

始



製鐵所研究所

# 研究報告

Vol. VIII No. 6

小形工場加熱爐の熱能率とその熱的考察に就て

技師 海野三朗  
理學博士

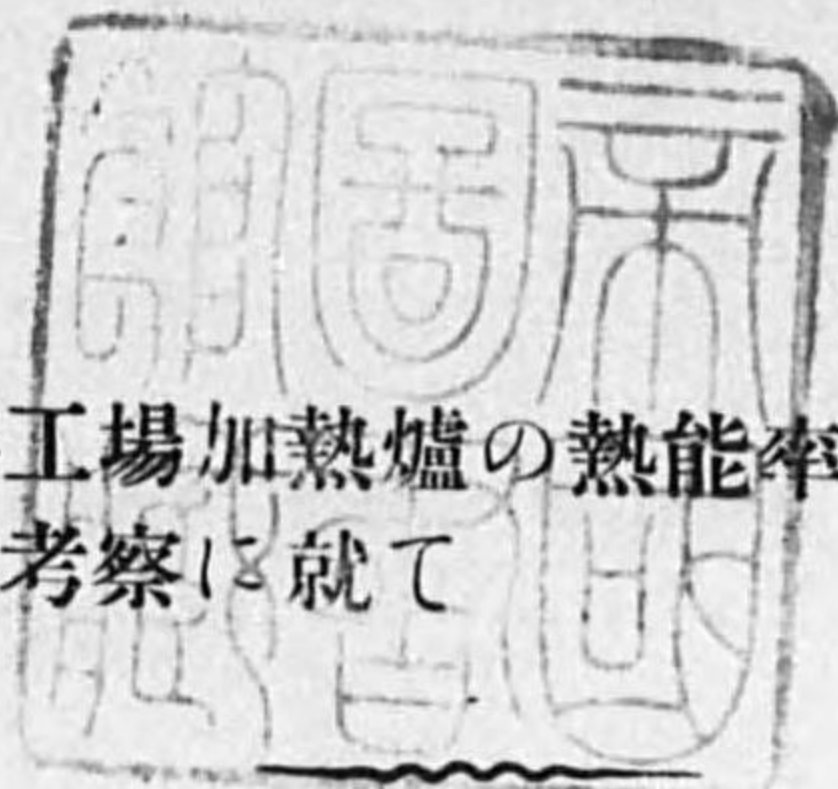
昭和三年十二月發行

製鐵所

福岡縣八幡市

(代謄寫)

小形工場加熱爐の熱能率とその  
熱的考察に就て



目 次

研究の要旨並に結論概要……………( 1 )

第1章 測定状況とその結果……………( 2 )

  第1節 緒 言……………( 2 )

  第2節 測定状況……………( 3 )

  第3節 測定の結果……………( 4 )

第2章 使用燃料の配布……………( 7 )

  第1節 瓦斯發生爐の熱能率……………( 7 )

  第2節 加熱鋼片の温度……………( 9 )

  第3節 鋼片の持ち去る熱量……………( 9 )

  第4節 爐が吸収する熱量……………( 10 )

  第5節 爐周より持ち去らるゝ熱量及び保温煉瓦を使用せる場合との比較……………( 11 )

  第6節 豫熱せられし空氣は何程の熱を回收しつゝあるか……………( 14 )

  第7節 熱 能 率……………( 15 )

第3章 熱 的 考 察……………( 16 )

  第1節 裝入瓦斯量及び空氣量と爐内の温度との關係……………( 16 )

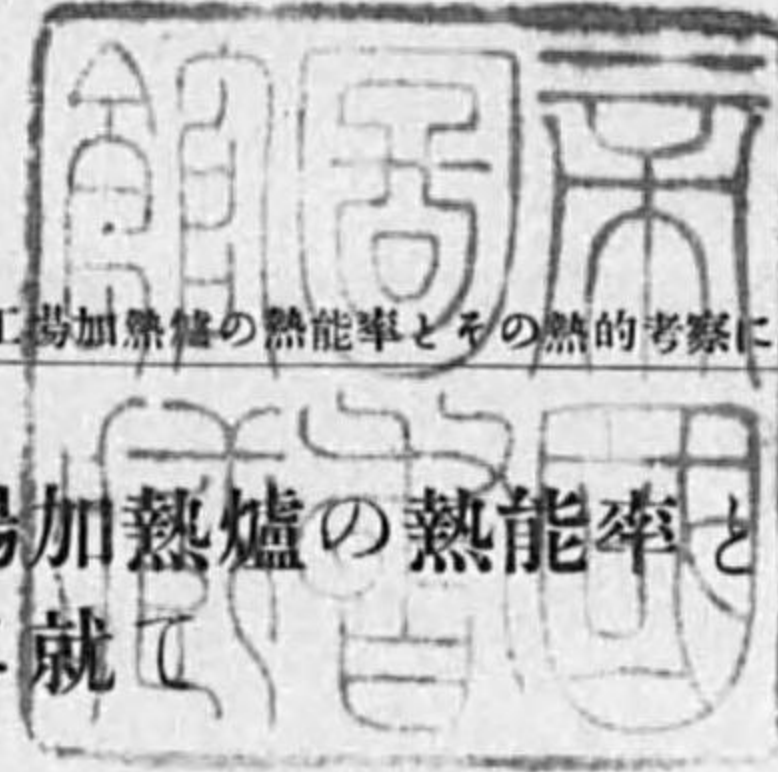
  第2節 爐中鋼片の速度と加熱時間……………( 18 )

  第3節 最高能率の加熱爐の大きさに就て……………( 24 )



寄贈本

14-5-131



小形工場加熱爐の熱能率とその熱的考察に就て

## 小形工場加熱爐の熱能率とその熱的考察に就て

技 師 海 野 三 朗  
理學博士

### 研究の要旨並に結論概要

再熱爐として第三小形工場加熱爐をとりその使用燃料の配布、鋼片の爐中保持の時間、餘熱利用の狀況その他實測よりして二三の熱的考察をなせるものなり。その結果次の如く述ぶる事を得。

1. 第三小形工場加熱爐第1號につき昭和三年三月二日より七日まで4回に亘り爐の各部の溫度、使用瓦斯、空氣の量と溫度並に加熱鋼片の溫度を測定せり(第1~5圖、第1~2表)。
2. 測定せる爐内の溫度は最低 825°C より最高 1325°C に及び送入瓦斯及び空氣の溫度は平均として夫々 621°, 47°C. 瓦斯及び空氣量は夫々平均毎時 2156, 3775 立方米即ち 1:1.75 の割合なり(第2圖、第3表)。
3. 瓦斯發生爐の熱能率は 86.17% なり。即ち消費石炭の發熱量の 86.17% の熱を發生し得可き瓦斯を加熱爐に送入しつつあり。
4. 抽出直後の加熱鋼片の溫度は平均 1188°C にして、第1回荒ロール通過後剪斷機前に於ける溫度は 1140° なり。故にその間表面に於て平均 48°C の溫度降下あり。
5. 鋼片の持ち去る熱量は消費石炭發熱量の 25.60% にして、送入せられたる瓦斯發熱量の 29.7% なり。
6. 線材工場に於ける石炭の直接燃焼の場合の熱能率は 22.68% にして、發生爐瓦斯を使用せる第三小形工場は 25.60% 従つて一晝夜につき石炭 4.5 噸の差あり。

