



始



製鐵所研究所

研究報告

Vol. X No. 5

廢棄瓦斯の利用に就て

技師 海野三朗
理學博士

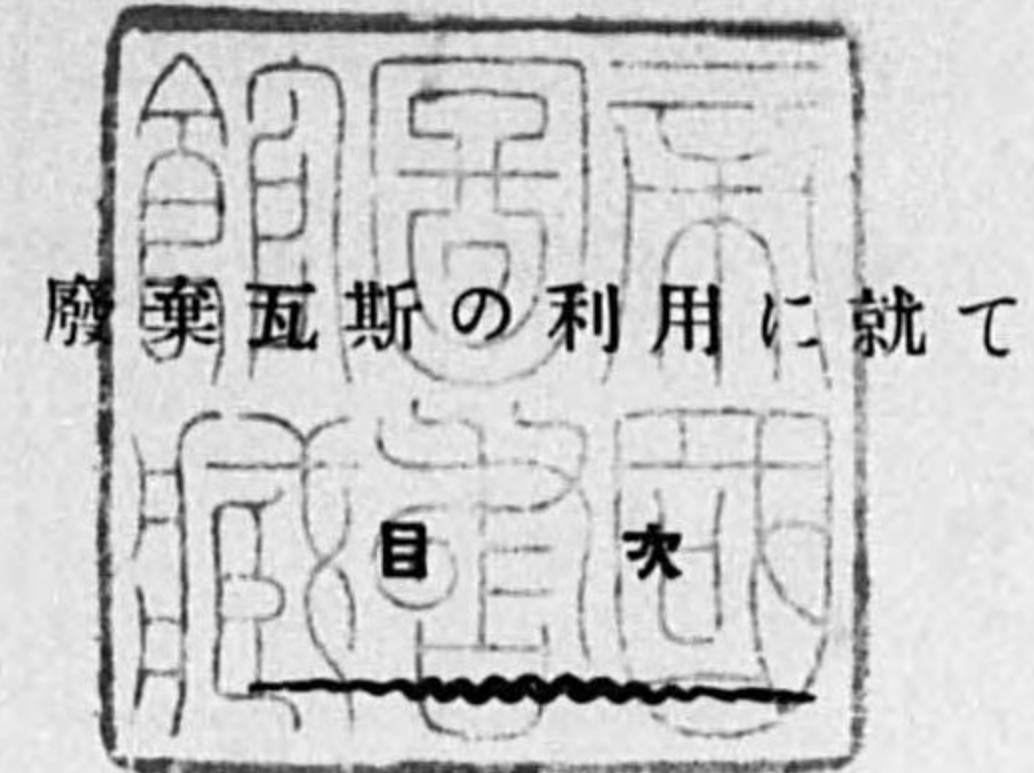
昭和五年六月

製鐵所

福岡縣八幡市

(代謄寫)

14.5-131



緒 言..... 1

第1節 結論概要..... 1

第2節 廢棄瓦斯量..... 3
 廢棄瓦斯量測定 其の1.....3 全 其の2.....6

第3節 餘熱汽罐の熱能率..... 8

第4節 蒸發量及び石炭當量.....12
 (1) 蒸 發 量.....12 (2) 石 炭 當 量.....13

第5節 瓦斯分析表及び煙突上部の溫度.....15

第6節 廢棄瓦斯の成分.....16

第7節 各爐の廢棄瓦斯の溫度と其の熱量.....19

第8節 廢棄瓦斯利用の一つの計算.....21

發行所寄贈本



△ 廢棄瓦斯の利用に就て

廢棄瓦斯の利用に就て



技師 海野三朗
理學博士

緒言

廢棄瓦斯の利用方法を論ぜるものは甚だ多く其の目的によりて各々相異なれども、熱量回収の點より考察すれば餘熱汽罐を最も有效なりとす。餘熱汽罐は元來其の種類多く従つて其の熱能率に於ても作業狀況等より各々相違あり、著者は製鐵所第二製鋼工場附屬の餘熱汽罐 (Babcock & Wilcox patent water tube boiler, Woodeson patent water tube boiler) に送付せられつゝある廢棄瓦斯量と其の温度及び瓦斯の成分、蒸發量等を知りて汽罐の熱能率を求め、回収熱量の石炭當量を算出し併せて混入し來れる空氣量等を追求せるものなり。

第1節 結論概要

- (1) 製鐵所第二製鋼工場平爐の廢棄瓦斯量と其の温度を實測し餘熱汽罐の熱能率、回収熱量の石炭當量、廢棄瓦斯の成分等を求めたるものなり。
- (2) 普通狀態に於ける毎時の廢棄瓦斯量は煙道の龜裂、ダンパー等より空氣の浸入多量にして標準狀況の下に於て 68120 立方米なり (第1表)。
- (3) 直接煉瓦製の煙突 (餘熱汽罐を通過せざる瓦斯の逃れる煙突) へ放散せらるゝ瓦斯に比して餘熱汽罐を通過せるものには 27.5~31.4% の浸入空氣量あり (第2表)。
- (4) 汽罐入口の瓦斯の温度は 500~635°C にして節炭機通過後は 255~274°C となる (第3, 5表)。即ち餘熱汽罐通過によりて 245~380°C の温度降下す。煉瓦製煙突下に於ける廢棄瓦斯の温度は餘熱汽罐入口の夫れよりも數度高し。

(1) A. J. Ebner & J. C. Haves, Blast Furnace & Steel Plant, 15 (1927), 191, 350; Freyn Design, 1 (1926), 14; F. J. Taylor, colliery Guardian, 135 (1927), 617; Blast Furnace & Steel Plant, 18 (1930), 299.
 (2) J. B. Crane, Iron & Steel Engineer, 5 (1928), 407; G. E. Hider, Iron & coal Trade Review, 116 (1928), 897.
 (3) 伊澤工學士, 燃料協會講演 (1930), 4月,

- (5) 煙道の龜裂、ダンパー等を可及的密閉せる場合の廢棄瓦斯量は、毎時標準狀況の下に於て 25095~25700 立方メートルなり (第 4, 7 表)。
- (6) 節炭機出口に於ては場所の相違によりて瓦斯の温度は 196~255°C の間にあり (第 2 圖、第 5 表)。
- (7) 合併法及び普通法によりて廢棄瓦斯の温度は汽罐の入口に於て約 120°C の變化あり而して瓦斯の温度は合併法の場合高く冷材裝入量の多きに從つて低下す (第 5 表)。
- (8) 餘熱汽罐の熱能率は 77% 前後にして 23% は汽罐の副射、傳導等より失はるゝ熱量に相當す (第 7 表、第 4 圖)。
- (9) 餘熱汽罐に入る熱量は全廢棄瓦斯の保有熱量の 50.55%、内蒸發に消費せらるゝ熱量は 38.8%、又汽罐の副射傳導等によりて失はるゝ熱量は 11.75% なり (第 5 圖)。
- (10) 汽罐通過後尙瓦斯が保有する熱量は 49.45% にして、此の瓦斯の温度を汽罐内に於て 100°C 迄降下して排出し得るものみすれば尙 31.9% の利用可能の熱量殘存す。此の際の回收熱量は正味 63.28%、煙突へは 17.55%、副射傳導等によりて失ふ熱量は 19.17% なる (第 6 圖)。
- (11) 廢棄瓦斯を全部汽罐に利用すれば、其の瓦斯の標準狀況の下に於ける 1 立方メートルは水 112~148 瓦を蒸發せしむ (第 9~10 表)。
- (12) 廢棄瓦斯の温度と蒸發量とは正比例し 1 立方メートルの温度 520°C ならば 100 瓦、760°C ならば 200 瓦の蒸發量あり、而して汽罐通過によりての温度の降下の多寡は其の蒸發量に正比例す (第 7 圖)。
- (13) 60 噸鹽基性平爐よりの毎時の廢棄瓦斯の温度が 520°C ならば 2.830 噸、670°C ならば 4.000 噸の蒸發量あり (第 8 圖)。
- (14) 同上平爐よりの廢棄瓦斯より餘熱汽罐は毎時 0.418~0.542 噸の石炭を回收しつゝある事となり、平爐消費の石炭量の 26.2~33.9% に相當す (第 11 表)。
- (15) 此の回收石炭は製鋼噸當り 85~110 斤に相當す (第 9 圖)。從つて廢棄瓦斯の温度降下を防げば製鋼噸當りの消費石炭量は益々低下す (第 10 圖)。
- (16) 廢棄瓦斯の温度は 635~524°C なり。若し此の瓦斯を餘熱汽罐内に於て 100°C 迄降下せしむるものみすれば、其の熱量の石炭當量は 1 立方メートルの廢棄瓦斯につき 41.02~32.52 瓦なり。現在餘熱汽罐に回收しつゝある石炭當量は其の内 29.14~20.63 瓦なり (第 11~12

- 圖)。
- (17) 第二製鋼工場附屬高さ 50 米の煙突上に於ける廢棄瓦斯の温度は、高さ 35 米の煙突の實測の場合よりして、餘熱汽罐を通過せざるものは 465°C、通過せる瓦斯にありては 120°C 内外なり (第 13 圖)。即ち 50 米の煙突通過によりて約 130°C 降下する事なる。
- (18) 毎時 22353.4 立方メートルの浸入空氣量ありて供給瓦斯の約 5.23 倍に相當す。
- (19) 反應に必要な空氣量は供給瓦斯の約 2.65 倍にて足り、 $5.23 - 2.65 = 2.58$ 倍の餘分の浸入空氣量ある事に相當す。
- (20) 壓延工場加熱爐及び其の他の爐よりの廢棄瓦斯の温度は何れも 300~1200°C の間にある事を知れり (第 17 表)。
- (21) 廢棄瓦斯の温度 715°C ならば其の 60 立方メートルの瓦斯は水 1 立方メートルを沸騰點に達せしむ。又 540°C ならば其の 120 立方メートルは水 1 立方メートルを沸騰せしむるに充分なる事を知れり (第 14 圖)。

第 2 節 廢 棄 瓦 斯 量

廢棄瓦斯量を測定せる汽罐は第 7~8 號及び 2 號汽罐にして其の内 2 及び 8 號汽罐の外観を次圖に示せり。圖中煉瓦製煙突に接近して立てる鐵製煙突は汽罐通過後の瓦斯を放散せしむるものなり。瓦斯量は煙道の狀況によりて相當大なる差異あり。以下順を追ふて述べん。

