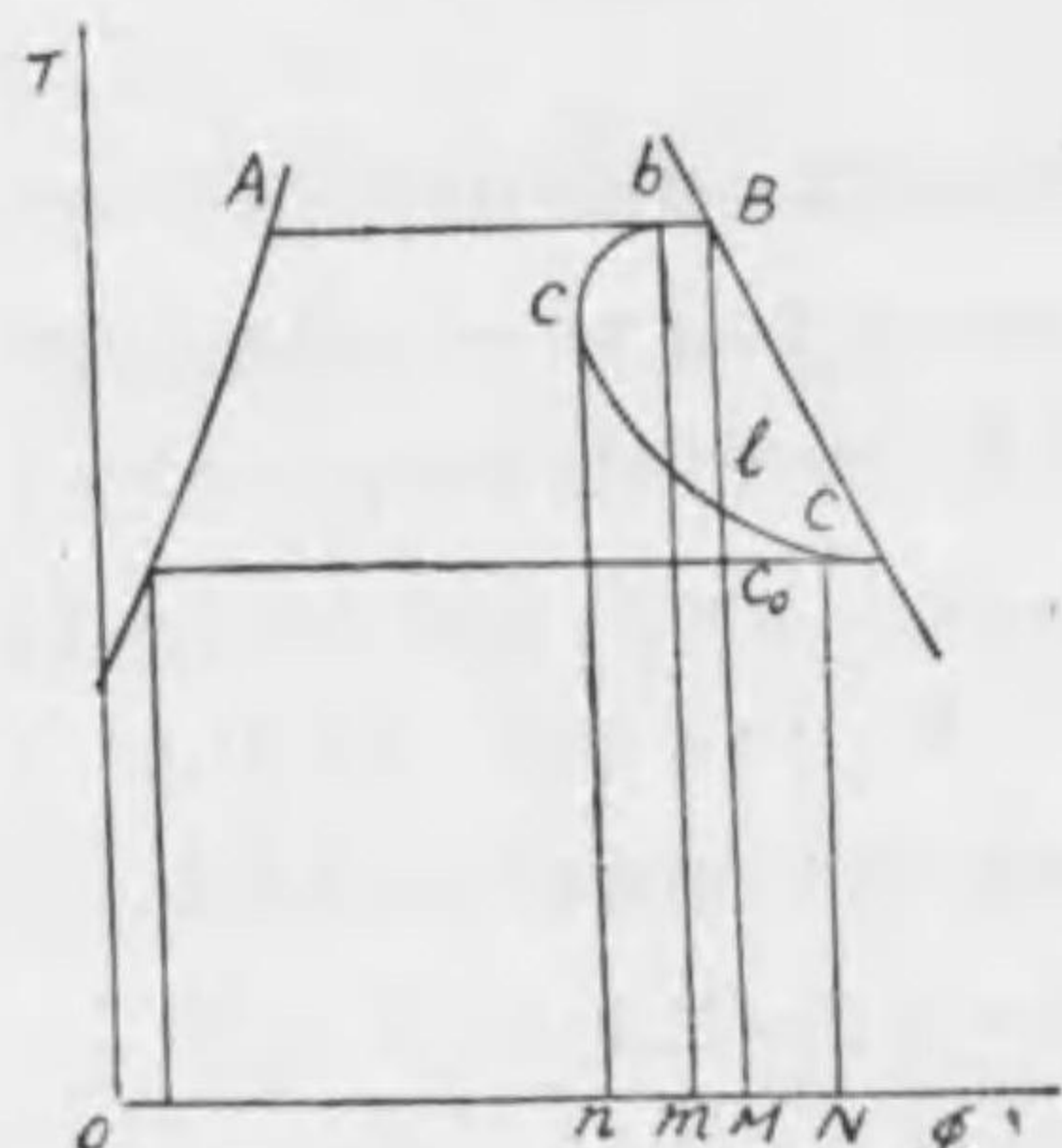
實際ノ機械ニ於テハ箱ノ胴、吸鈔、並ニ蓋等ハ何レモ熱ノ良導體ヲ以テ構
成セラレ交互ニ高溫度ト低溫度ニ接觸セシメラル、ガ故蒸氣ノ有スル「エ
ネルギー」ノ一部ハ箱壁ノ媒介ニヨリテ有効ノ仕事ヲ爲サズシテ直接冷汽
器ニ逃去スルノ結果ヲ生ズ