7. 加熱爐が定常状態に達する迄に吸収する熱量は石炭 4.63 吨に相當す。
8. 爐周より流出する熱量は使用燃料の 8.33% なり。されど保温煉瓦を使用せば優に 3.1% に減少せしむる事を得 (第 6 圖)。
9. 爐周を分ちて爐壁、天井、爐底の三部とすれば現作業に於て各部より流出する熱量の割合は  $1.7:2.4:1$  なり。
10. 爐床下を通過せしめて豫熱せる空氣の温度は平均  $47^{\circ}\text{C}$  にして使用燃料の 1.27% を回収せり。之を  $100^{\circ}\text{C}$  に豫熱せられたりとするも 2.7% を回収するに過ぎず。餘熱汽罐の場合の 30~40% の回収あるに比すれば甚だ小なり。
11. 瓦斯發生爐に於ける使用石炭發熱量の損失は 13.83% にして、排棄瓦斯が持ち去る熱量は實に使用燃料の 52.24% なり (第 7 圖)。
12. 爐内の温度を上昇せしめ且つ高温の部分をして長からしめんが爲めには、瓦斯と空氣との割合を  $1:1.9$  に近からしむるを要す。瓦斯量及び瓦斯と空氣との温度は影響する處甚だ少なき結果を得たり (第 8~9 圖)。
13. 鋼片が爐内に保持せらるゝ時間は平均 5 時 16 分なるも實測上より起算すればその時間は七分の一に短縮し得可き事を知れり。
14. 最高能率の加熱爐たらしめんとせば爐は横縦共に擴く高さは瓦斯が自由に通過し得る程度にして、鋼片の厚さを可及的減少せしめその長さを増加するにあり。

## 第一章 測定状況とその結果

### 第 1 節 緒 言

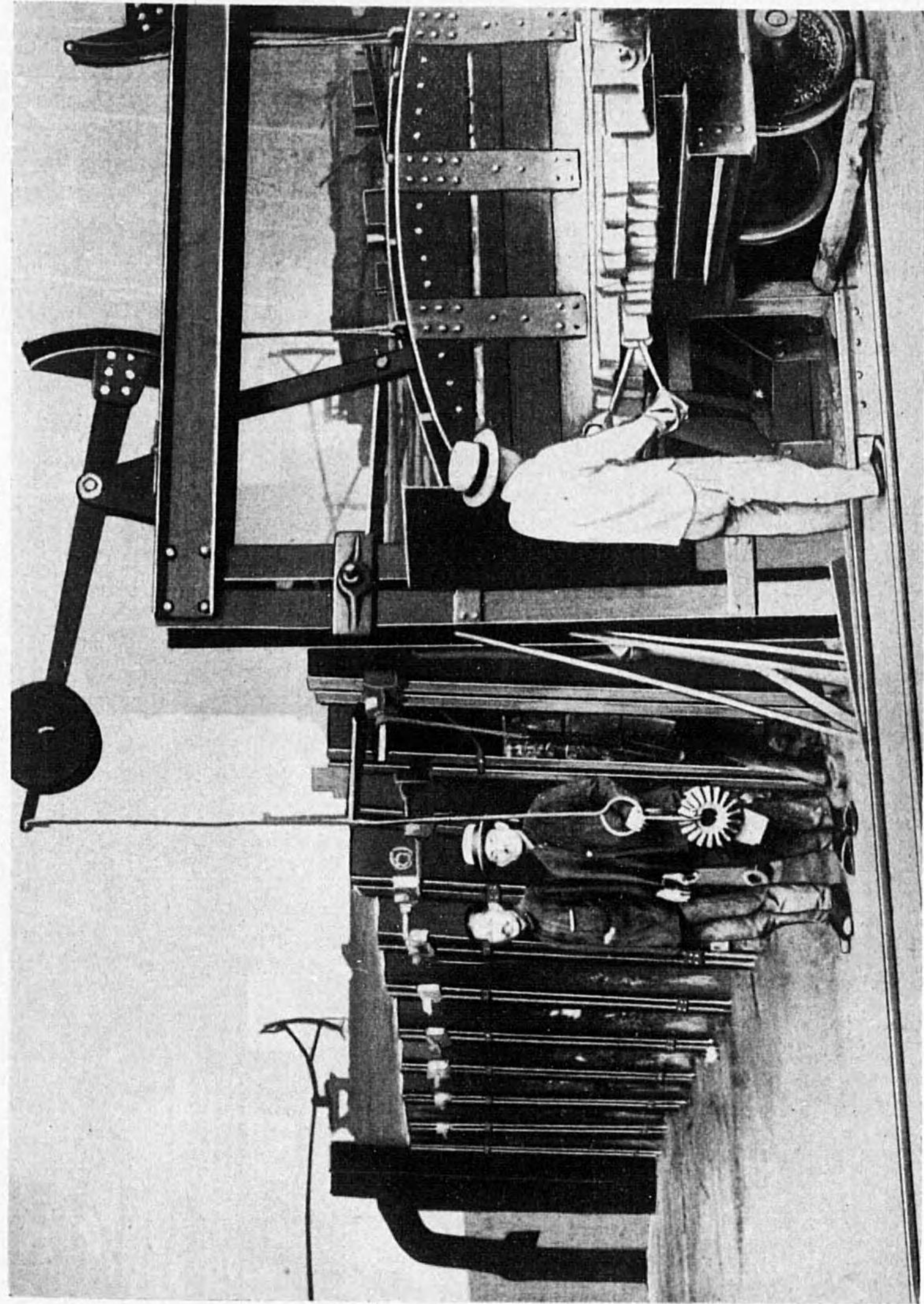
壓延工場に於ける加熱爐の熱的性質に就きては既に多くの報告<sup>(1)</sup>あれ共、加熱爐の構造、壓延鋼材の種類、形状及び使用燃料等に於て各々相異なり従つてその状況千差萬別なり。而して實際作業につきて各部の温度状況を知り、各物質の高温に於ける熱的恒数の最近に於ける實測値を用ひて、各部が吸

(1) 松尾、研究會記事 72 (1923), 12.