廢 棄 瓦 斯 量 測 定 其 1

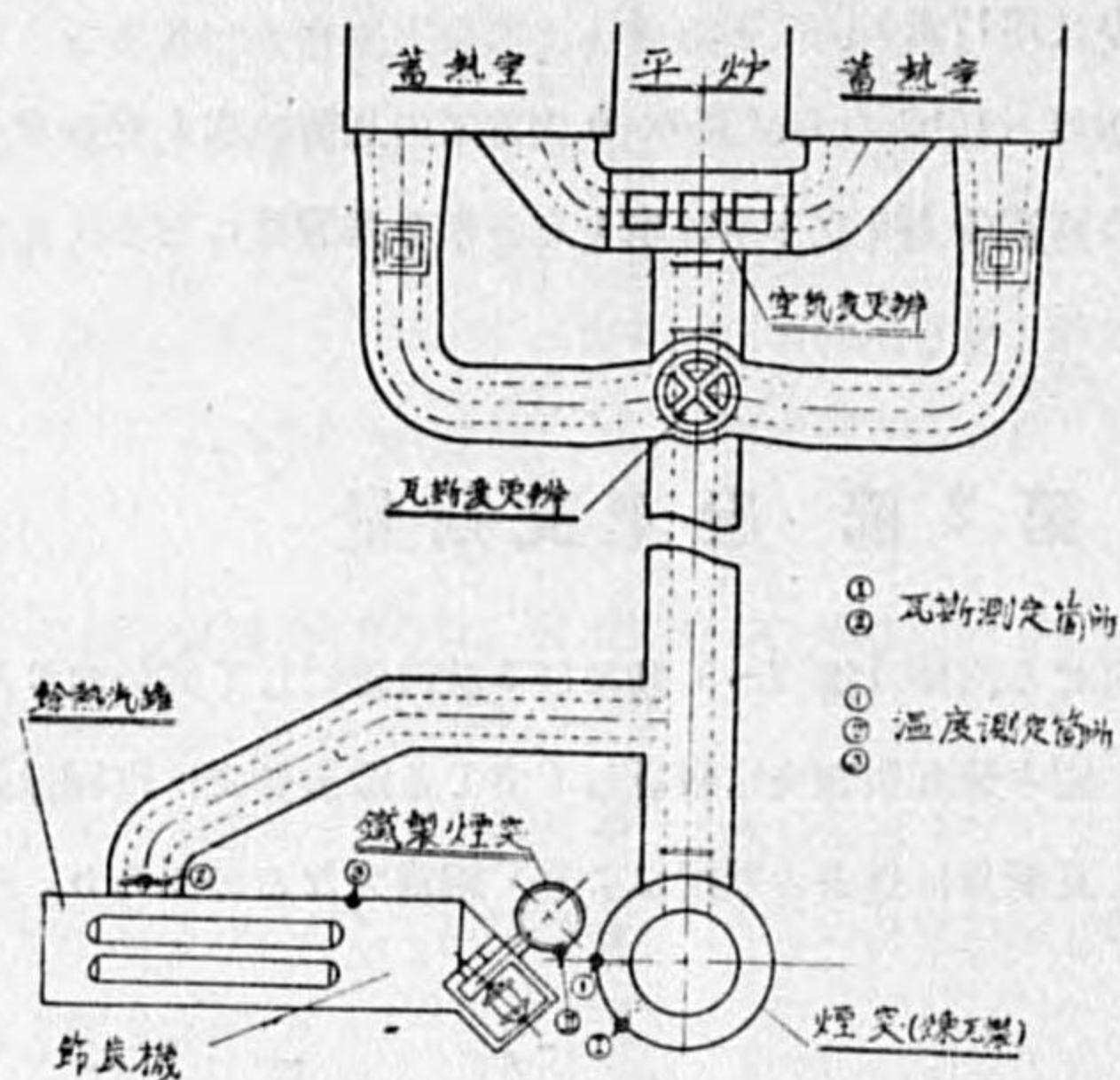
廢棄瓦斯を餘熱汽罐に利用するに當りては先づ其の瓦斯量の幾何を利用し得可きものなるか、又其の温度は如何程なるかを知るの要あり。製鐵所第二製鋼工場 8 號平爐に於ては廢棄瓦斯の一部は直接煉瓦製の煙突へ、他は附屬第 8 號餘熱汽罐 (Babcock & Wilcox patent water tube boiler) を通過せしめて鐵製の煙突より放散しつゝあり、此の瓦斯量を煙道の龜裂、ダンパー等には特に注意を拂はずして測定を行ひ其の結果を第 1 表に、又其の測定位置を第 1 圖に示せり。

第 1 表 通過瓦斯量(立方米)

測定年月日	直接煉瓦製煙突へ (標準状況)	汽罐通過後鐵製煙突へ (標準状況)	合 計
昭和 4. 7. 29	56100	14640	70407
" 9. 6	53650	11950	67560
平 均	54875	13295	68120

第 1 圖

第八號平炒釜、第三餘熱汽罐(八號)平面図



此の際に於ける廢棄瓦斯の成分を示せば第 2 表の如し。

第 2 表 廢棄瓦斯の成分

測定ヶ所	CO ₂	O ₂	N ₂	ρ ₀ (瓦)
煉瓦製煙突	13.5	6.4	80.1	1360
鐵製煙突	9.8	9.4	80.8	1339

同一成分の瓦斯が其の通路を異にするが爲めに如上の成分割合の差を生じたるものにして、是余熱汽罐通過に際し多量の空気の浸入せるを想像せしむ。此の密度よりして其の通

通路に於て如何程の空気が浸入せるかを概算するに、1 立方メートルの空気の重量は 1293⁽¹⁾ 瓦なり。依つて

$$1360 - 1339 = 21 \text{ (瓦)}$$

餘熱汽罐通過によりて 1 立方メートルにつき 21 瓦の重量の減少を生ずるが爲めには幾何の浸入空気を必要とするかを見るに、今浸入空気を毎時 a 立方メートルとすれば次の方程式を得。

$$13295 \times 1339 = 1360 \times (13295 - a) + 1293 a$$

$$\therefore a = 4170$$

故に $4170 \div 13295 \times 100 = 31.4 \text{ (\%)}$

即ち餘熱汽罐を通過せるものは直接煉瓦煙突へ放散せらるる廢棄瓦斯に比して汽罐通過全量の約 31.4% の浸入空気量ありし事を知る。尙廢棄瓦斯の成分よりして浸入空気量を求

むるに、CO₂ 量は $13295 \times \frac{9.8}{100} = 1303 \text{ (立方メートル)}$

若し直接煉瓦煙突へ放散せらるる瓦斯中に存する CO₂ の濃度と同様なる瓦斯ならんには

$$x = \frac{1303 \times 100}{13.5} = 9652 \text{ (立方メートル)}$$

9652 立方メートルならざるべからず。故に

$$13295 - 9652 = 3643 \text{ (立方メートル)}$$

故に $3643 \div 13295 \times 100 = 27.5 \text{ (\%)}$

即ち餘熱汽罐通過によりて 27.5~31.4% の浸入空気量ありたる事を知る。是より考ふるも煙道を通過する廢棄瓦斯が其の龜裂、ダンパー等より多量の空気を吸込みつゝある事は容易に首肯さる。殊に汽罐通路にはダンパー 1 箇餘分に存在するを以て、全ダンパー 4ヶ所より浸入する空気量を概算するときは本測定の結果の多量なるは容易に推考せらる可し尙此の際に於ける各所の温度を示せば第 3 表の如し。

第 3 表 廢棄瓦斯の温度(°C)

測定年月日	煉瓦製煙突下 (I)		餘熱汽罐の入口 (2)		餘熱汽罐の出口 (3)		鐵製煙突下 (II)	
	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
4. 7. 29.	613	587	612	574	280	263	260	247
平 均	596		590		270		257	
4. 9. 7.	516	466						
平 均	495							

(1) Guye, Kovacs, Wouurtzel, Journ. chim. phys., 10 (1912), 332.

(2) 海野、製鐵所研究所受付研究、9 (1929)

此の結果によれば同一箇所においても 80°C 内外の高低あり。又日によりて 100°C の變化あるを見る。従つて其の蒸發量に於ても是れに相當する變化あるを思はざるべからず。

廢棄瓦斯量測定 其 2

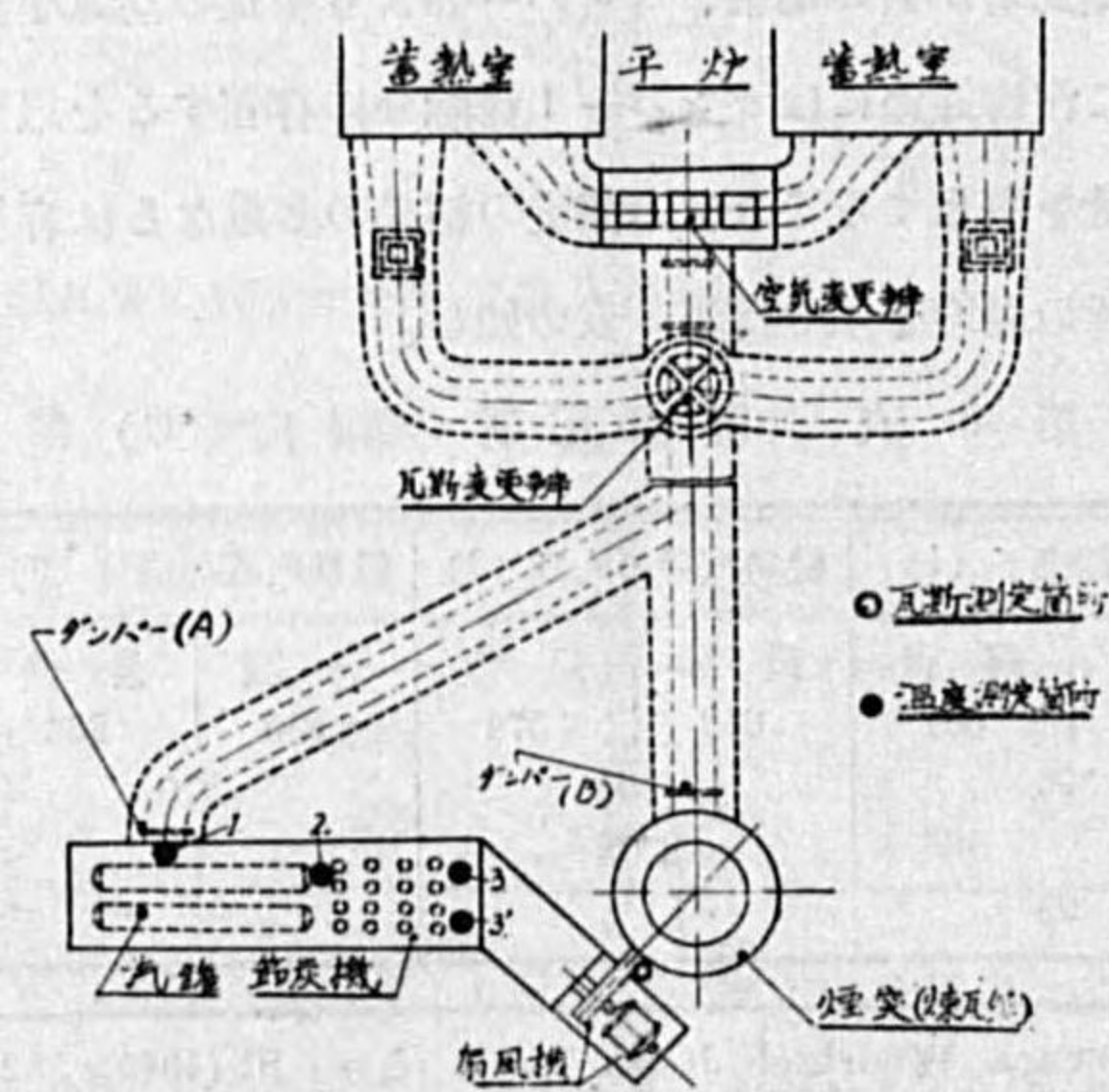
煙道の龜裂、ダンパー等よりの浸入空氣量を可及的小ならしめんが爲めによく密閉し、煉瓦煙突への煙道も密閉して全瓦斯を第 7 號餘熱汽罐 (Babcock & Wilcox patent water tube boiler) 及び第 2 號餘熱汽罐 (Woodeson patent water tube boiler を多少改良せるもの) に通入せしめて測定を行へり。其の結果第 4 表の如し。