箱内ニ進入スル蒸氣ハ低溫度ナル箱壁ニ觸レ熱ヲ奪ハレ其ノ一部ハ復水ス
之ヲ初期復水 (initial condensation) ト云フ此ノ復水作用ハ蒸氣ガ斷切セ
ラル、後モ依然トシテ續行シ蒸氣ノ膨脹ニ依ル濕潤ノ増加ト相待ツテ益々
乾度ヲ減ズルニ至ルモノナリ然レドモ或程度以上ニ膨脹シ蒸氣ノ溫度ガ却
ツテ箱壁ノ溫度ヨリ下降スルニ至レバ反對ニ蒸氣ハ箱壁ヨリ熱ヲ奪ヒ復水
ノ一部ハ再蒸發ス此ヲ再蒸發 (re-evaporation) ト云フ

箱壁ガ單ニ低溫度ノ蒸氣ニ曝露セラル、ノミナレバ溫度ヲ下スコト左程甚
シカラザレドモ再蒸發作用ノタメニ甚シク溫度ヲ下降セシメラ、モノニシ
テ再蒸發ガ低溫度ニ於テ行ハル、程初期復水ニヨリテ起ル損失多シ、實際
ニ於テ復水ノ再蒸發ハ開放迄ニ終ルコトナク冷汽器ニ排氣中モ尙ホ之ヲ繼

續スルコトアリ第壁ノ作用ヲバ第四十四圖ニ付テ説明スレバ蒸氣溜ニ於ケ

Fig. 44.



ル状態 B ナル蒸氣ハ初期復水ノタメニ b = テ示サレタル状態ニ變ズ此ノ
間第壁ニ傳ハリタル熱量ハ面積 MBtm ナリ、bc ハ初期ノ膨脹ヲ示シ面
積 mbcn ハ其ノ間ニ於テ第壁ニ傳ハル熱量ヲ示ス、又 cC ハ膨脹ノ後半
部ニシテ再蒸發ノタメ「エントロピー」ノ増加シツ、アル有様ヲ示シ面積
ncCN ハ第壁ヨリ奪ヒタル熱量ヲ示ス

第壁ノ作用ノ多少ハ温度ノ差、膨脹ノ度合、回轉速度及ビ第壁面ト容積ノ
比等ニヨリテ異ナル即ハチ

- (1) 最初温度ト最終温度ノ差大ナル時ハ初期復水及ビ再蒸發ヲ増ス
- (2) 膨脹ノ度合大ナル時ハ復水量多ク從ツテ再蒸發烈シ
- (3) 回轉速度遅キ時ハ壁ト蒸氣トノ接觸時間長キヲ以テ作用ヲ受クル
コト甚シ
- (4) 第壁面ト第容積トノ比大ナルモノハ蒸氣ノ單位質量ニ對シ作用面
大ナルヲ以テ其ノ割合ニ作用モ亦大ナリ