W. E. Groume-Grijmailo, The Iron Age, Aug. 24 (1922), 465.

M. Felix Verdeaux, Revue de Metallurgie, 17 (1920), 312.

R. J. Sarjant, Fuel in Sci. and Pract. 4 (1925), 276, 328.



第一圖 第三工場工形小三第

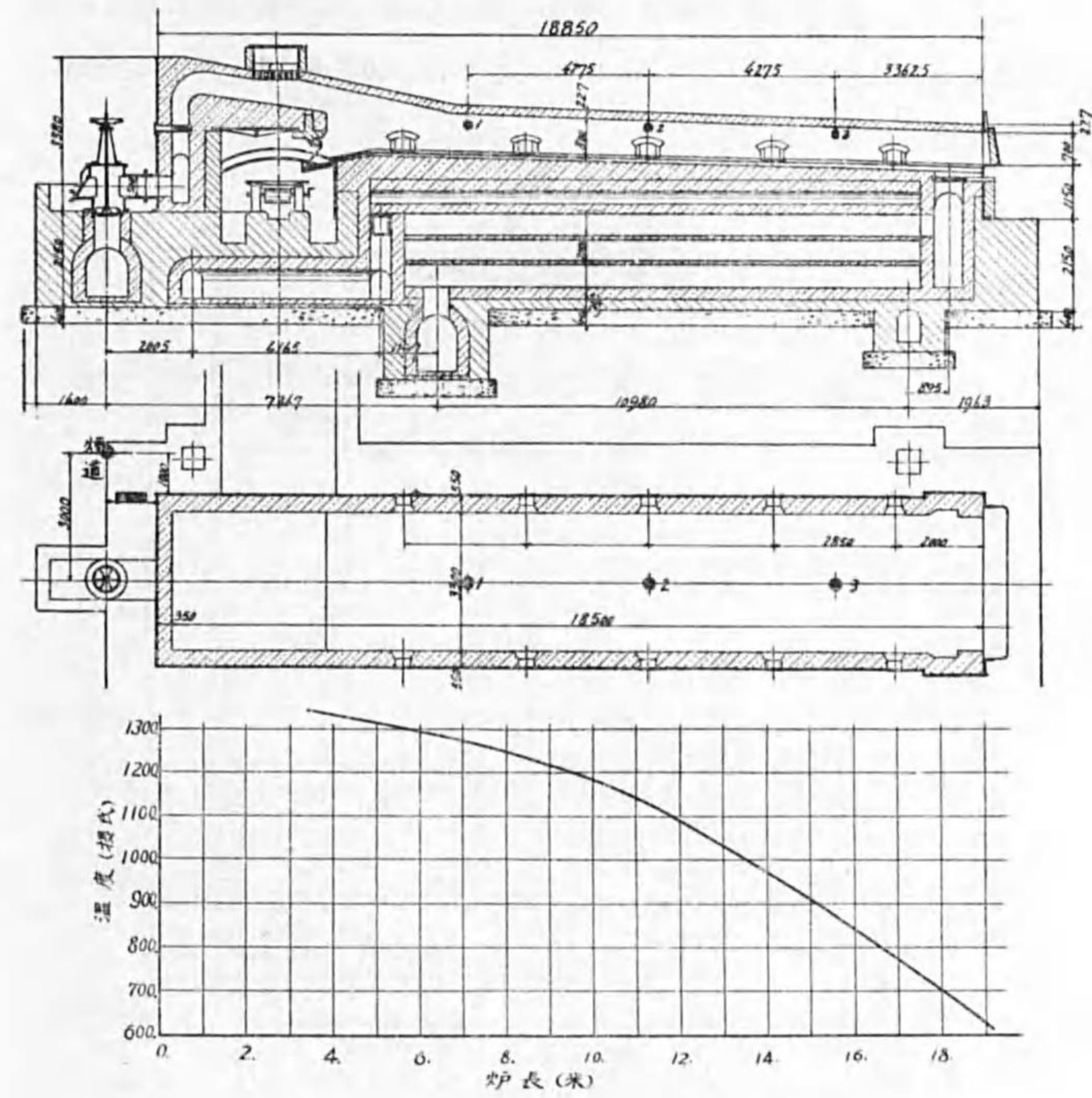
收する熱量を算出せるもの甚だ少なきの觀あり。筆者は小形工場の一例として第三小形工場加熱爐を採り、その内外その他に於ける温度分布を知り、之より使用燃料の配布並に二三の熱的考察をなさんと企てしものなり。

第2節 測定状況

昭和三年三月二、三、六、七日の4回に亘りて測定を行へり。その加熱爐

第 2 圖

第三小形工場加熱爐温度測定箇所略圖

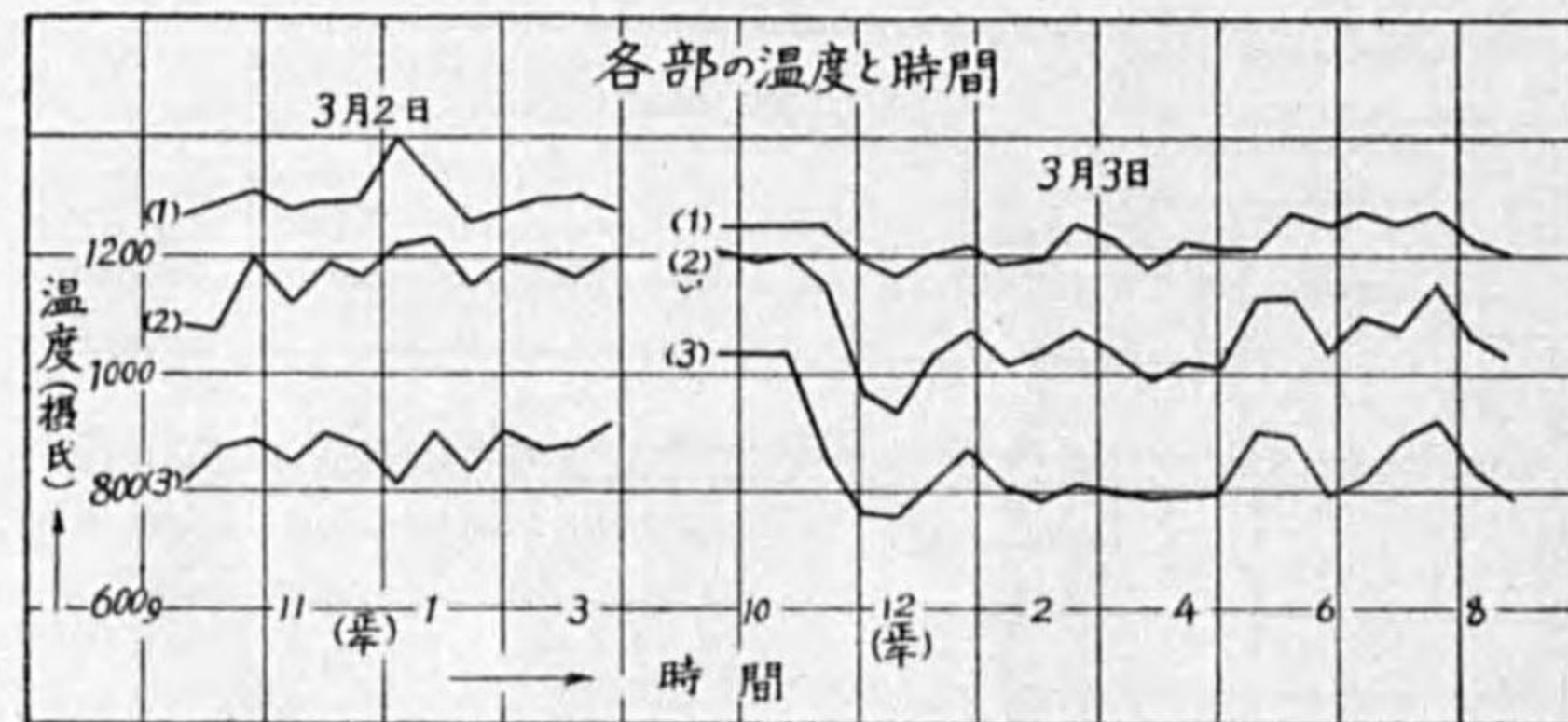


は第三小形工場第1號爐にしてその外觀は第1圖に示せり。高温の部にありては爐壁に穿てる穴より耐火管を挿入してホルボルン、カールバウム式 (Holborn Kurlbaum) 光熱度計ピロプト光學高温計又は熱電對等に據り時間と共にその變化を測定せり。又爐周及び爐の上部外面の温度は定常状態に達せる後に於て特種の装置を施せる寒暖計を使用せり。尙測定箇所を明瞭ならしめんが爲めに 1. 2. 3. 等の符號を附して第2圖に示す事とせり。