第 4 表 廢棄瓦斯量 (立方米)

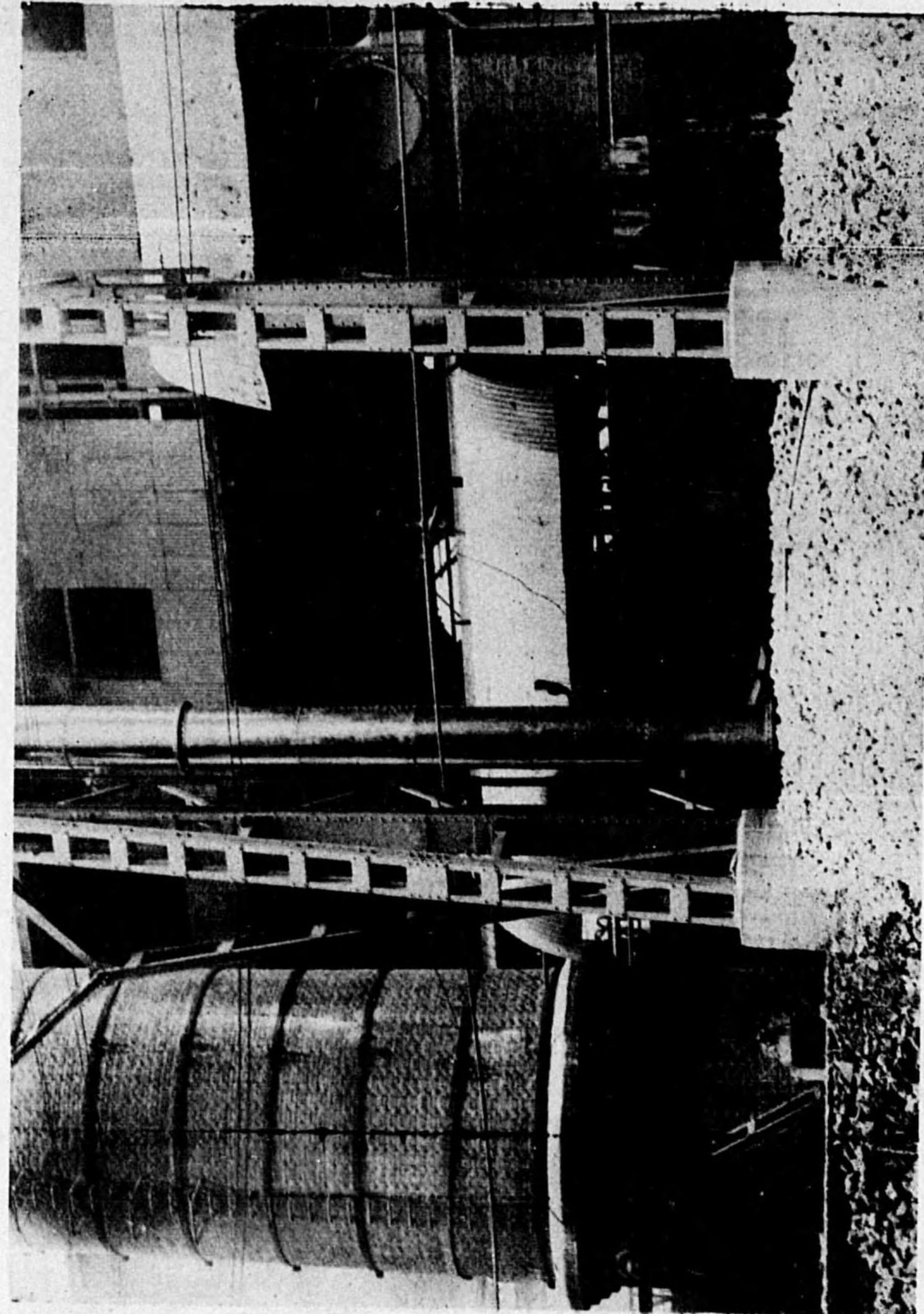
第 7 號 汽 罐			第 2 號 汽 罐		
測定年月日	測定状況	標準状況	測定年月日	測定状況	標準状況
4. 10. 28	48050	24920	5. 3. 14	45810	23930
" " 29	48090	25510	" " 17~18	50020	25070
" " 30	49060	24580	" " 19	57100	28100
" 11. 2	50980	25370	" " 24	47825	24960
平 均	49045	25095	平 均	50189	25515

第 2 圖

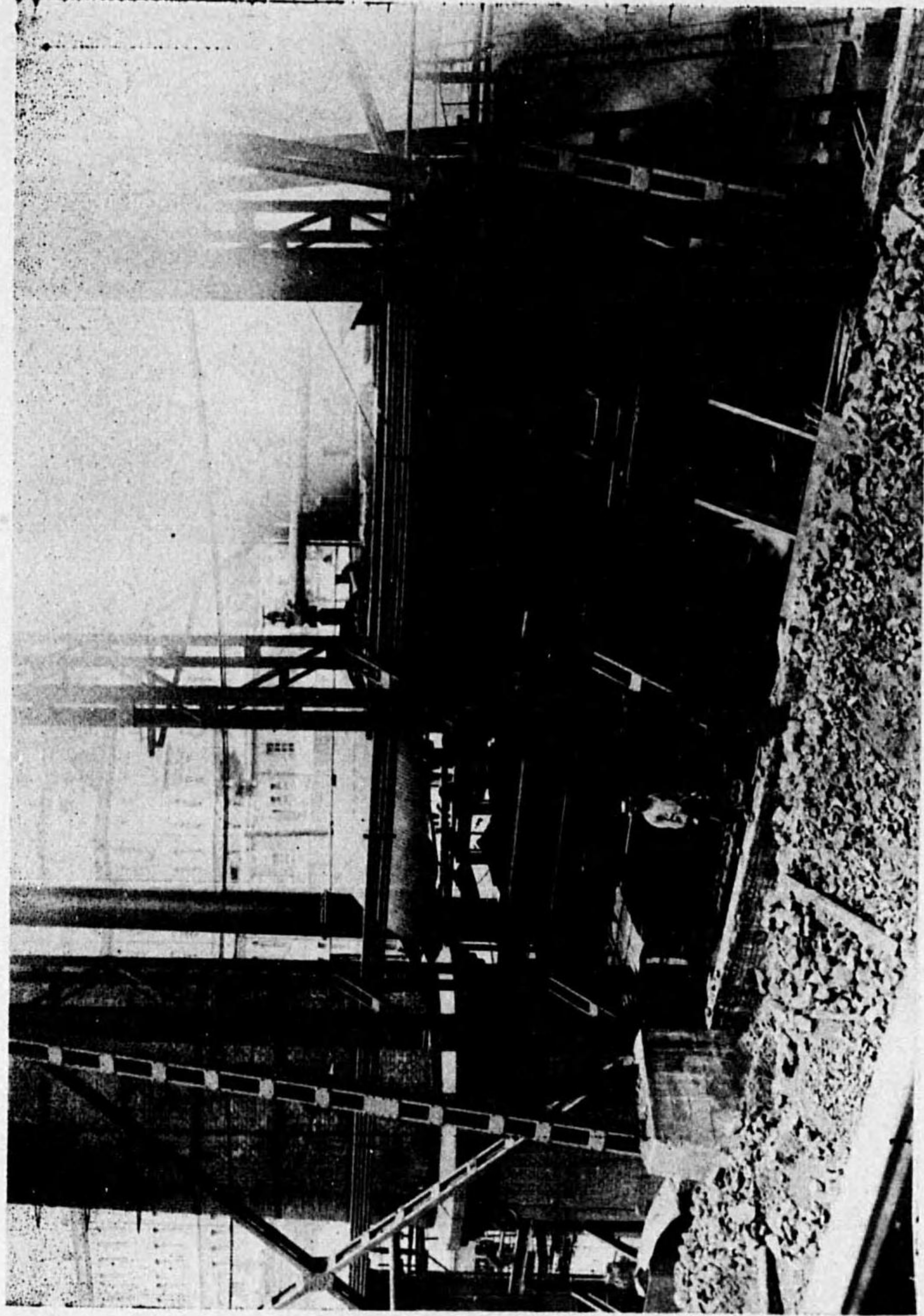
第七號平炉並第三號熱汽罐(七號平炉面)



第 2 號 餘 熱 汽 罐



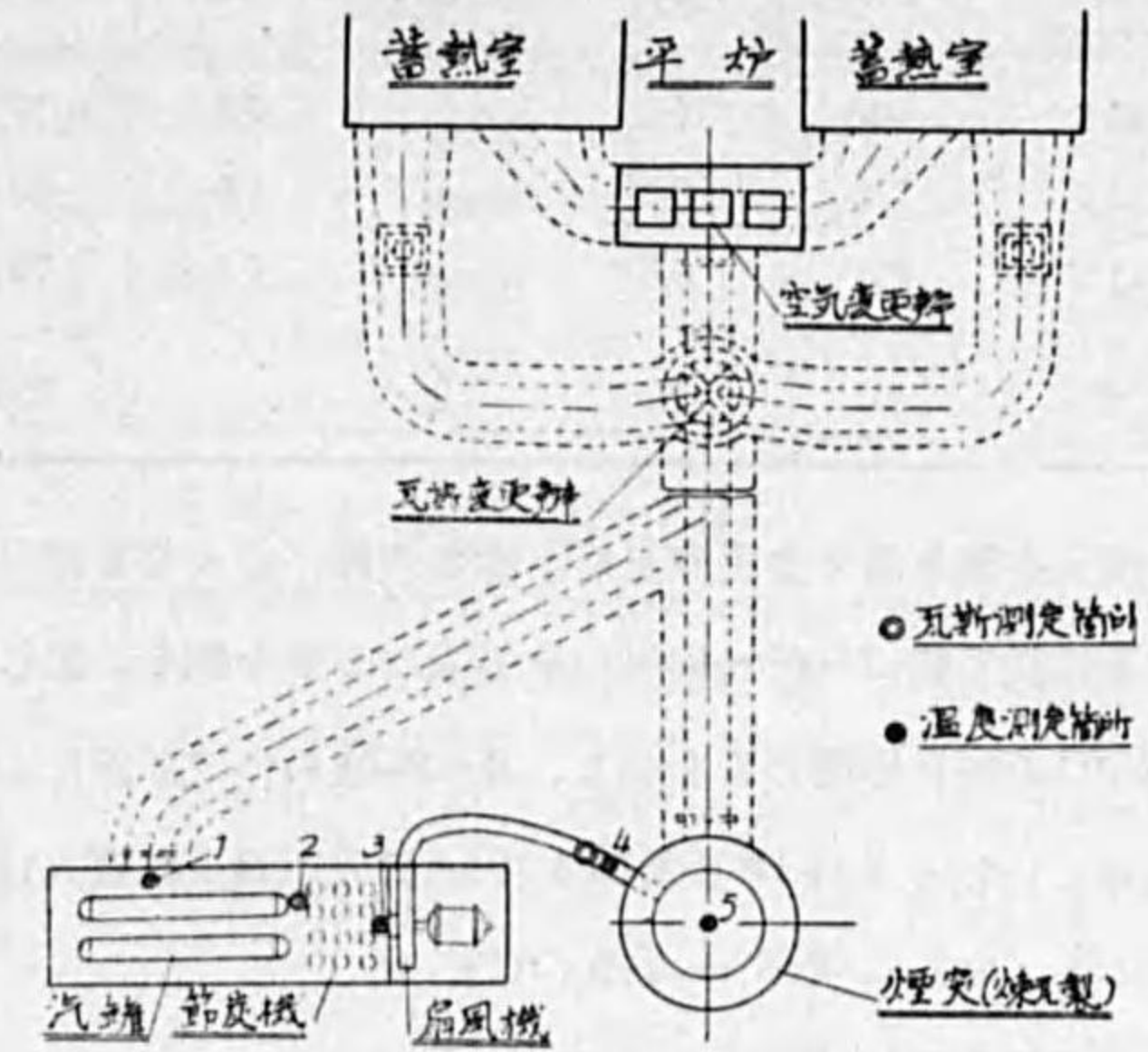
第 8 號 餘 熱 汽 罐



廢棄瓦斯の利用に就て

第 3 圖

第一等平炉並第三餘熱汽機 (= 熱平衡面)