(九二) 蒸氣衣 (Steam jacket) ノ効力

直動式機械ノ第ニ蒸氣衣ヲ備フル目的ハ蒸氣ノ膨脹中並ニ排出中第壁ガ奪
ヒ去ラル、熱ヲ外部ヨリ補給シ以テ初期及ビ膨脹中ノ復水ヲ減ジ而シテ再
蒸發ヲ防止スルニ在リ、即ハチ第内ニ於テ復水スル代リニ蒸氣衣内ニ於テ
復水セシメ第内ニ於テ復水ノ致ス惡結果ヲ除去スル目的ニ出デタルモノニ
シテ理論上甚ダ有効ナルガ如シト雖モ實際ニ於テハ温度ノ交番變化迅速ナ
ルヲ以テ蒸氣衣ヨリ充分ニ熱ヲ給スル暇ナキト蒸氣衣内ニ於テハ蒸氣ヲ膨
脹セシメズシテ使用シ且ツ排出蒸氣ニモ熱ヲ供給スルトニヨリ蒸氣衣ノタ
メニ徒ラニ多量ノ蒸氣ヲ直接冷汽器ニ送り損失ヲ招クヲ以テ其ノ使用ハ必
ズシモ有効ナラズ、之ヲ要スルニ蒸氣衣ヲ用ヒテ利ナルカ害ナルカハ一ニ
綿密ナル實驗ニ俟ツテ決定セザル可カラザルモノナリ、爾來施行セル實驗
ノ結果ニハ經濟ナルモノモアレバ又不經濟ナリシモノモアリテ所論一定セ
ズ其ノ効率ニ於テ大差ナキモノ、如シト雖モ第内ノ蒸氣壓力ニ應ジテ蒸氣
衣内ノ蒸氣壓力ヲ適切ニ加減シ其ノ取扱宜シキヲ得バ之レガ使用ノ利益ナ
ルハ明白ナリ

第ノ排出蒸氣ヲ蒸氣衣ニ用ヒ或ハ第ニ給入スルニ先チ蒸氣衣ヲ通ズル如キ
計畫ハ一見甚ダ有効ナルガ如シト雖モ兩場合トモ不結果ヲ來タスモノニシ
テ蒸氣衣ニ使用スル蒸氣ハ罐ヨリ獨立ニ供給スルヲ良シトス

最近ノ傾向ハ現今ノ如キ高速度數段膨脹機械ニ在リテハ各第ノ蒸氣衣ハ之
ヲ使用セザルトモ機械ノ經濟ニハ影響スルコトナシト云フニ歸着シツ、ア
ルガ如シ

(九三) 數段膨脹機械 (Multiple stage expansion engine).

理想的機械ハ複式トナスモ其ノ効率ニ關シテハ單式ト同様ナリ然レドモ前
述ノ如ク不可逆變化ヲ生ズル實際ノ蒸氣機械ニ在リテハ數段ニ分チ膨脹セ
シムルヲ利益トス、茲ニ單式機械ニ比シ複式ノ有スル熱力學上ノ利點ヲ列

舉スレバ

- (1) 各箱ノ温度ノ變化勢キヲ以テ箱壁ノ作用ヲ減ズルコト
- (2) 高中壓箱ニラ再蒸發シタル蒸氣及ビ吸鈔、滑瓣等ヨリ漏洩シタル蒸氣ハ次ノ箱ニ至リテ仕事ヲ爲シ得ルコト
- (3) 箱ノ遊隙ヲ補充スル蒸氣量ヲ減ズルコト

等ナリ

此ノ外箱ヲ多數ニ分割スレバ力學上ニモ多大ノ利益ヲ得ラル、ヲ以テ現時船用機械ハ總テ數段膨脹機械ヲ採用スルコト、ナレリ

熱力學上ヨリ考フル時ハ吸鈔式機械ノ段ヲ多ク分ツ程良好ナル効率ヲ得ラルベキナレドモ段ヲ多クスルニ從ヒ機械ノ重量體積並ニ價格及ビ取扱ニ要スル費用ヲ甚ダシク増加スルヲ以テ現今ハ四段膨脹ヲ以テ其ノ最ナルモノトス近來低壓箱ヲ二個ニ分チタルハ其ノ大サヲ縮メ從ツテ機械ノ占有スル場所ヲ狭メ且ツ製作ヲ容易ナラシムルタメナリ

數段膨脹機械ニ於テ各箱ノ仕事ヲ均齊ニスルコトハ力學上並ニ製作上多大ナル利益ヲ有シ且ツ豫備品ノ數ヲ減ズル上ニ於テモ便ナルヲ以テ機械ハ其ノ各箱ガ仕事ヲ均等ニ分擔スル如ク計畫スルヲ肝要トス、然レドモ低壓箱ヲ二分シタル三段膨脹機械ニ在リテハーツノ低壓箱ノ爲ス仕事ヲ高中壓各箱ノ二分ノ一ニ等シクスルヲ以テ實驗上効率最良ノ配分法ト確認セラレ現時ハ此ノ方針ノ下ニ計畫セラル、ヲ常トス

練習問題 (八)

- (1) Assume that 1 lb. of steam of a 160 lbs. per sq. in. absolute and a quality of 0.95 performs an ideal Rankine cycle, being exhausted at a pressure of 5 lbs. per sq. in. absolute. Compute the quality of the steam exhausted, the efficiency of the cycle, and the final volume.