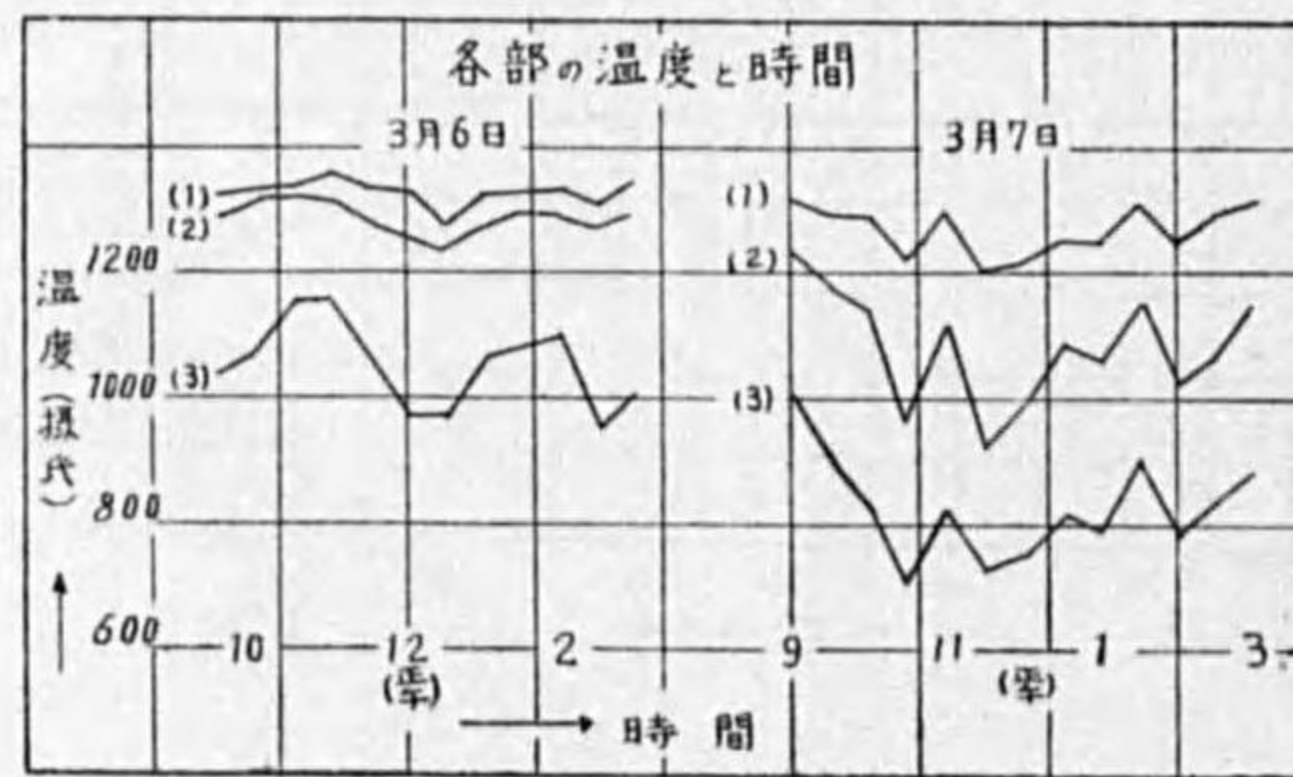
第3節 測定結果

斯くして行へる加熱爐の内部並に煙道の温度を第1及び第2表に示し、時間と温度との關係を第3~5圖に示せり。是等によりて時間に對する各部の温度變化を窺ふに足る可し。

第 3 圖

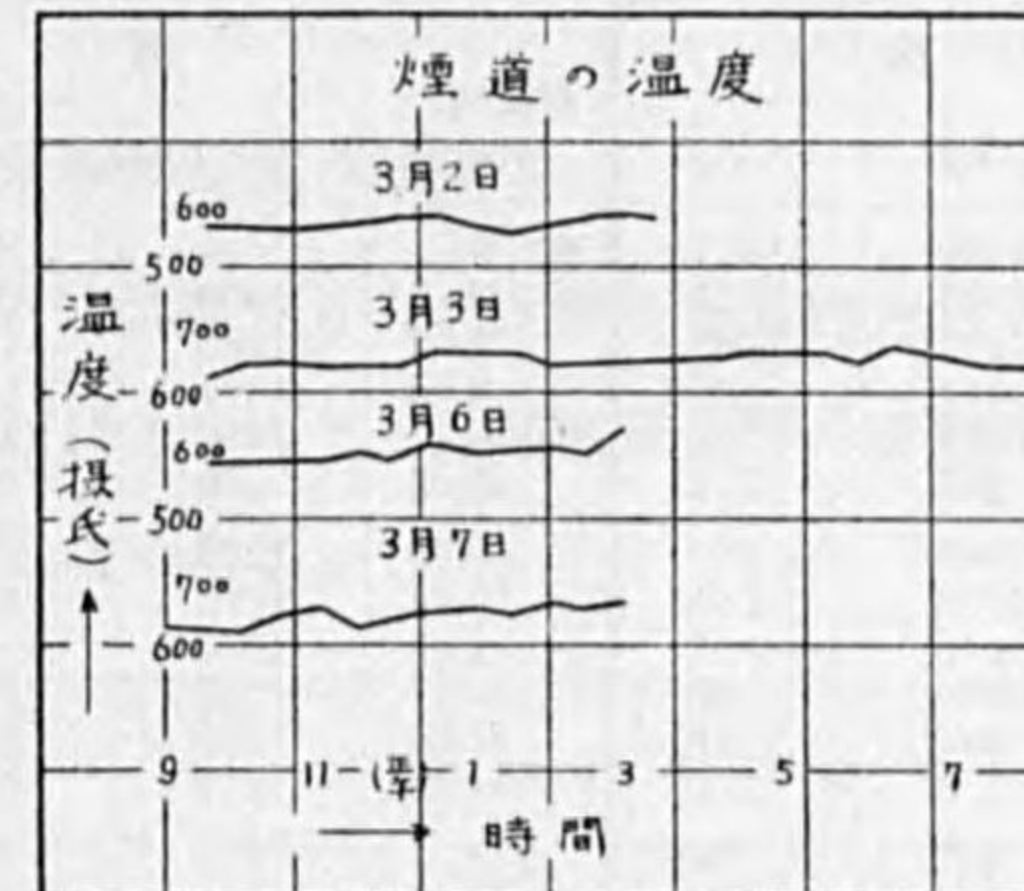


第 4 圖



.....( 4 ).....