尙測定位置は第 2~3 圖に番號を記入して示せり。

此の時に於ける各所の溫度並に廢棄瓦斯の分析結果を夫々第 5~6 表に示せり。

第 5 表 廢棄瓦斯の溫度 (°C)

番 號	測定年月日	汽罐入口 (1)	汽罐出口 (2)	節炭機出口 (3')	同 (3)
第 7 號 汽 罐	4. 10. 28	653	290		208
	" " 29	598	280		183
	" " 30	638	297	250	
	" 11 2	651	269	259	
	平 均	635	284	255	196
番 號	測定年月日	汽罐入口 (1)	汽罐出口 (2)	節炭機出口 (3)	煙 突 下 (5)
第 2 號 汽 罐	5. 3. 14	531	323	258	231
	" " 17~18	556	333	272	243
	" " 19	564	340	292	254
	" " 24	445	287	243	216
	平 均	524	321	267	236

第 6 表 廢棄瓦斯分析表

番 號	測定年月日	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	H ₂ (%)	CO(%)	CH ₄ (%)	N ₂ (%)	$\rho_0(\frac{kg}{m^3})$
第 7 號 汽 罐	4. 10. 29	10.2	9.8	0.7		0.6	79.1	1336
	" 11. 2	12.2	7.1	0.3		1.0	80.4	1351
	平 均	11.2	8.5	0.5		0.8	79.8	1344
第 2 號汽罐		9.2	9.6	1.2	1.5		78.5	1334

是に依れば可及的浸入空気を防ぎ全廢棄瓦斯を餘熱汽罐に通入せる際の瓦斯量は平均として毎時標準状況の下に於て約 25000~25500 立方米なる事を知る。而して其の温度は汽罐通入口に於て約 100°C の變化範圍あるを見る、是れ平爐の作業状況によるものゝ如し。何となれば第 2 號汽罐に於ける 3 月 19 日及び 3 月 24 日の兩日の汽罐入口の温度を見るに

$$564 - 445 = 119 (^{\circ}C)$$

119°C の差あり。従つて煙突下に於ても

$$254 - 216 = 38 (^{\circ}C)$$

38°C の差を見る。3 月 14 日より 19 日迄の測定當時の平爐作業は合併法即ち主として混銑の銑銑其の大部を占むるに、3 月 24 日の夫れは普通法即ち 38 噸の銑銑、20 噸の屑鐵を装入せり。屑鐵即ち冷材の装入によりて、其の廢棄瓦斯の温度に相當影響せるものゝ考へらる。又廢棄瓦斯の成分にありても同様に平爐の作業状況によりて左右せらるゝものゝ推せらる。

第 3 節 餘熱汽罐の熱能率

前掲の測定結果中 3 月 24 日の第 2 號汽罐入口に於ける廢棄瓦斯の温度は、他に比して其の降下著しきを以て是れを除き瓦斯量、温度の平均として第 7 表を採用して計算せん。

此の表によれば餘熱汽罐通過によりて平均 $550 - 274 = 276^{\circ}C$ の温度降下せり。又廢棄瓦斯分析表(第 6 表)よりして第 8 表の如くして其の比熱を求むるに、

第 7 表 瓦斯量と温度

測定年月日	測定時間	廢棄瓦斯標準状況下 毎時立方米	温 度 (°C)		
			汽罐入口	節炭機出口	煙 突
5. 3. 14	6 時 20 分	23930	531	258	231
" " 17~18	23. 50	25070	556	272	243
" " 19	6. 40	28100	564	292	254
平 均		25700	550	274	243

第 8 表 比 熱 計 算

成 分	(%)	1 立方米中の重量 ⁽⁵⁾ (瓦)	比熱 ⁽¹⁾ (400°C)	熱量(カロリー)
CO ₂	9.2	$92 \times 1.9768 = 182.0$	0.2171	39.5
O ₂	9.6	$96 \times 1.429^{(2)} = 137.3$	0.2191 ⁽³⁾	30.1
CO	1.5	$15 \times 1.2504 = 18.75$	0.2504 ⁽⁴⁾	4.7
H ₂	1.2	$12 \times 0.08987 = 1.08$	3.461	3.7
N ₂	78.5	$785 \times 1.2507 = 982.0$	0.2504	246.0
合 計	100.0	1321.13		324.0

廢棄瓦斯 1 立方メートルの比熱は約 324.0 カロリーなり。従つて毎時平均として廢棄瓦斯が第 2 號餘熱汽罐に與ふる全熱量は

$$25700 \times 324 \times 276 = 2298.5 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

又該汽罐が蒸發する毎時の水量を示せば第 9 表の如し。

第 9 表 第 2 號汽罐の蒸發量(毎時)

測定年月日	蒸發量(噸)	測定年月日	蒸發量(噸)
5. 3. 14	2.983	5. 3. 19	2.753
" " 17	2.754	" " 24	(1.653)
" " 18	2.983	平 均	2.867

- (1) Partington & Shilling, The Specific heats of gases. (1924), 208.
- (2) P. A. Guye, Chem. News. (1908),
- (3) L. Holborn u. L. Austin Berl. Sitzber. (1905), 175; Wiss. Abh. P-T. R. 4(1905), 131.
- (4) Harold B. Dixon u. Gilbert Greenwools. Proc. Roy. Soc., (A) 105 (1924), 199.
- (5) Landolt-Bornstein.

3月24日は測定温度より知らるゝ如く餘熱汽罐前に於て既に温度低く從つて汽罐に與へし熱量も著しく小なり。依つて汽罐入口の温度 550°C 前後にして節炭機出口の温度 274°C 前後、即ち 276°C 前後の温度降下ある時のみの蒸發量を平均して毎時の蒸發量として 2.867 噸を採り、此の 2.867 噸を蒸發するに要する熱量を求むるに、常温を 20°C とすれば 1 瓦の水を蒸發せしむるには

$$536 + 80 = 616 \text{ (カロリー)}$$

を要するを以て 2.867 噸を蒸發せしむるが爲めには

$$2.867 \times 616 \times 10^6 = 1766.7 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

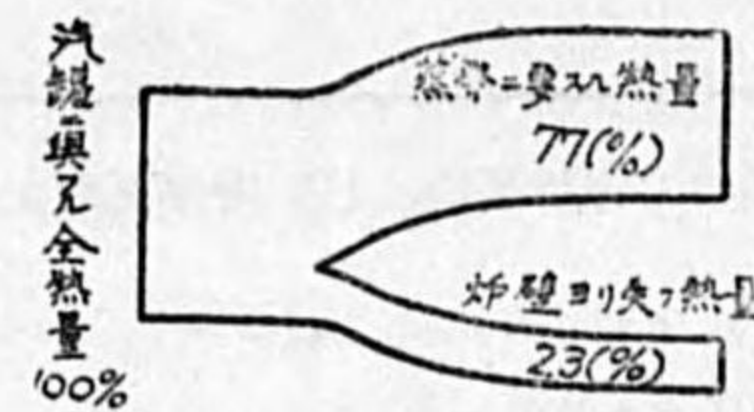
即ち廢棄瓦斯が毎時平均汽罐に與へる 2298.5×10^6 カロリーの熱量中毎時 1766.7×10^6 カロリーの熱を要しつゝあり。從つて餘熱汽罐の熱能率は

$$1766.7 \div 2298.5 \times 100 = 77 \text{ (\%)}$$

77% となり残り 23% は餘熱汽罐に於て副射、傳導等に失はるゝ熱量に相當す可きなり。依つて汽罐に與ふる熱量を 100% とすれば其の配布は第 4 圖の如くなる。

第 4 圖

汽罐の熱能率



次に餘熱汽罐に送付せらるゝ全廢棄瓦斯の有する熱量を計算せん。元來廢棄瓦斯より回収し得可き熱量は其の温度に比例す可きものなるが含有熱量を盡く回収し得可きものに非ざるは言を俟たず。餘熱汽罐通過後の瓦斯の温度は平均 274°C なり。依つて 187°C に於ける瓦斯の各成分の比熱を

求むるに夫々 0.2060, 0.2180, 0.2492, 3.418, 0.2492 なるを以て前同様の計算によりて 187°C に於ける廢棄瓦斯の比熱は約 320.3 カロリーなる事を知る。依つて餘熱汽罐通過後の 274°C の瓦斯が常温 20°C に比して含有する全熱量は

$$25700 \times 320.3 \times 274 = 2253.0 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

故に餘熱汽罐に送らるゝ全廢棄瓦斯の有する熱量は

$$(2298.5 + 2253.0) \times 10^6 = 4551.5 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

從つて餘熱汽罐に吸収せらるゝ熱量は全送付熱量の

$$2298.5 \div 4551.5 \times 100 = 50.5 \text{ (\%)}$$

又眞に蒸發のみに要せらるゝ熱量は

(1) Partington & Shilling, 前掲

$$1766.7 \div 4551.5 \times 100 = 38.8 \text{ (\%)}$$

又廢棄瓦斯が餘熱汽罐通過後に有する熱量は

$$2253.0 \div 4551.5 \times 100 = 49.45 \text{ (\%)}$$

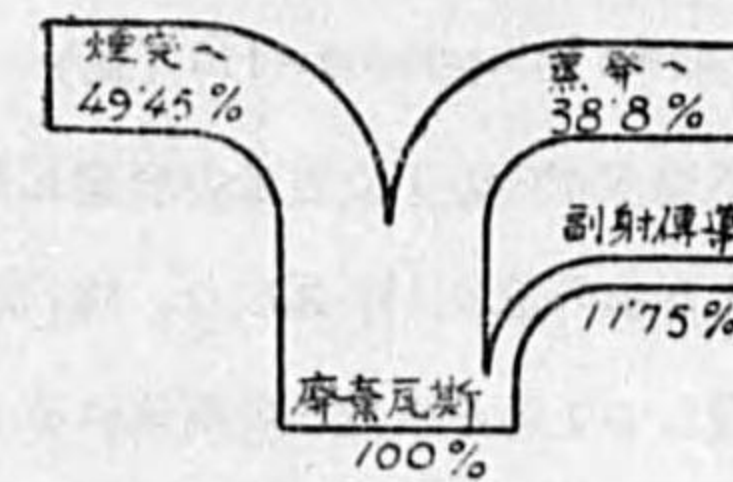
從つて餘熱汽罐の壁其他より失はるゝ熱量は

$$100 - (38.8 + 49.45) = 11.75 \text{ (\%)}$$

即ち廢棄瓦斯が有する全熱量を 100% とすれば副射及び傳導によりて餘熱汽罐より 11.75% を失ひ、蒸發に 38.8% を消費し残り 49.45% は煙突より空中へ放散せられつゝあり。此の關係を第 5 圖に示せり。