- (2) What is the work of an ideal Rankine cycle if the steam initially at 200 lbs. per sq. in. absolute pressure, superheated 200°F., goes through such a cycle with a back pressure of 1 lb. per sq. in. absolute.?

- (3) One pound of steam at a pressure of 100 lbs. per sq. in. absolute with a quality of 0.90 performs an ideal Rankine cycle exhausting at a back pressure of 2 lbs. per sq. in. absolute. What is the net work and efficiency of the cycle.?

- (4) Two pounds of steam at a pressure of 125 lbs. per sq. in. absolute and a volume of 8.34 cu. ft. perform an ideal Rankine cycle. The exhaust pressure is 25 lbs. per sq. in. absolute. What is the net work and efficiency of the cycle.?

- (5) One pound of steam at a pressure of 160 lbs. per sq. in. absolute and a quality of 0.95 passes through a modified Rankine cycle. The terminal pressure is 11 lbs. per sq. in. absolute and the exhaust pressure 5 lbs. per sq. in. absolute. What is the efficiency of the cycle.?

- (6) Two pounds of steam at a pressure of 125 lbs. per sq. in. absolute and volume of 8.34 cu. ft. pass through a modified Rankine cycle. The terminal pressure is 20 lbs. per sq. in. absolute and the exhaust pressure 15 lbs. per sq. in. absolute. What is the efficiency, net work, and heat added to the cycle.?

- (7) A non-condensing steam engine receives steam of 0.95

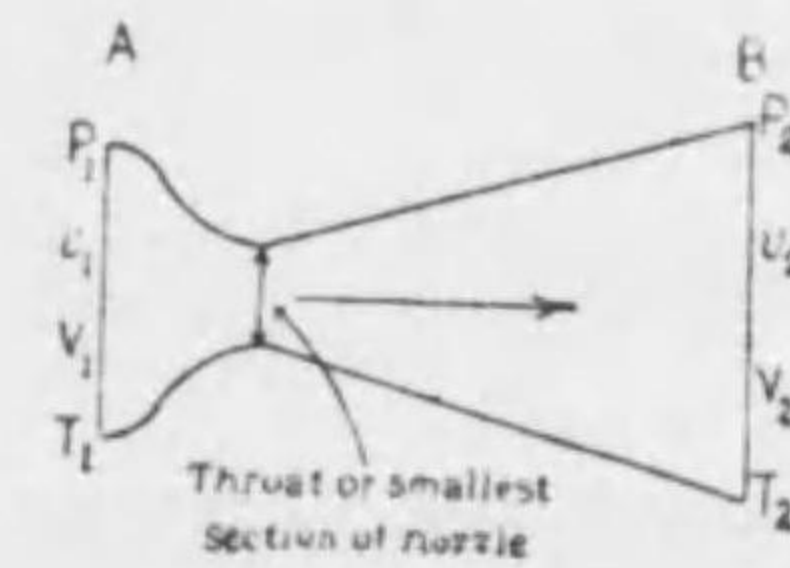
quality and 100 lbs. per sq. in. absolute pressure. The exhaust pressure is 15 lbs. per sq. in. absolute and the steam consumption of the engine is 30 lbs. per indicated horse power per hour. What is the thermal efficiency of the engine.? What is the efficiency of the ideal Rankine cycle operating under the same condition.? What is the efficiency of the Carnot cycle operating the same temperature limits.?