第 5 圖



第 1 表  
加熱爐内部測定温度表

測定時刻	3月2日測定			3月6日測定			
	温度(C°)			温度(C°)			
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	
前 9.30	1261	1080	810	前 9.30	1320	1285	1030
10.	1291	1068	870	10.	1333	1314	1073
10.30	1306	1195	890	10.30	1335	1320	1150
11.	1277	1120	847	11.	1356	1310	1155
11.30	1293	1180	896	11.30	1330	1275	1065
12.	1295	1160	875	12.	1323	1252	964
後 0.30	1395	1216	808	後 0.30	1274	1235	972
1.	1320	1222	894	1.	1320	1272	1060
1.30	1250	1140	830	1.30	1323	1297	1082
2.	1270	1191	900	2.	1335	1289	1100
2.30	1290	1180	865	2.30	1311	1273	952
3.	1297	1160	878	3.	1342	1289	1010
3.30	1270	1200	910	平均	1325	1284	1051
平均	1293	1162	867				

.....( 5 ).....

3月3日測定				3月7日測定			
測定時刻	温 度(C°)			測定時刻	温 度(C°)		
	(1)	(2)	(3)		(1)	(2)	(3)
前 9.30	1243	1200	1027	前 9.	1315	1235	1010
10.	1246	1183	1027	9.15	1300	1220	985
10.30	1253	1193	1035	9.30	1295	1180	900
11.	1252	1148	860	9.45	1304	1172	895
11.30	1196	967	782	10.	1290	1140	830
12.	1160	935	752	10.15	1250	1055	750
後 0.30	1200	1028	815	10.30	1215	960	700
1.	1218	1073	865	10.45	1270	1025	760
1.30	1184	1015	802	11.	1300	1120	820
2.	1195	1040	780	11.15	1245	1010	790
2.30	1254	1072	810	11.30	1200	920	725
3.	1225	1035	800	11.45	1210	960	730
3.30	1174	982	786	12.	1215	985	750
4.	1220	1015	790	後 0.15	1285	1080	820
4.30	1206	1004	797	0.30	1250	1085	815
5.	1271	1125	900	0.45	1240	1058	825
5.30	1266	1124	887	1.	1250	1060	785
6.	1252	1030	790	1.15	1265	1110	845
6.30	1270	1095	820	1.30	1310	1150	905
7.	1254	1072	885	1.45	1285	1220	870
7.30	1275	1150	920	2.	1245	1020	780
8.	1222	1058	837	2.15	1215	1035	748
8.30	1200	1020	788	2.30	1290	1065	840
平均	1228	1068	849	2.45	1310	1140	865
				3.	1315	1150	885
				平均	1267	1086	825

第 2 表  
煙道測定温度表

3月2日測定			3月6日測定			3月7日測定		
測定時刻	温 度	測定時刻	温 度	測定時刻	温 度	測定時刻	温 度	測定時刻
		11.	644			10.	626	
		11.30	644			10.15	640	
前 9.30	564	12.	646	前 9.30	587	10.30	651	
10.	564	後 0.30	667	10.	589	10.45	649	
10.30	561	1.	666	10.30	589	11.	662	
11.	566	1.30	663	11.	597	11.15	650	
11.30	572	2.	644	11.30	607	11.30	634	
12.	585	2.30	644	12.	597	11.45	631	
後 0.30	584	3.	652	後 0.30	622	12.	651	
1.	571	3.30	656	1.	606	後 0.15	670	
1.30	560	4.	656	1.30	617	0.30	661	
2.	576	4.30	666	2.	617	0.45	669	
2.30	584	5.	666	2.30	605	1.	664	
3.	586	5.30	666	3.	644	1.15	653	
3.30	580	6.	654	平均	606	1.30	655	
平均	573	6.30	675			1.45	666	
		7.	662			2.	672	
3月3日測定		7.30	646	3月7日測定		2.15	661	
前 9.30	624	8.	642	前 9.	628	2.30	661	
10.	644	8.30	645	9.15	639	2.45	671	
10.30	652	平均	653	9.30	625	3.	675	
				9.45	628	平均	652	

## 第二章 使用燃料の配布

### 第1節 瓦斯發生爐の熱能率

瓦斯發生爐に於て成生せらるゝ瓦斯の全發熱能力と爐に消費せらるゝ石炭の發熱能力との關係を見んとす。瓦斯發生爐に使用せられし石炭の種類、發熱量及び分析表は次の如し。

名 稱	水 分	揮 發 分	固定炭素	灰 分	全硫黄	發熱量 (カロリー)
二瀬小塊	1.32	33.32	49.59	15.77	0.307	6569
田中塊	2.06	34.58	47.27	11.09	0.768	6406
明治洗中塊	1.78	32.02	44.17	22.03	1.115	6046
田川三尺中塊	2.70	32.67	48.55	16.08	0.407	6421
					平均	6360

而して前後4日間に亘りて行へる瓦斯分析の結果は、

5.2%(CO<sub>2</sub>) 0.2%(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 19.5%(CO) 3.6%(CH<sub>4</sub>) 11.9%(H<sub>2</sub>) 59.6%(N<sub>2</sub>)  
なり。在來の發熱恒數<sup>(1)</sup>を使用し瓦斯の1立方メートルが發生し得る全熱量を求むるに

$$C_2H_4 \dots\dots\dots 0.002 \times 14.480 = 28.96$$

$$CO \dots\dots\dots 0.195 \times 3.062 = 597.09$$

$$CH_4 \dots\dots\dots 0.036 \times 8.598 = 309.53$$

$$H_2 \dots\dots\dots 0.119 \times 2.613 = 310.95$$

$$\text{合 計} = 1246.53 \text{ (カロリー)}$$

又第1及び第2號爐の毎時使用瓦斯量は實測によるに標準狀況のもとに於て4400立方メートルなり。従つて

$$1246.53 \times 4400 = 5484.7 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

此外に平均621°Cに保たれたる瓦斯が保有する全熱量を考ふるに

(1) Richards Metallurgical Calculation (1918), 47.

瓦斯の組成	%	1立米中の各重量(瓦)	比 熱	全 熱 量
CO <sub>2</sub>	5.2	52×1.9768 <sup>(1)</sup> =102.7	0.2214 <sup>(7)</sup>	22.7
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.2	2×1.2609 <sup>(2)</sup> = 2.5	0.402 <sup>(8)</sup>	1.0
CO	19.5	195×1.2504 <sup>(3)</sup> =244.0	0.243 <sup>(9)</sup>	59.3
CH <sub>4</sub>	3.6	36×0.7168 <sup>(4)</sup> = 25.8	0.593 <sup>(10)</sup>	15.3
H <sub>2</sub>	11.9	119×0.08987 <sup>(5)</sup> =10.7	3.409 <sup>(11)</sup>	36.5
N <sub>2</sub>	59.6	596×1.2507 <sup>(6)</sup> =746.0	0.244 <sup>(12)</sup>	182.0
合 計				316.8

瓦斯發生爐が毎時の石炭使用量は 1.517 噸にして毎時の發生瓦斯量は測定状況のもとに於て 14388 立方米なり。而して兩爐の入口に於ける瓦斯の温度は 621°C なるを以て、此瓦斯が毎時運び去る熱量は

$$316.8 \times 14388 \times 621 = 2830.6 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