第 5 圖

廢棄瓦斯の含有熱量の配布



次に煙突に排出さるゝ 274°C の廢棄瓦斯を汽罐内にて 100°C 迄低下し其の低下する事によりて更に熱量を回収し得るものとすれば尙何% を利用し得べきかを見るに

$$274 - 100 = 174 \text{ (°C)}$$

更に 174°C を低下し得るを以て現在 276°C の降下に對し 11.75% + 38.8% = 50.55% を回収して

其の内 38.8% を利用しつゝあるを以て此の關係より推考するときは

$$276 : 174 = 50.55 : x \quad x = 31.90 \text{ (\%)}$$

尙 31.9% を回収し得、從つて副射傳導等を考ふれば 31.9% 中

$$31.9 \times \frac{38.8}{50.55} = 24.48 \text{ (\%)}$$

24.48% を眞に利用し得るが故に汽罐通入の瓦斯の温度が出口に於て 100°C に降下する迄利用せられたる場合は

$$38.8 + 24.48 = 63.28 \text{ (\%)}$$

全廢棄瓦斯の 63.28% の熱を利用し得る事なる。

此の時に於ける副射、傳導等の爲めに失ふ可き熱量は

$$11.75 + (31.90 - 24.48) = 19.17 \text{ (\%)}$$

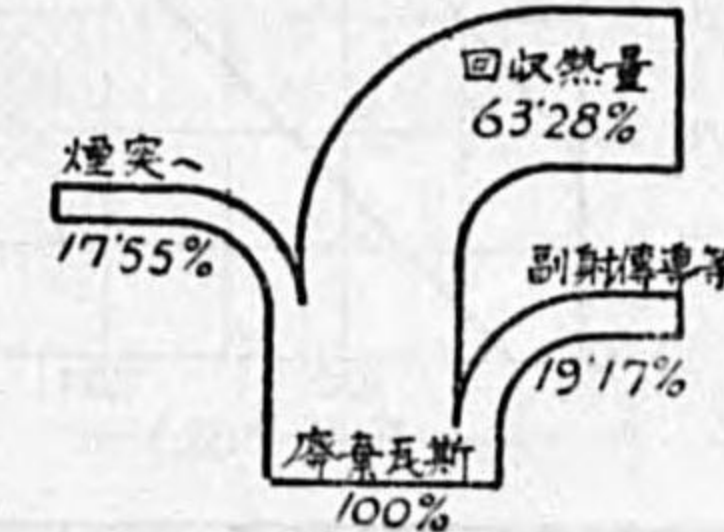
又煙突には

$$100 - (63.28 + 19.17) = 17.55 \text{ (\%)}$$

故に此の際に於ける熱量配布は第 6 圖の如し。

第 6 圖

瓦斯の温度 100°C 迄降下せしめられたる場合の熱量配布



第 4 節 蒸發量及び石炭當量

(1) 蒸 發 量

廢棄瓦斯 1 立方メートルが蒸發しつゝある水量を求め、汽罐入口に於ける瓦斯の溫度によりて最大如何程の蒸發量を得可きかを知らんす。7 號汽罐の蒸發量を示せば第 10 表の如し。而して第 4 表に示すが如く此の間の平均廢棄瓦斯量は毎時 25095 立方メートルなり。由つて

第 10 表 蒸發量 (7 號汽罐)

測定年月日	蒸發量 (噸)
4. 10. 28	3,725
" " 29	3,700
" " 30	3,908
" 11. 2	3,536
平 均	3,718

$$3,718 \times 10^6 \div 25095 = 148 \text{ (瓦)}$$

即ち平均 635°C の 1 立方メートルの廢棄瓦斯が蒸發する水の量は 148 瓦なる事を知る

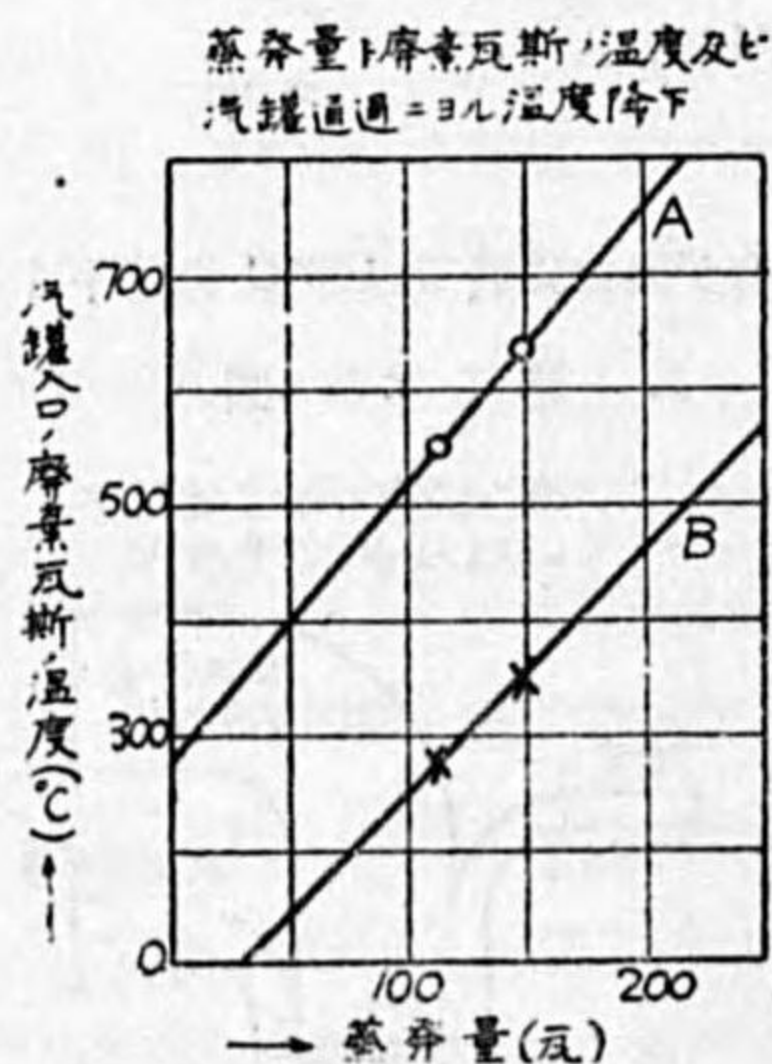
又 5 年 8 月中の 2 號汽罐にありては

$$2,867 \times 10^6 \div 25700 = 112 \text{ (瓦)}$$

即ち平均 550°C の 1 立方メートルの廢棄瓦斯が蒸發する水の量は 112 瓦なり。此の際に

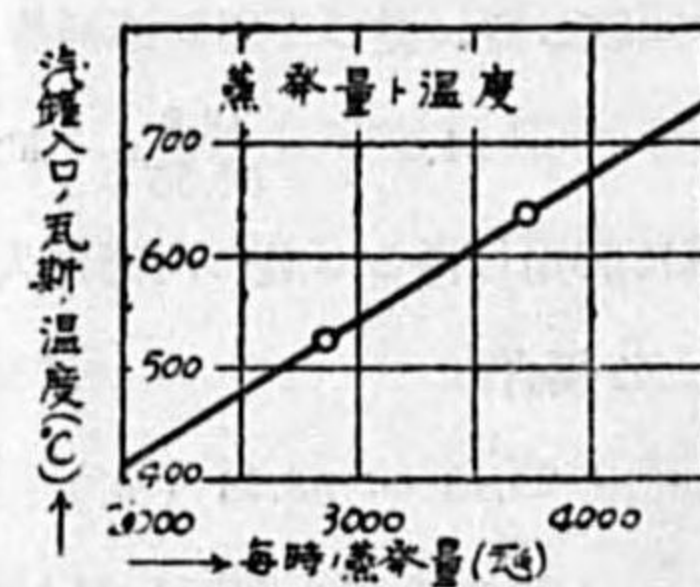
於ける汽罐入口の廢棄瓦斯の溫度と其の 1 立方メートルが蒸發しつゝある水量との關係は第 7 圖の如く、蒸發量は其の瓦斯の溫度に正比例する事を知る (直線 A 参照)。又汽罐通過に依る廢棄瓦斯の降下溫度と蒸發量を見るに等しく直線的にして此の兩者は相比例する事を知

第 7 圖



(1) 海野、製鐵所研究所受附研究、16 (1929)。

第 8 圖



る (直線 B 参照)。故に廢棄瓦斯を汽罐に通入するには可及的溫度降下を防ぐ要あるは著者が既に述べたる所にして其の能率は略々溫度に正比例すこ考ふる事を得。毎時の蒸發量

と瓦斯の溫度とを示せば第 8 圖の如し。汽罐入口の廢棄瓦斯の溫度が平均 700°C ならんか 8 圖よりして毎時の蒸發量は 4,250 噸なる。従つて廢棄瓦斯利用の爲めには可及的爐に近く汽罐を設くべきものにして煙突への排氣主道中⁽¹⁾は好位置たるべし。

(2) 石 炭 當 量

前述の場合に於て餘熱汽罐が幾何の石炭を回收しつゝあるかを算出せんす。製鐵所第二製鋼工場の各平爐が作業中平均毎時の消費石炭量、瓦斯量及び之による餘熱汽罐の蒸發量を第 11 表に総合せり。

第 11 表 毎時の燃料と蒸發量

	消費石炭量 (噸)	爐内使用瓦斯量 (立方メートル)	廢棄瓦斯量 (立方メートル)	蒸發量 (噸)
平 爐 1 基	1,597	4,152	25,095~25,700	3,718~2,867