第九章 流體ノ流動 (Flow of Fluids)

(九四) 吹出口ヲ通ジ流出スル時ノ流動 (Flow through a Nozzle or Orifice)

空氣又ハ蒸發氣ガ高壓力ノ部分ヨリ低壓力ノ部分ヘーノ吹出口ヲ通ジ斷熱的ニ噴出スル場合ヲ考究スルニ此等ノ氣體又ハ蒸發氣ハ次第ニ膨脹スル結果壓力ノ減少ヲ來スト共ニ漸次ニ容積ヲ増加ス而シテ此ノ膨脹作用中ニ於テ爲サル、仕事ハ前方ノ分子ニ運動ノ「エネルギー」ヲ與フルヲ以テ其ノ流出速度ハ益々増加セシメラル、ト同時ニ又著シキ容積ノ増加ヲ惹起スルモノナリ

Fig. 45.



第四十五圖ニ示スガ如キ吹出口ニ於テ A.B. ヲバ物質ノ流過スル任意ノ断面トシ兩断面ニ於ケル壓力ヲバ夫々 P₁P₂ トスレバ A 断面ニ於テ P₁ 壓力ヲ維持スタメニハ其ノ物質ノ多量ヲ供給スル必要アルト共ニ B 断面ニ於テハ P₂ ナル一

定壓力ヲ維持スルタメ充分ニ其ノ物質ヲ供給スルノ要アリ

今 A.B. 兩断面ニ於ケル氣體ノ流入及ビ流出速度ヲバ夫々毎秒 v₁ 及ビ v₂ 呎トスレバ A.B. 間ニ於ケル速度ノ増加ニ伴フ運動「エネルギー」ノ増量ハ其ノ單位質量ニツキ

$$\frac{1}{2g_s}(v_2^2 - v_1^2) \text{ foot-pounds}$$

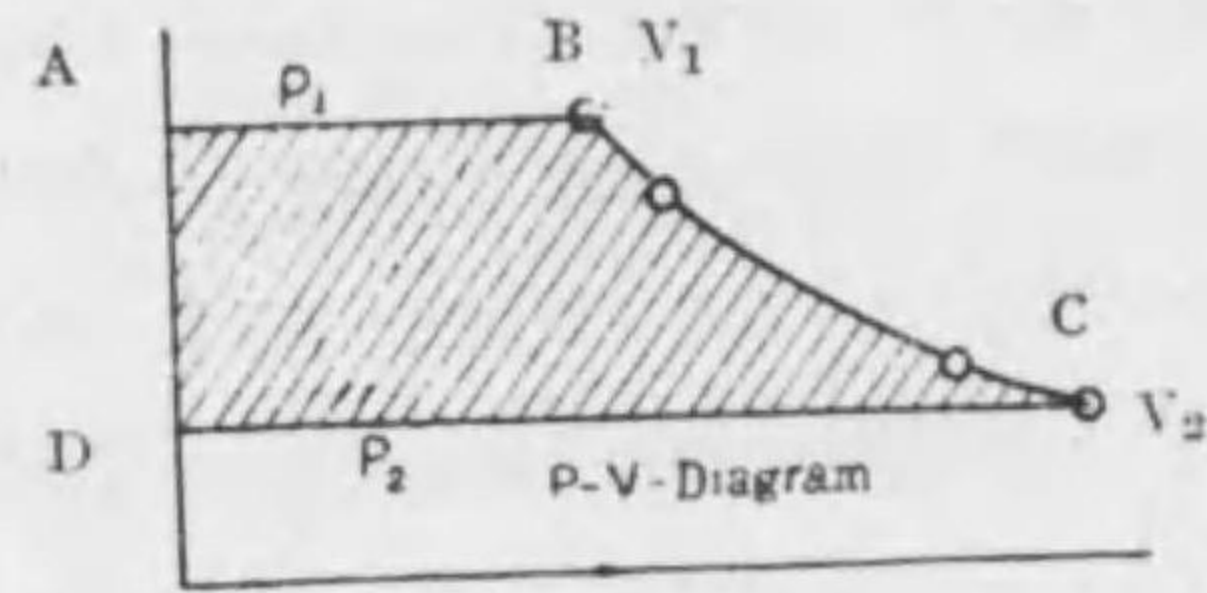
ナルベシ

然ルニ單位質量ノ氣體ガ流動中ニ於テ毎平方呎 P₁ 呎、容積 V₁ 立方呎ノ状態ヨリ壓力 P₂、容積 V₂ ノ状態迄斷熱的ニ膨脹シタル場合ノ仕事量ハ第四十六圖ニ示ス壓力容積線圖ノ面積 ABCD ニヨリテ表ハサル、即ハチ