従つて

$$(5484.7 + 2830.6) \times 10^6 = 8315.3 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

又毎時の石炭消費量よりして

$$1517000 \times 6360 = 9648.12 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

従つて

$$8315.3 \div 9648.12 \times 100 = 86.17 \text{ (\%)}$$

即ち瓦斯發生爐の熱能率として成生せられたる瓦斯の發熱能力と夫れが運び去る熱量とを考ふれば、加熱爐に送入せらるゝ瓦斯發生爐成生の瓦斯は

- (1) Guye u. Pintza, Mém. de Genève, 35 (1908), 569.
- (2) Stahrfoss, Arch. Sc. Phys., 28 (1908), 304.
- (3) Rayleigh, Proc. Roy. Soc., 62 (1898), 204.
- (4) Baume u. Perrot, Journ. Chem. Phys., 7 (1909), 370.
- (5) Marley, Zeits. Phys. Ch., 20 (1896), 271.
- (6) Gray, Journ. Chem. Soc., 87 (1905), 1607.
- (7) W. F. G. Swanu, Phil. Trans., 210 (1910), 199.
- (8) W. Heuse, Ann. d. Phys., 59 (1919), 86.
- (9) E. Wiedemann, Pogg. Ann., 157 (1876), 1; Phil. Mag., 2 (1876), 81.
- (10)~(12) Regnault, Mém. de L' Acad., 26 (1862), 1.

86.17% の熱量を保持する結果となる。

### 第2節 加熱鋼片の温度

(1) 抽出直後の温度 回轉ロール臺上に落下せる加熱鋼片はその振動の爲めに表面の酸化鐵を脱落す。此部分につき測定せる結果は次の如し。

測定時刻 抽出直後の温度(°C)

3月2日午後0時30分 1190°

3月3日午前11時 1185°

平 均 1188°

(2) 剪斷機前に於ける温度 第1回荒ロールを通過したる加熱鋼片が剪斷機前に於ける温度は次の如し。

測定時刻 剪斷機前に於ける温度(°C)

3月2日午後0時半過 1140°

3月3日午前11時過 1140°

平 均 1140°

是によれば抽出直後より剪斷機前に至る間に於て表面の温度降下は

$$1188 - 1140 = 48 \text{ (°C)}$$

即ち平均として約 48°C なる事を知る。

### 第3節 鋼片の持ち去る熱量

抽出加熱鋼片の平均温度は 1188°C にして此際の炭素含有量は 0.15~0.22% なるを以て同温度に於ける平均比熱は 0.170<sup>(1)</sup> なり。従つて 1 瓦の加熱鋼片が持ち去る全熱量は

$$0.170 \times 1180 = 201.96 \text{ (カロリー)}$$

又第1號及び第2號爐が加熱せる鋼片と瓦斯發生爐にて消費せる石炭量は

- (1) 海野 研究報告 5 (1925), No. 2; Sci. Rep., 15 (1926), 331;  
金屬の研究 3 (1926), 225.



月 日	加熱匙數(自午前6時 至午後3時)	消費石炭量(噸)	匙當り石炭消費重
3. 2	125.990	11.900	0.095
3. 3	81.290	12.200	0.150
3. 6	86.890	12.250	0.141
3. 7	109.150	12.180	0.112
平均	100.830	12.132	0.124

なるを以て、鋼片1瓦に對して消費さる可き全熱量は

$$6360 \times 0.124 = 788.64 \text{ (カロリー)}$$

従つて

$$201.96 \div 788.64 \times 100 = 25.60 \text{ (\%)}$$

即ち石炭の發熱量に對しては 25.60% の能率となる。又送入瓦斯の發熱量の幾%に相當するかを見るに

$$25.60 \div 86.2 \times 100 = 29.7 \text{ (\%)}$$

即ち爐内に送入せられたる瓦斯發熱量の約 29.7% を鋼片が吸収する事となる。

此 25.60% を筆者が先に發表せる線材工場連續式加熱爐の石炭手焚きの場合と比較するに後者の熱能率は 22.68% なるが故にその能率に於て

$$25.6 - 22.68 = 2.92 \text{ (\%)}$$

の差あり。此差は石炭如何程に相當するかを見るに、一交代時に第三小形工場に於ける石炭消費量は 12.132 噸なるを以て  $\frac{12.132 \times 2.92}{25.6} = 1.38$  即ち瓦斯發生爐を使用せる事の爲めに一交代につき 1.38 噸の節約となり、線材工場に於ける一晝夜の石炭消費量は平均 34.85 噸なるを以て、 $\frac{34.85 \times 2.92}{22.68} = 4.5$  即ち瓦斯として使用せざる結果は一晝夜に 4.5 噸の石炭を浪費しつつある事となる。

#### 第4節 爐が吸収する熱量

築爐に使用せられた耐火材の種類及び數量は

(1) 第2章第1節參照

(2) 海野 壓延工場に於ける加熱爐の熱能率と鋼片の大小による損得比較について(1928).

使用箇所	種類	硅石煉瓦 (噸)	蠟石煉瓦 (噸)	モルター (噸)
天井		13	17	4
壁		25	13	5
床			80	12
床以下			183	22
ギッター			73	
合計		38	366	43

にして、爐が定常状態に達せる後に於ける爐の内外及びその他の測定温度よりして硅石煉瓦の平均温度として 550°C、蠟石煉瓦及びモルターの平均温度として 300°C を採用すれば

$$128 \times 38 = 4864 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

$$60 \times 409 = 24540 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

従つて築爐材全体が吸収せる熱量は

$$(4864 + 24540) \times 10^6 = 29404 \times 10^6 \text{ (カロリー)}$$

是を石炭に換算すれば

$$29404 \times 10^6 \div 6360 = 4.63 \text{ (噸)}$$

此 4.63 噸の石炭の發熱量に相當する熱量は、爐が一度定常状態に達せる後に於ては更に増減なく一定の値を保有するものにして、時間と共に消費せらる可き熱量としては爐周より傳導、輻射、對流等によりて流出するもののみを考ふれば可なるべし。従つて一度爐が定常状態に達せる後に於ては更に熱の吸収を生ずるが如き事の出來ざる様注意す可きなり。