汽罐に石炭を使用する際の熱能率⁽²⁾は在來の結果によるに 60~65% なり。今 65% を採り使用石炭の發熱量を 6500 カロリーとすれば眞に役立つ熱量は石炭 1 瓦の消費に對し

$$6500 \times \frac{65}{100} = 4225 \text{ (カロリー)}$$

此の熱量が蒸發し得る水量は

$$4225 \div 616 = 6.86 \text{ (瓦)}$$

従つて 3,718~2,867 噸を蒸發せしむるが爲めには

$$1 : 6.86 = x : 3,718 \sim 2,867, \quad x = 0.542 \sim 0.418 \text{ (噸)}$$

石炭 0.542~0.418 噸を要する事なる。故に

$$(0.5423 \sim 0.4177) \div 1,597 \times 100 = 33.9 \sim 26.2 \text{ (\%)}$$

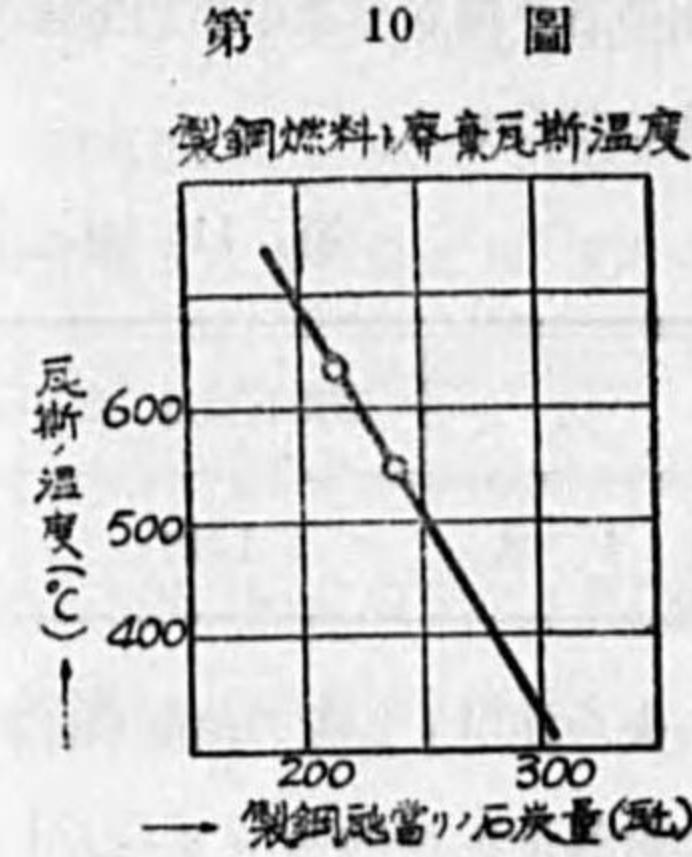
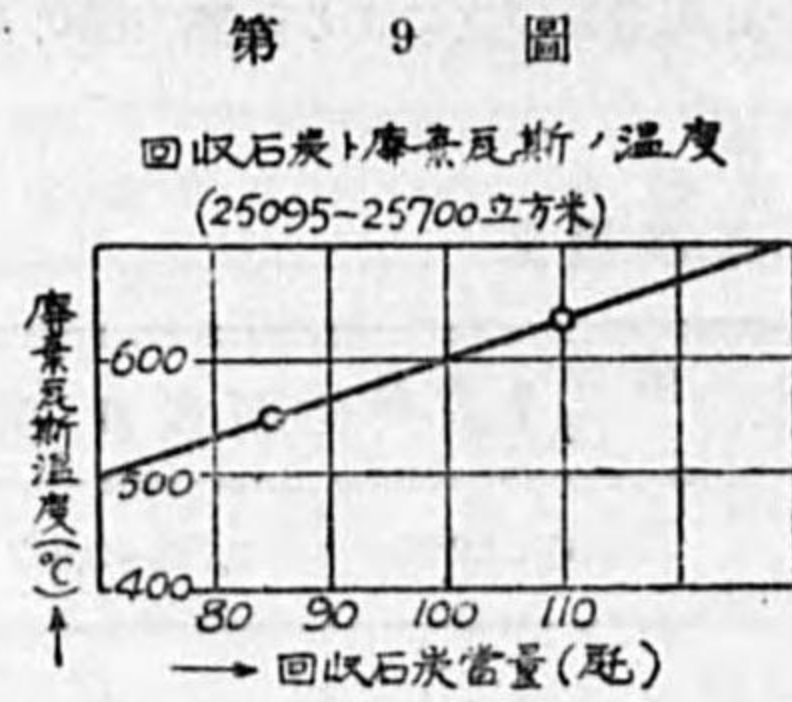
即ち發生爐使用石炭の 33.9~26.2% を回收しつゝある事に相當す。據つて此の回收石炭は製鋼燃料の何程を低下しつゝあるかを見るに、製鋼噸當り石炭 325 噸⁽³⁾を採れば

$$325 \times \frac{26.2 \sim 33.9}{100} = 85 \sim 110 \text{ (噸)}$$

85~110 噸を低下す。故に噸當り

(1) Blast Furnace and Steel plant. 前掲。
 (2) 海野、製鐵所研究所受附研究、前掲。
 (3) 海野、製鐵所研究所研究報告、10 (1930), No. 3.

325 - (85~110) = 240~215 (瓦)
 240~215 瓦なる。由つて廢棄瓦斯の汽罐入口に於ける温度と回收石炭當量及び製鋼適當りの石炭量との關係を夫々第9~10圖に示す事とせり。廢棄瓦斯の温度降下が不利なる事及び回收石炭によりて製鋼適當りの石炭量の低下する程度を知るべし。尙廢棄瓦斯を餘熱汽罐に利用せる際に於て1立方メートルの廢棄瓦斯は石炭幾何に相當するかを求めんに、第5表に示せる如く廢棄瓦斯の温度635°Cにして100°C迄降下せしめたるものとすれば



$$\frac{(635-100) \times 324}{4225} = 41.02 \text{ (瓦)}$$

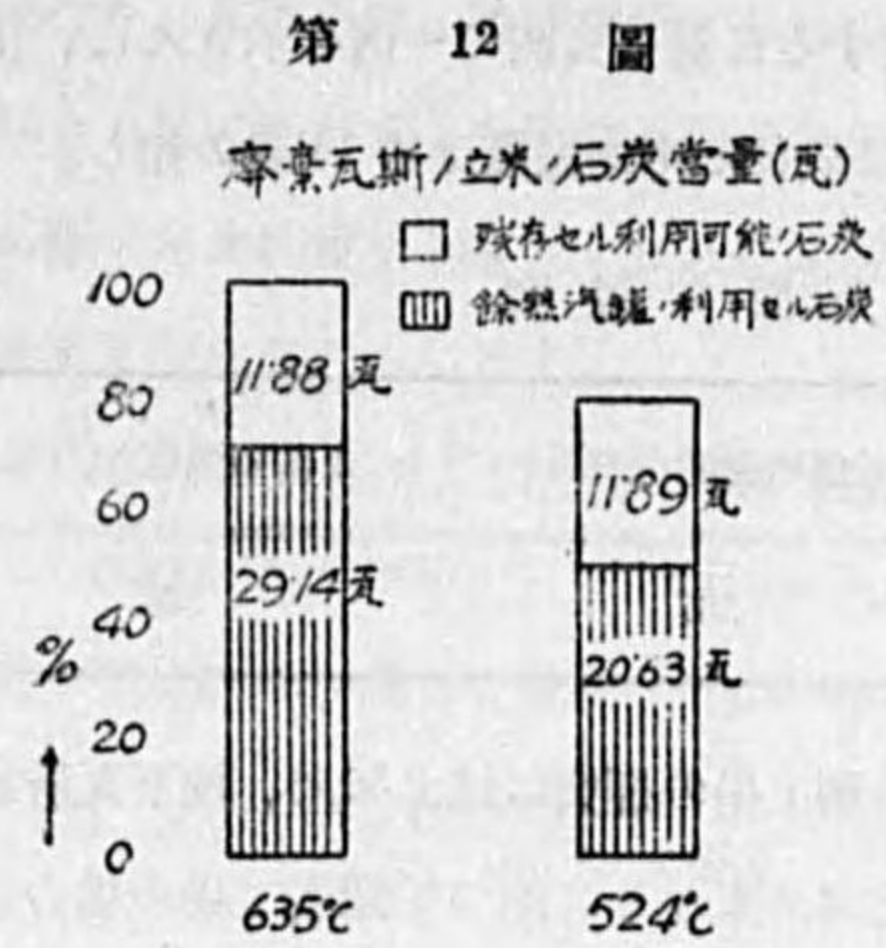
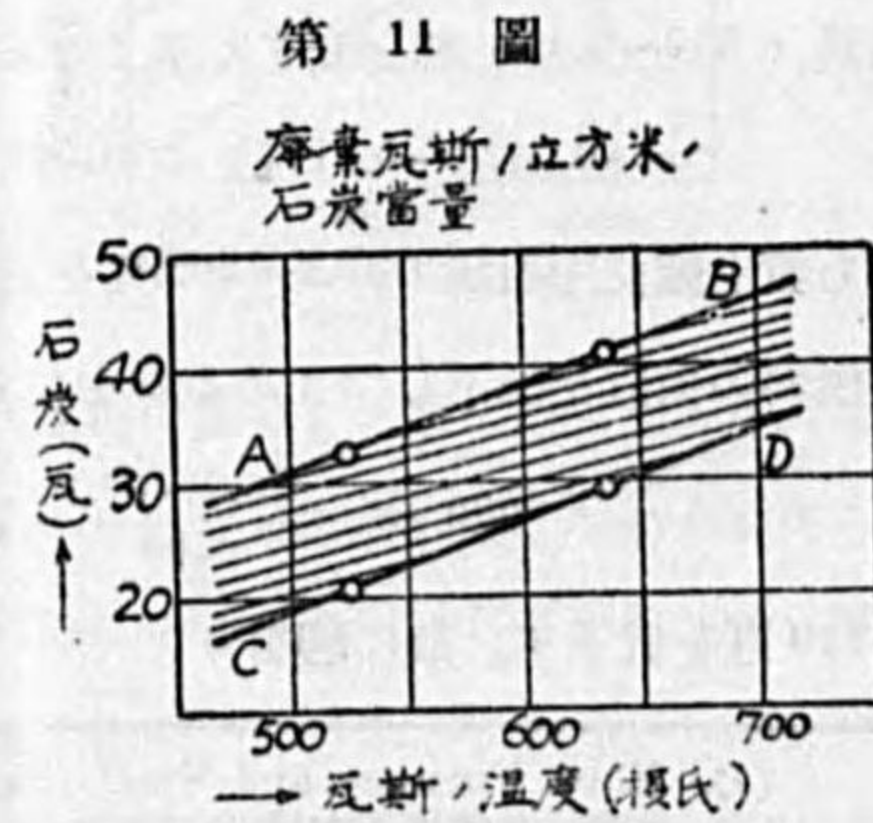
又 524°C とすれば $\frac{(524-100) \times 324}{4225} = 32.52 \text{ (瓦)}$

即ち廢棄瓦斯1立方メートル中利用可能の石炭の熱當量は41.02~32.52瓦なり。此の内第3餘熱汽罐に於て實際利用せられつゝある石炭當量を求むるに

$$\frac{(635-255) \times 324}{4225} = 29.14 \text{ (瓦)} \text{ 及び}$$

$$\frac{(524-255) \times 324}{4225} = 20.63 \text{ (瓦)}$$

夫々 29.14, 20.63 瓦なり。此の關係を第11圖に示せり。圖中 AB 線以下は利用可能の石炭當量を示し、CD 線以下は現在利用しつゝある石炭當量を示す。従つて AB, CD 線にて圍まれたる部分の石炭當量は殘存せる利用可能量を示すものなり。此の關係を明瞭ならし



めんが爲めに 635°C の廢棄瓦斯 1 立方メートルが有する利用可能の石炭當量 41.02 瓦を 100% にこり、實際利用しつゝある石炭當量を圖示すれば第12圖の如し。是れに依りて廢棄瓦斯の温度と利用しつゝある石炭當量との關係を知る事を得べし。

第 5 節 瓦斯分析表及び煙突上部の温度

第二製鋼工場第2號平爐へ供給せられつゝある瓦斯は測定結果によるに發生爐瓦斯其の大部分を占む、由つて測定當時甲乙番に於ける2號平爐への發生爐瓦斯の分析結果を示せば第12表の如し。

第 12 表 發生爐瓦斯の成分

測定年月日	CO ₂ (%)	CO(%)	H ₂ (%)	CH ₄ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	カロリー
5. 3. 14	2.5	29.3	10.6	4.1	0.3	53.2	1526
" " 17	2.2	29.9	10.2	4.1	0.2	53.4	1539
" " 18	2.4	29.9	10.3	4.2	0.2	53.0	1544
" " 19	2.1	30.1	10.5	4.1	0.3	52.9	1550
" " 24	2.2	30.0	11.0	4.1	0.3	52.4	1563
平 均	2.28	29.84	10.52	4.12	0.26	52.98	1544.4

又測定當時の第2號汽罐通過後に於ける廢棄瓦斯の分析結果を第13表に掲げたり。

第 13 表 廢棄瓦斯の成分 (2 號汽罐)

成 分	CO ₂	CO	H ₂	O ₂	N ₂
%	9.2	1.5	1.2	9.6	78.5

(1) 海野、製鐵所研究所研究報告、10 (1930), No. 3.