$$W = \text{面積 } AECD = \int_{P_2}^{P_1} V dP = \frac{n}{n-1}(P_1 V_1 - P_2 V_2) \text{ ft. lbs.}$$

ニシテ此ノ仕事量ハ即ハチ運動「エネルギー」ニ變化スルモノナルガ故

Fig. 46.



Heat (work) Available for increasing velocity

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{n}{n-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

ナル關係ヲ得是レ即ハチ

Gain in kinetic energy

= loss of total heat.

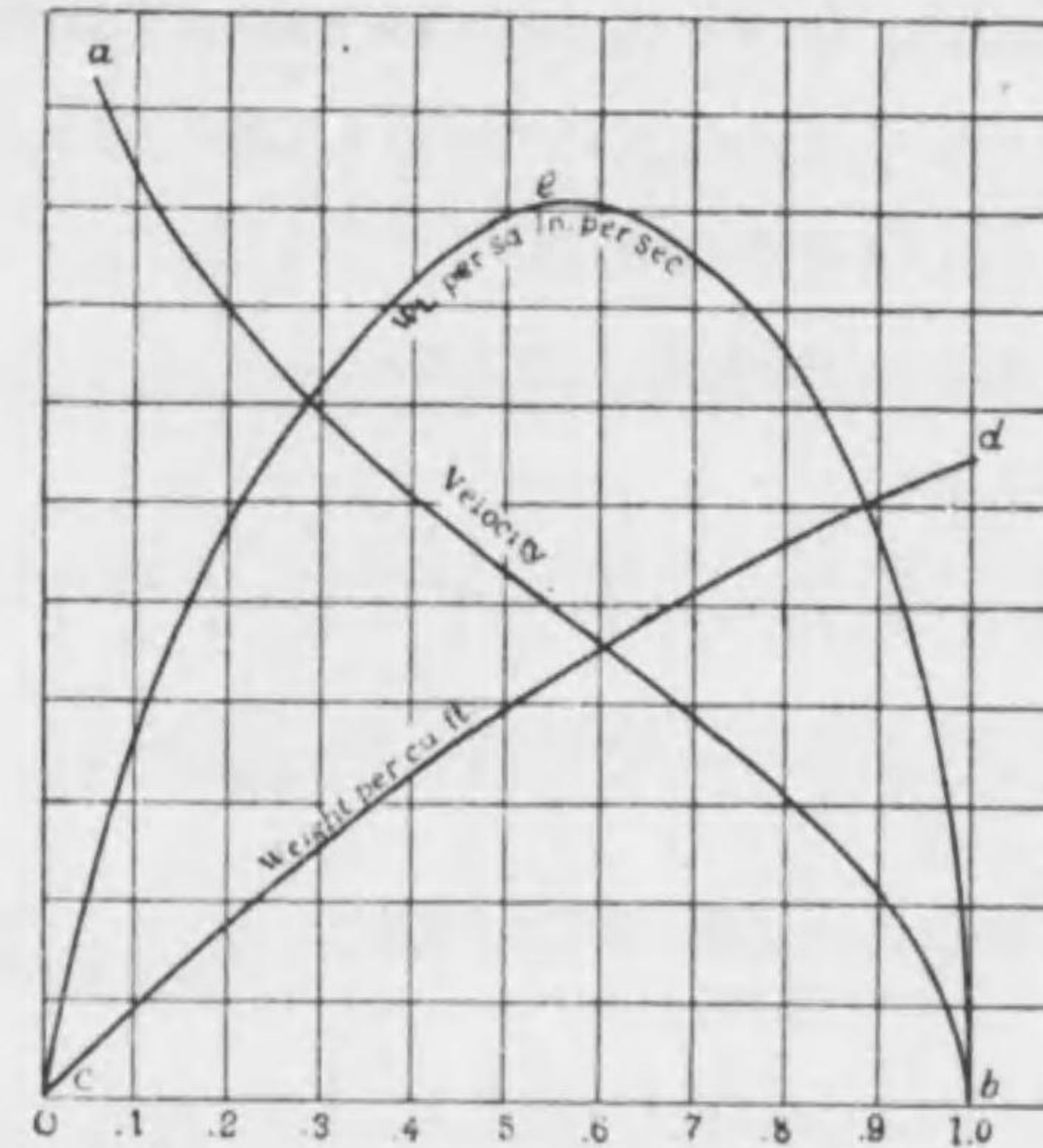
ヲ示スモノナリ

而シテ速度ヲ増加スルタメニ利用シ得ラル、熱量或ハ仕事量ハ第三十八、三十九、四十圖及ビ第四十六圖ニ依リテ知り得ル如ク壓力下降ノ程度大ナル程増大スルモノナルガ故壓力降下ノ大ナル時ニ於テ流出速度モ亦大ナリ多クノ場合初速 v_1 ハ終速 v_2 ニ比シ極メテ小ニシテ棄却シ得ルガ故

$$\begin{aligned} \frac{v_2^2}{2g} &= \frac{n}{n-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) = \frac{n}{n-1} P_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \\ \therefore v_2 &= \sqrt{\frac{2gn}{n-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)} \\ &= \sqrt{\frac{2gn}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] P_1 V_1} \end{aligned}$$