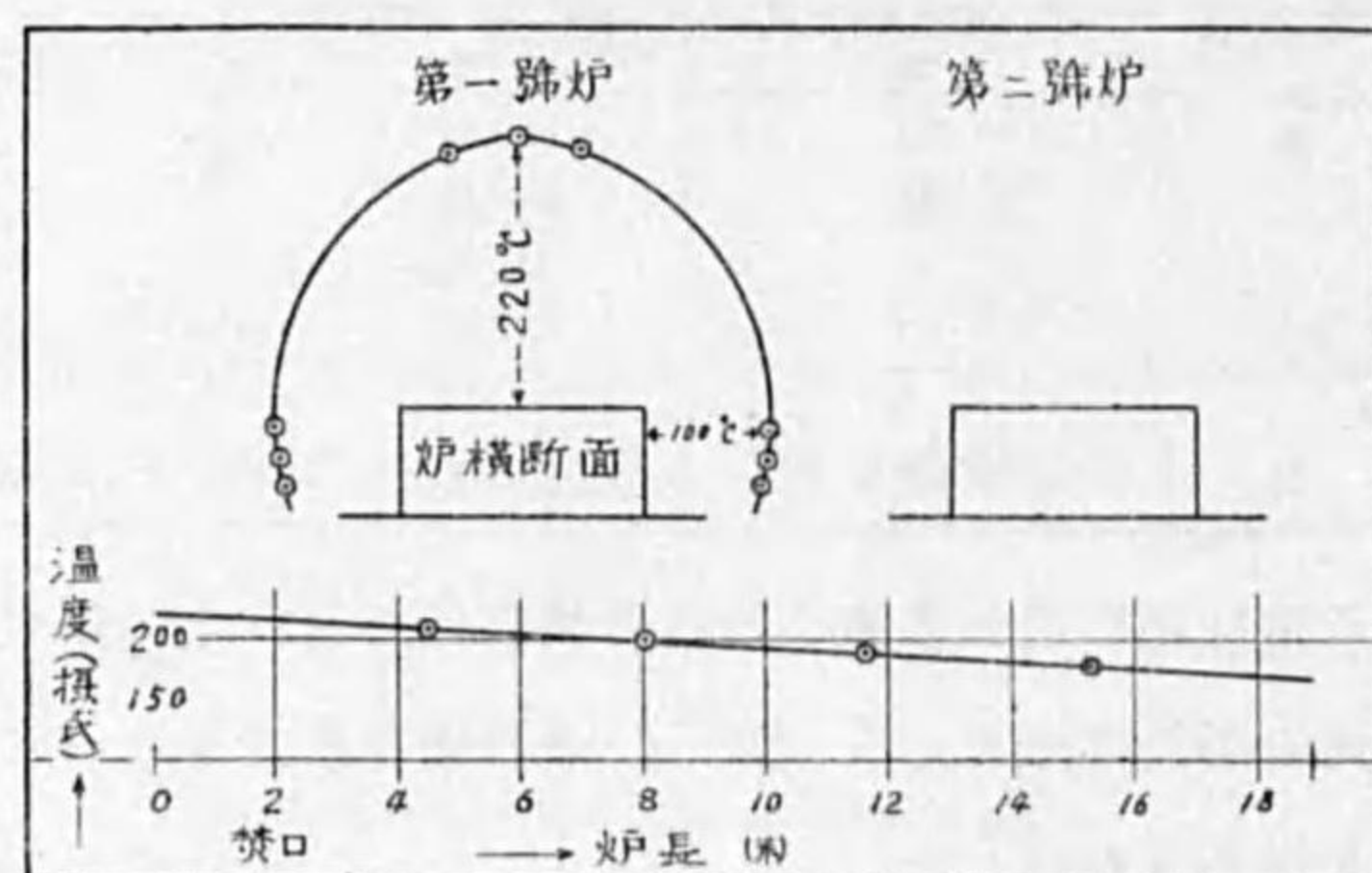
#### 第5節 爐周より持ち去らるゝ熱量及び保温煉瓦を使用

せる場合との比較

爐周より放散する熱量を計算するに當り第6圖に示せる實測値並に第2圖よりして次の結果を得。

(1) (2) 田所 研究報告 1(1921), 108.

第 6 圖



爐 周	=	67.86 + 14.4 = 82.26 (平方米)
爐 の 上 下	=	4 × 18.85 × 2 = 150.8 (平方米)
爐 の 平 均 の 厚 さ	=	85 種
天 井 の 厚 さ	=	22.7 種
爐 内 の 平 均 温 度	=	1200°C
爐 外 周 の 平 均 温 度	=	100°C
爐 上 部 の 平 均 温 度	=	190°C
煉 瓦 の 熱 傳 導 率 <sup>(1)</sup>	=	2.7 × 10 <sup>-3</sup>

従つて單位時間に

$$\text{爐周より失はるゝ熱量} = \frac{2.7 \times 10^{-3} \times (1200 - 100) \times 82.26 \times 10^4}{35} = \frac{297 \times 8226}{35} = 69795 \text{ (カロリー)}$$

$$\text{又爐の上部より失はるゝ熱量} = \frac{2.7 \times 10^{-3} \times (1200 - 190) \times 75.4 \times 10^4}{22.7} = \frac{2.7 \times 7.51 \times 1.01 \times 10^4}{22.7} = 90580 \text{ (カロリー)}$$

次に底部より失ふ熱量を計算するに當り築爐に要せし材料を見るに、底部は蠟石煉瓦 80 種、モルター約 120 種なるを以て底部の平均の厚さとしては

$$34 : 92 = 22.7 : x$$

(1) 田所 研究報告 5 (1924), No. 1.

$$x = 61.5 \text{ (種)}$$

又底部外側の平均温度として第 6 圖より 60°C を採用せん、接近せる空氣の温度は 50°C 内外なり。従つて單位時間に

$$\text{底部よりの熱量} = \frac{2.7 \times 10^{-3} \times (1200 - 60) \times 75.4 \times 10^4}{61.5} = \frac{2.7 \times 1.14 \times 75.4 \times 10^4}{61.5} = 2.7 \times 1.14 \times 1.229 \times 10^4 = 37829 \text{ (カロリー)}$$

故に爐周全体より單位時間に流出する熱量は

$$69795 + 90580 + 37829 = 1.98204 \times 10^5 \text{ (カロリー)}$$

又單位時間に消費する石炭量を求むるに

$$12.132 \div (9 \times 60 \times 60) \times 10^6 = 374.4 \text{ (瓦)}$$

$$\therefore 6360 \times 374.4 = 2381184 = 23.81184 \times 10^5$$

$$\therefore 1.98204 \div 23.81184 \times 100 = 8.33 \text{ (\%)}$$

即ち作業が定常状態に達せる後に於ては、消費燃料の約 8.33% に相當する熱量が爐周より絶えず流出しつゝある事を知る。今爐周を分ちて爐壁、天井、爐底の三ヶ所とし各所の同一面積より同一時間に流出する熱量の比を求むるに

$$\text{爐壁} : \text{天井} : \text{爐底} = \frac{69795}{82.26} : \frac{90580}{75.4} : \frac{37829}{75.4} = 1.7 : 2.4 : 1$$

即ち爐底より流出する熱量最も少なく、爐壁の 1.7 倍、天井の 2.4 倍の順序となる従つて餘熱回収方法として空氣を豫熱せしめんが爲めに爐床下を通過せしむる事は最も有効ならざるものなり。

次に保温煉瓦を使用せる場合に於ける爐周よりの熱の放出量を算出せん。先には矽石煉瓦、蠟石煉瓦及びモルターの内外の温度の平均として夫々 550°C 及び 300°C を採り、此温度に於ける熱傳導率の平均として 2.7 × 10<sup>-3</sup> を採用せる爲め如上の如き結果を得たるが、今爐に當所製保温煉瓦を使用したりとすれば同温度に於ける熱傳導率は 0.001 附近なるを以て同時間内に爐よ