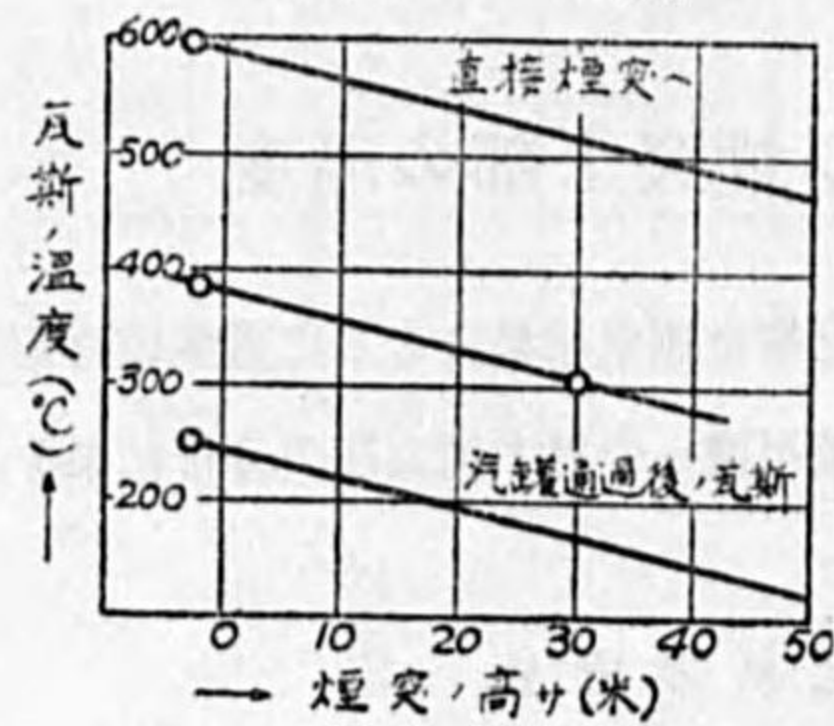
次に煙突の上部に於ける廢棄瓦斯の温度を推定するに當り實測⁽¹⁾の一例を示さん、工作部工作課鑄造工場 15 吨平爐附屬の煙突の上下部に於ける平均温度は第 14 表の如し。

第 14 表 煙突上下部の温度

全 長 (米)	下 部 内 徑 (米) 上 部 内 徑 (米)	下 部 の 温 度 (°C)	上 部 の 温 度 (°C)
37.000	2.000 1.150	387	306

第 13 圖

煙突上下ノ温度



第二製鋼工場⁽²⁾の煙突は地上 50 米、地下瓦斯道の中心迄 2.7 米なり。由つて鑄造工場の場合に殆んど相比例す⁽²⁾考ふれば第 13 圖よりして、直接煉瓦煙突へ放出せらるゝ時の下部の温度は 596°C (第 3 表) なるが故に 50 米の上方に於ては 465°C、即ち 131°C の降下あり又餘熱汽罐通過後は平均 250°C なるを以て上部に於ては約 119°C の廢棄瓦斯なる事を略推定し得。

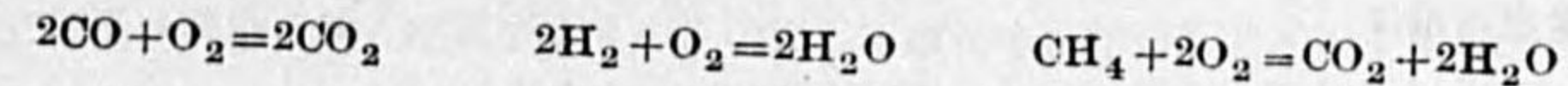
第 6 節 廢棄瓦斯の成分

廢棄瓦斯の成分の割合は爐内の燃焼狀況によりて左右せらるゝ事勿論なるが、又煙道其他よりの浸入空氣量によりても著しく其の割合を變化するものゝ如し。尙瓦斯が高温なる蓄熱室通過によりて既に其の成分の割合に變化あり、從つて廢棄瓦斯の成分よりして直ちに其の組成を論斷し難きも、參考として既知の反應狀況等よりして成生瓦斯量を算出せん。直接煙突への煙道を閉ぢ煙道の龜裂、ダンパー等より可及的空氣の浸入を防ぎて測定せる餘熱汽罐通過の瓦斯量は、毎時標準狀況の下に於て夫々 25095⁽⁵⁾、25515⁽⁶⁾、25700⁽⁷⁾ 立

(1) 海野、製鐵所研究所研究報告、(甲) 126 (1925).
 (2) 精確に考ふれば其構造、形状、大小又周圍の狀況瓦斯の種類等に依りて相違すべきも概略相比例すとせり。
 (3) 武居、製鐵所研究所受付研究、15 (1926), 48 (1929).
 (4) 小平、製鐵所研究所自發研究、1 (1929), 18.
 (5) 海野、製鐵所研究所受付研究、58 (1930).
 (6) (7) 全上、66 (1930).

方米なり。(又各平爐に毎時供給せられつゝある平均の瓦斯量は實測によるに發生爐瓦斯の 4152⁽¹⁾ 立方分に相當す) 今廢棄瓦斯の分析結果を廢棄瓦斯量 25515 立方分なる際に採り、供給瓦斯が完全燃焼せるものし廢棄瓦斯中に殘存せる酸素量を浸入空氣より見做せる際の廢棄瓦斯量を考へん。す。

先づ第 12 表に示せる發生爐瓦斯が燃焼による變化は



從つて是れより得らる可き CO₂ の容積は

$$\text{CO}_2 \dots\dots 4152 \times \left(\frac{29.84}{100} + \frac{4.12}{100} + \frac{2.28}{100} \right) = 1237 + 171 + 94.8 = 1504.8 \text{ (立方分)}$$

$$\text{又 } \text{O}_2 \dots\dots \left(\frac{1237}{2} + \frac{437.3}{2} + 2 \times 171.0 \right) - 10.8 = 1168.4 \text{ (立方分)}$$

故に是れによりて生ずべき N₂ は

$$\text{N}_2 \dots\dots \frac{1168.4 \times 792}{208} = 4440 \text{ (立方分)}$$

故に平爐通過によりて完全燃焼後に存在する窒素量は

$$\frac{4152 \times 52.98}{100} + 4440 = 6639 \text{ (立方分)}$$

然るに第 13 表に示せる廢棄瓦斯中に殘存する酸素量は

$$\text{O}_2 \dots\dots 24735.7 \times \frac{9.6}{100} = 2375.2 \text{ (立方分)}$$

而して反應による水蒸氣は

$$\text{H}_2\text{O} \dots\dots \frac{4152}{100} \times (10.52 + 2 \times 4.12) = 437.3 + 342 = 779.3 \text{ (立方分)}$$

此の外に既に發生爐瓦斯中にも多少の水分を含有す、此の量及び廢棄瓦斯中に途中より浸入し來る水分を暫く措き以上の 779.3 のみを考ふれば廢棄瓦斯量は

$$25515.0 - 779.3 = 24735.7 \text{ (立方分)}$$

なる。又次に示す如く廢棄瓦斯中に殘存する H₂ は既に發表せられたる如く瓦斯中に含まれたる水分の分解に起因すこせば是れより來る酸素は

$$\text{O}_2 \dots\dots 296.8 \div 2 = 148.4 \text{ (立方分)}$$

(1) 海野、製鐵所研究所受付研究、53 (1926), 小平、全上
 (2) 小平、前掲

従つて尙ほ残存せる

$$2375.2 - 148.4 = 2226.8 \text{ (立方米)}$$

2226.8 立方メートルの酸素は空気より來れるものゝすれば是れに相當する窒素は

$$N_2 \dots\dots\dots 2226.8 \times \frac{792}{208} = 8475 \text{ (立方米)}$$

故に全窒素量は

$$N_2 \dots\dots\dots 6639 + 8475 = 15114 \text{ (立方米)}$$

従つて廢棄瓦斯中に尙ほ残留する窒素量は、

$$N_2 \dots\dots\dots 24735.7 \times \frac{78.5}{100} - 15114 = 4303 \text{ (立方米)}$$

なる。是れ等の結果を第 15 表に總合せり。

第 15 表 瓦斯の成分變化の行程

成 分	發生爐瓦斯 (立方米)	完全燃焼後の瓦斯 量 (立方米)	汽竈通過後の瓦斯 量 (立方米)	浸入空氣量を除きた る殘量 (立方米)
CO ₂	94.8	1504.8	2275.7	770.9
CO	1239.0	?	371.0	371.0
H ₂	437.4	?	296.8	0
CH ₄	171.0	0	0	0
O ₂	10.8	0	2375.2	0
N ₂	2199.0	6639.0	19417.0	4303.0
合 計	4152.0	8143.8	24735.7	

平爐内に供給せられたる發生爐瓦斯が完全に燃焼せるものゝし、又 H₂ に相當する O₂ を考慮するも尙ほ残存せる酸素あるが故に、是れに相當する窒素を除去したるに尙ほ如上の窒素の殘量あるを見る。是れ爐内の反應より與へられたる CO が尙ほ余分の空氣の酸素と結合して CO₂ を作れるものゝ見做す事を得るが故に、此の際に於ける反應として次式を考ふる事を得。



従つて上表末行中の CO₂ を作れる O₂ を求むるに

$$O_2 \dots\dots\dots 770.9 \div 2 = 385.5 \text{ (立方米)}$$

故に之れに相當する窒素は

$$N_2 \dots\dots\dots 385.5 \times \frac{792}{208} = 1466 \text{ (立方米)}$$

故に

$$4303 - 1466 = 2837 \text{ (立方米)}$$

なる。此の窒素に相當する酸素

$$2837 \times \frac{208}{792} = 746 \text{ (立方米)}$$

746 立方メートルは精錬に働く空氣中よりのものにして鋼滓中に結合して流出するものゝ考へらる。尙ほ上記の計算より知らるゝ如く 4152 立方メートルの瓦斯が完全燃焼をなするに當りて要する空氣量は、5607 立方メートル即ち 1.35 倍に相當す。據つて以上論述し來たれる所を總合して全空氣量を示せば第 16 表の如し。

第 16 表 浸入空氣量

種 別	完全燃焼	廢棄瓦斯中の O ₂ より	廢棄瓦斯中の CO ₂ より	殘存せる N ₂ より	合 計
立 方 米	5608.4	10701.8	1851.5	3583	21744.7
供給瓦斯に 對する比	1.35	2.58	0.44	0.86	5.23