上式ニ於ケル v_2 ハ heat drop ヲ生ジタル結果得ラル、流出速度ヲ示スモノニシテ流體ガ傳導作用ニ依ル熱ノ出入ナク且ツ摩擦及ビ渦流ノタメニ起ル「エネルギー」ノ損失ナクシテ静止状態ヨリ吹出口ヲ通ジ流出シタル時其ノ流出速度ヲ與フル基本公式ナリ

Fig. 47.



Curves of Weight, Velocity, and Discharge.

第四十七圖ニ示シアル曲線 ab, ハ速度ヲ縦坐標 $= \frac{P_2}{P_1}$ ヲ横坐標ニ取リテ畫キタル速度曲線 (velocity curve) ナリ、而シテ如何ナル物質ニテモ膨脹スレバ其壓力下降シテ毎立方呎ノ重量ハ減ズルガ故適當ナル縮尺ヲ撰ビ曲線 cd ヲ引ク時ハ或ル任意ノ放捨壓力ニ於ケル一立方呎ノ重量ヲ決定シ得ベシ而シテ吹出口ノ面積、速度並ニ毎立方呎ノ物質ノ重量ノ相乗積ハ毎秒間ニ流出スル物質ノ重量ニ等シキガ故曲線 ab, cd ノ或ル壓力比ニ對スル縱坐標ノ積ハ壓力 P_1 ヨリ壓力 P_2 ナル部分ニ流出スル流體ノ重量ニ比例スベシ圖上ニ於ケル曲線 ceb ハ兩者ノ相乗積ヲバ毎秒毎平方吋ニツキ流出スル重量ヲ以テ示ス、而シテ此ノ曲線ノ形狀ニヨリテ知り得ル如ク $\frac{P_2}{P_1}$ ノ或ル値ニ對シ流出量ハ最大ナリ、此ノ最大量ヲ得ル時ニ於ケル $\frac{P_2}{P_1}$ ノ値ハ曲線 ceb ノ最高點 e ノ横坐標ニヨリテ示サル

(九五) 流出量ノ計算法並ニ最大流出量ヲ得ルタメノ條件 (Calculation of the Discharge and the Condition for maximum discharge).

流體ガ吹出口ヲ通ジ斷熱的ニ膨脹シテ流出スル理想的ノ場合ニ於テ

W……流出スル流體ノ重量 (噸).