之れに依れば供給瓦斯量に對し合計 5.23 倍の浸入空氣量ありたる結果なる。而して反應に必要な空氣量は上記中

$$1.35 + 0.44 + 0.86 = 2.65 \text{ (倍)}$$

即ち供給瓦斯量の約 2.65 倍の空氣にて足る可きにして残り 2.58 倍の空氣は全く餘分の浸入量なるが如し。此の餘分の空氣は何れの部分より浸入すこ正確に斷定し難きも平爐前側の戸の間隙及び附近の煉瓦壁の龜裂等よりの浸入其大部分を占むるに非ざるかと思ふ。前田技手が第一製鋼工場第 5 號平爐の吸氣及び排氣の分析中に存せる酸素量の増加よりするも此想像の眞に近きを思はしむ。

第 7 節 各爐の廢棄瓦斯の溫度と其熱量

蒸發量及び石炭當量に就きては既に第 4 節に於て述べたる所なるが、尙今日迄主として著者が測定せる各爐の廢棄瓦斯の溫度及び、100°C の水 1 立方メートルを得んが爲めには廢棄瓦斯幾立方メートルを要するかを算出して参考に資せん。水の常溫を 20°C とすれば沸騰點に

(1) 小平、製鐵所研究所受附研究、71 (1929)。

達するには1瓦につき80カロリーを要す。由て第4節よりして635°Cの瓦斯にありては、

$$\frac{3.718 \times 616 \times 10^6}{80 \times 25095} = 1140 \text{ (瓦)}$$

又 550°C の瓦斯にありては

$$\frac{2.867 \times 616 \times 10^6}{80 \times 25700} = 859 \text{ (瓦)}$$

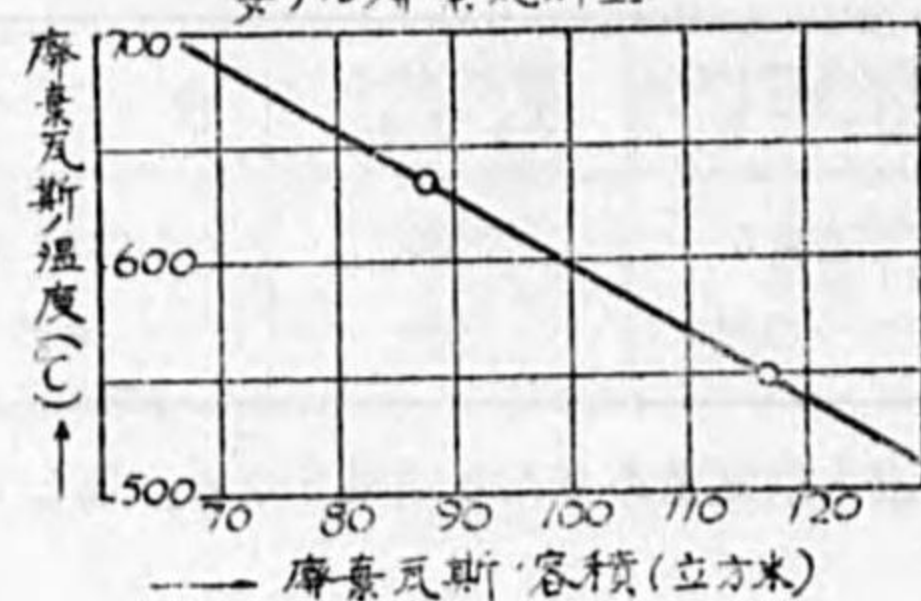
故に100°Cの湯1立方メートルを得んが爲めに要する廢棄瓦斯量は

$$1140 : 100000 = 1 : x \quad \therefore x = 87.7 \text{ (立方メートル)}$$

$$859 : 100000 = 1 : x \quad \therefore x = 116.4 \text{ (")}$$

第 14 圖

100℃の水/立方メートルを得るに必要ナル廢棄瓦斯量



即ち635°C及び550°Cの廢棄瓦斯は夫々87.7

及び116.4立方メートルが1立方メートルの水を100°C

に上昇せしむるに足る事を知る。此の瓦斯

の温度と是れに要する瓦斯の容積との關係

を第14圖に示せり。是れに依れば廢棄瓦斯

の温度降下すれば1立方メートルの水を100°Cに

上昇せしむるに要する廢棄瓦斯量は直線的

に増加し、500°Cに降れば135立方メートルを要

する事となる。参考の爲め所内各工場の爐よりの廢棄瓦斯の温度を第17表に示せり。

第 17 表 廢 棄 瓦 斯 温 度

研究番號	年度	工 場 名	温 度 (°C)
受付研究 26	1928	第二大形工場加熱爐	400~500
" 63	1927	煉瓦工場 { マグネシヤ窯第1號 全 第4號 シヤモット窯第10號 }	300~1200
" 64			
" 69			
" 78			
" 66	1929	第四型鋼工場加熱爐	400~500
" 71	1928	第三小形工場加熱爐	650~750
" 32	1926	煉瓦工場マグネシヤ窯第3及4號	300~1200
" 49	1928	線材工場加熱爐	500~640
" 10	1927	第二分塊工場均熱爐	900~1000
甲 95	1926	硅素鋼板工場連續式燒鈍爐	300~400
" 81	"	中板工場連續式加熱爐	400~600

是に依れば如何に多量の尙且つ高温の廢棄瓦斯が失はなれつつあるかを想像せらる可し。

第 8 節 廢棄瓦斯利用の一つの計算

廢棄瓦斯が持ち去る熱量の回收法の一として此の熱量によりて45°Cの湯を得る場合につき一つの計算を試みんす。昭和4年10月28日~11月2日に至る間に於ける第二製鋼工場附屬第7號汽罐は毎時3.718噸の蒸發量にして、廢棄瓦斯量は毎時標準狀況の下に於て平均25095立方メートルその温度は635°Cなり。今水の常温を15°Cとすれば1立方メートルの標準狀況下に於ける瓦斯が45°Cに上昇し得る水量は

$$\frac{3.718 \times 616 \times 10^6}{25095 \times 30} = 3042 \text{ (瓦)}$$

又 550°C の廢棄瓦斯 25700 立方メートルにありては同様にして

$$\frac{2.867 \times 616 \times 10^6}{25700 \times 30} = 2291 \text{ (瓦)}$$

故に瓦斯の温度が夫々635, 550°Cの時に45°Cの湯1立方メートルを得んが爲めには、

$$635^\circ\text{C} \dots \dots x = 328.7 \text{ 立方メートル}, \quad 550^\circ\text{C} \dots \dots x = 436.5 \text{ 立方メートル}$$

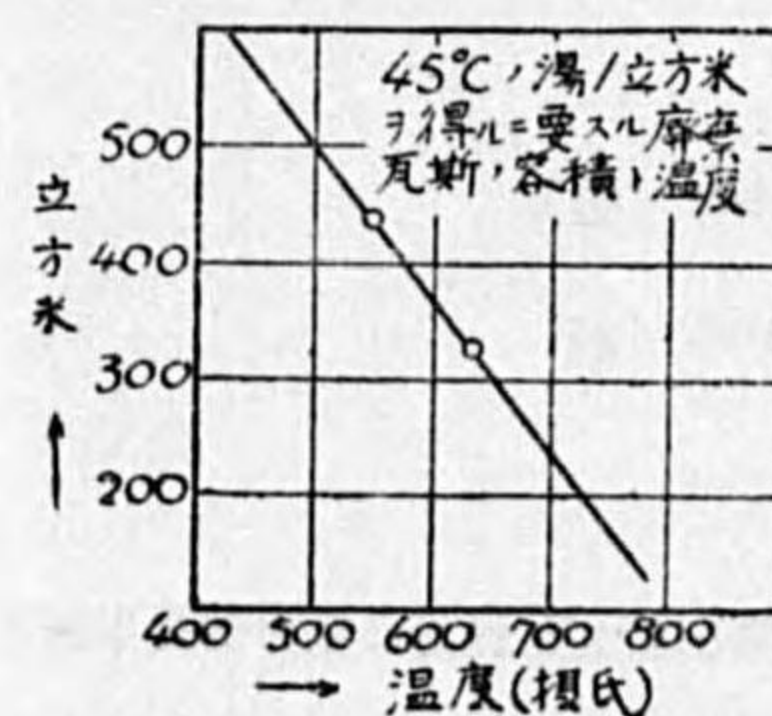
即ち夫々、328.7, 436.5立方メートルにて足る事を知る。此の關係を第15圖に示せり。據て7號汽罐は毎時

$$(25095 \sim 25700) \div (328.7 \sim 436.5) = 76.4 \sim 59.0 \text{ (立方メートル)}$$

従つて1晝夜には

$$(76.4 \sim 59.0) \times 24 = 1834 \sim 1416 \text{ (立方メートル)}$$

第 15 圖



1834~1416立方メートルの45°Cの湯を得らるべきなり。

次に壓延工場に於ける加熱爐よりの廢棄瓦斯の一例として製鐵所鋼板部第二中板工場加熱爐の場合を考ふるに、使用瓦斯は鑄鐵爐及び散炭瓦斯の混合にして廢棄瓦斯量は標準狀況下に於て約5700立方メートル其温度は554~781°C=670°Cなり。第15圖よりして1立方メートルの45°Cの湯を得んには廢棄瓦斯275立方メートルを要す。由て毎時

$$5700 \div 275 = 20.73 \text{ (立方メートル)}$$

従つて8時間に對しては

$$20.73 \times 8 = 165.84 \text{ (立方米)}$$

165.84 立方米を得らるべきなり。

〔今當所の浴槽數と其面積を見るに第18表の如し。〕

第 18 表 浴 槽 の 面 積

用 途	浴 槽 數	面 積 (坪)	備 考
職 工 用	256	384=13824 ^{平方尺}	洞岡、戸畑を含まず
職 員 用	43	1047	
合 計	299	14871	

槽の深さを 2.5 尺とすれば

$$14871 \times 2.5 = 37177.5 = 1035.5 \text{ (立方米)}$$

第二中板工場加熱爐よりの廢棄瓦斯よりの分に比すれば

$$165.84 \div 1035.5 \times 100 = 16 \text{ (\%)} \quad \left. \begin{array}{l} \text{即ち當所内の浴槽の約1割6分を満たすに足る計算となる。} \\ \text{次に299の浴槽が流出する熱量又従つて其の石炭當量を算出せん。先づ排棄湯量を} \\ \text{50\%とすれば1日の使用熱量は} \end{array} \right\}$$

50%とすれば1日の使用熱量は

$$(45 - 15) \times 1035.5 \times 1.5 \times 10^3 = 4650 \times 10^4 \text{ (キロカロリー)}$$

又蒸氣の損失を 15%、汽罐の能率を 65%とすれば汽罐に要する石炭の全熱量は

$$\frac{4650 \times 10^4}{0.65 \times 0.85} = 8424 \times 10^4 \text{ (キロカロリー)}$$

石炭の發熱量を 6500 カロリーとすれば

$$1 \text{ 日の所要石炭當量} = \frac{8424 \times 10^4}{6500} = 12.960 \text{ (噸)}$$

$$300 \text{ 日とすれば} \quad 12.960 \times 300 = 3788 \text{ (噸)}$$

年間 3788 噸の石炭量に相當す。

本稿を終るに當り御指導を辱ふしたる工學博士技監野田研究所長並に動力部長岸原主事に對し深厚なる謝意を表す。又測定に従事せる末藤副研究員、福本、岡田、中畑の各副手に對し其の勞を謝すものなり。 (5. 6. 6.)

終