A……吹出口ノ切斷面積 (平方呎).

トモバ既ニ知ル如ク

$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n \quad \therefore V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} \text{ or } \frac{1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{1}{V_1}$$

及ビ $v_2 = \sqrt{\frac{2gn}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]} P_1 V_1$ ナルガ故ニ

壓力 P_1 ヨリ壓力 P_2 ニ流體ノ流出スル重量

$$\begin{aligned} W &= A \cdot \frac{1}{V_2} \sqrt{\frac{2gn}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]} P_1 V_1 \\ &= A \cdot \frac{1}{V_1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} \sqrt{\frac{2gn}{n-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]} P_1 V_1 \\ &= A \cdot \sqrt{\frac{2gn}{n-1} \cdot \frac{P_1}{V_1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{n}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n+1}{n}}} \end{aligned}$$

最大流出量ヲ得ルタメノ條件ヲ求ムルタメ W ヲバ $\frac{P_2}{P_1}$ ニ就テ微分シ之

ヲ零ニ等シカラシムル時ハ

$$\begin{aligned} \frac{2}{n} \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - (n+1) \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} &= 0 \\ 2 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1-n}{n}} - (n+1) &= 0 \end{aligned}$$

即チ $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n+1}{2} \right)^{\frac{n}{1-n}} = \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n}{n-1}}$

從ツテ得ラル、最大速度

$$v_t = \sqrt{\frac{2gn}{n+1}} P_1 V_1$$

流出ノ際ニ於ケル比容積

$$\begin{aligned} V_t &= V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} = V_1 \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{n}{1-n} \cdot \frac{1}{n}} \\ &= V_1 \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{1}{1-n}} = V_1 \left(\frac{n+1}{2} \right)^{\frac{1}{n-1}} \end{aligned}$$

從ツテ與ヘラレタル斷面ヲ通ズル最大流出量

$$\begin{aligned} W_m &= A \cdot \frac{v_t}{V_t} = A \cdot \sqrt{\frac{2gn}{n+1}} P_1 V_1 \cdot \left\{ \frac{1}{V_1} \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{1}{n-1}} \right\} \\ &= A \left(\frac{2}{n+1} \right)^{\frac{1}{n-1}} \sqrt{\frac{2gn}{n+1}} \frac{P_1}{V_1} \end{aligned}$$

次ニ流體ノ流出ニ關シ得タル一般公式ヲバ空氣及ビ其レト同様ニ取扱ヒ得ル氣體ニ適用スル時ハ

$$P_1 V_1^{1.4} = P_2 V_2^{1.4} \quad \therefore \frac{1}{V_2} = \frac{P_2^{\frac{1}{1.4}}}{P_1^{\frac{1}{1.4}}} \frac{1}{V_1}$$

然ルニ $P_1 V_1 = RT_1$ ナルヲ以テ

$$\frac{1}{V_2} = \frac{P_2^{\frac{1}{1.4}}}{P_1^{\frac{1}{1.4}}} \frac{P_1}{RT_1} = \frac{P_1^{1-\frac{1}{1.4}} P_2^{\frac{1}{1.4}}}{RT_1} = \frac{P_1^{0.286} P_2^{0.714}}{RT_1}$$

此ノ $\frac{1}{V_2}$ ハ即チ流出シタル物質ノ一立方呎ノ重量ヲ與フルモノニシテ

壓力ハ毎平方呎ニツキ噸ニテ示サル

依リテ大ナル氣蓄器ヨリ空氣ヲ噴射セシムル時ノ如ク其ノ初速ヲバ棄却シ

得ル場合ニ於テハ

$$\begin{aligned} v_2 &= \sqrt{2g \cdot \frac{n}{n-1}} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \\ &= \sqrt{2g \cdot \frac{1.4}{0.4}} \cdot RT_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \\ &= 109.6 \sqrt{T_1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.286} \right] \end{aligned}$$

從ツテ A 平方呎ノ斷面ヲ有スル吹出口ヨリノ流出量