(1) 前 掲

りの熱の放出は約

$$\frac{10}{27} \times 8.33 = 3.08 (\%)$$

となり、現在の殆んど三分の一となる。此爐周より絶えず流出する熱量は作業中常に行はるゝ現象にして、全使用燃料の 8.33% は相當多量の燃料に相當するものなれば、一般の耐火煉瓦よりも廉價なる保温煉瓦を使用する事は特に考慮に値す可し。

第6節 豫熱せられし空氣は何程の熱を回収しつゝあるか

豫熱せられたる空氣が爐の燃燒口に近く送入せられつゝあるが、此空氣が爐床下を通過するに當りて如何程の熱量を回収しつゝあるかを實測値よりして算出せんとす。是餘熱利用の見地よりして重要な事項なればなり。前後4日間に亘れる測定の平均として下の結果を得。

毎時使用空氣量(0°C 1 氣壓).....	3775 立方米
外界の溫度.....	16°C
送入口に於ける空氣の溫度.....	47°C

又

空氣の比重 <sup>(1)</sup> (20°~98°C, 1 氣壓).....	0.237
空氣の比重 <sup>(2)</sup> (0°C, 1 氣壓).....	0.001293

従つて 1 立方メートルの空氣の重量.....1293 瓦

故に 47°C に於ける空氣 3775 立方メートルが含有する熱量 Q は

$$Q = 0.237 \times 1293 \times 47 \times 3775 = 54373 \times 10^3$$

又毎時の使用石炭量は第 1 號爐にありては 0.674 噸なるを以て

$$\frac{54.373 \times 10^6 \times 10^2}{0.674 \times 6360 \times 10^6} = 1.27 (\%)$$

即ち爐床下を通過せしめ空氣を豫熱せるため使用燃料の 1.27% を回収しつ

(1) A. Witkowski, Krank. Anz., 1895; Journ. Phys., (3), 5(1896), 123; Phil. Mag., (5), 42(1896), 1.  
 (2) Guye, Kovacs, Wourtsel, Journ. Chem. Phys. 10(1912), 332; Germann, Journ. Chem. Phys., 12(1914), 66.

ゝあり。今何等かの装置によりて空氣を 100°C 迄豫熱し得たりとするも

$\frac{100}{47} \times 1.27 = 2.7 (\%)$  即ち使用燃料の 2.7% を回収するに過ぎず。而して空氣を 100°C 以上に豫熱するは至つて困難なる事實なるが故に、空氣を豫熱して餘熱を回収する事は餘熱利用の見地よりして考ふる時は甚だ拙劣なる方法にして、餘熱汽罐の場合の 30~40%<sup>(1)</sup> の熱の回収に比すれば甚だしき差異あり。去り乍ら爐内燃燒に依りて可及的高溫度を得んが爲めに空氣を豫熱せしむる場合は自から別問題なりとす。

第7節 熱 能 率

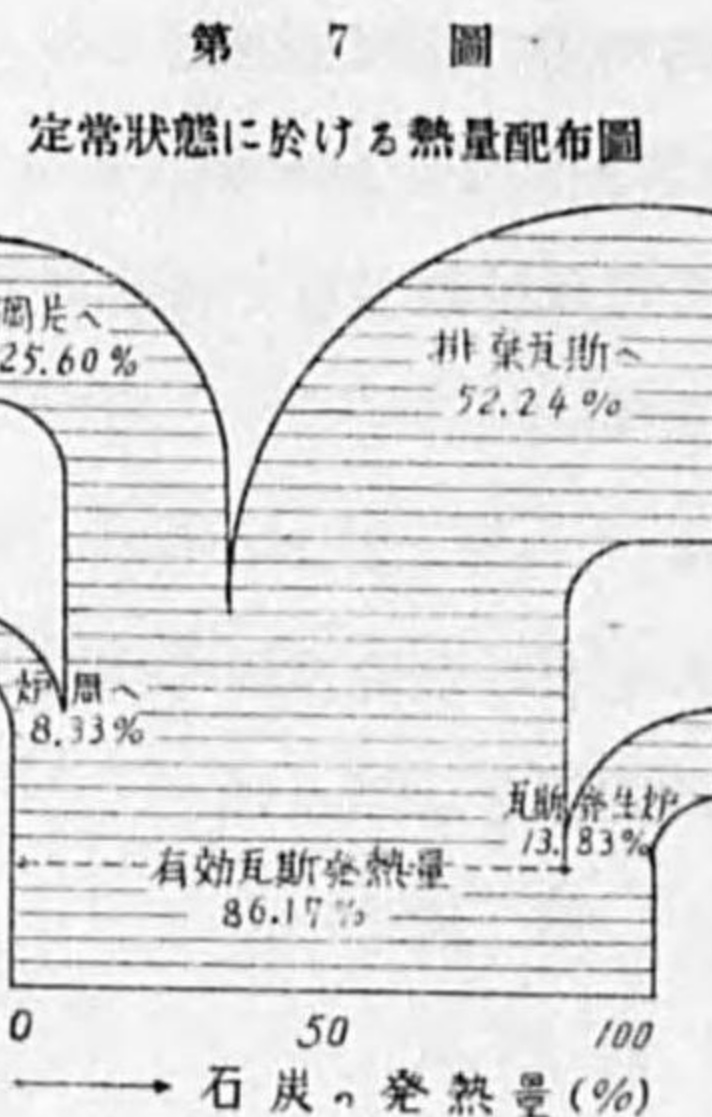
以上論述し來れる熱量の配布の殘餘は即ち排棄瓦斯として煙道へ放出せらるゝものにして、今數量的關係を示さんに

石 炭 の 發 熱 量	100.00 (%)
有 効 瓦 斯 の 發 熱 量	86.17 (%)
鋼 片 の 持 ち 去 る 熱 量	25.60 (%)
爐 周 より 持 ち 去 ら る ゝ 熱 量	8.33 (%)
排 棄 瓦 斯 が 持 ち 去 る 熱 量	52.24 (%)

此外に爐が定常状態に達する迄に吸收する熱量即ち 4.63 噸の石炭に相當する燃料の要せらるる事は、是又注意を要する所なり。されど爐の作業連續の時間長きに從ひ全燃料は増加するも一旦吸收せる熱量は作業の連續する限り最後迄一定にして増減なきを以て、全燃料より考ふる時はその割合は作業連續の時間に反比例するものなり。従つて若し加熱爐の作業が事故の爲め斷續するに於てはその都度約 4.63 噸の石炭は爐に吸收せらるゝが故に、一旦爐を熱して定常状態に達せる後は爐を冷却せしむる事は甚だ不利益なり。今爐の作業連續時間相當長ければ全体としては可なり少量となる此熱量を省き、定常状態に達せる時に於ける全熱量の配布を第 7 圖に示せり。排棄瓦斯が持

(1) 海野 研究所受付研究 16 (1926).

去る熱量の如何に多量なるかを推知するに足る可し。是が利用の最も有効なる方法としての餘熱汽罐<sup>(1)</sup>につきては既に論述せるを以て茲に省略する事とせり。



### 第三章 熱 的 考 察

#### 第 1 節 送入瓦斯量及び空氣量と爐内の温度との關係

第 1 號爐に送入せられたる瓦斯量、空氣量又それ等の送入前の温度及び其の割合を示せば第 3 表の如し。

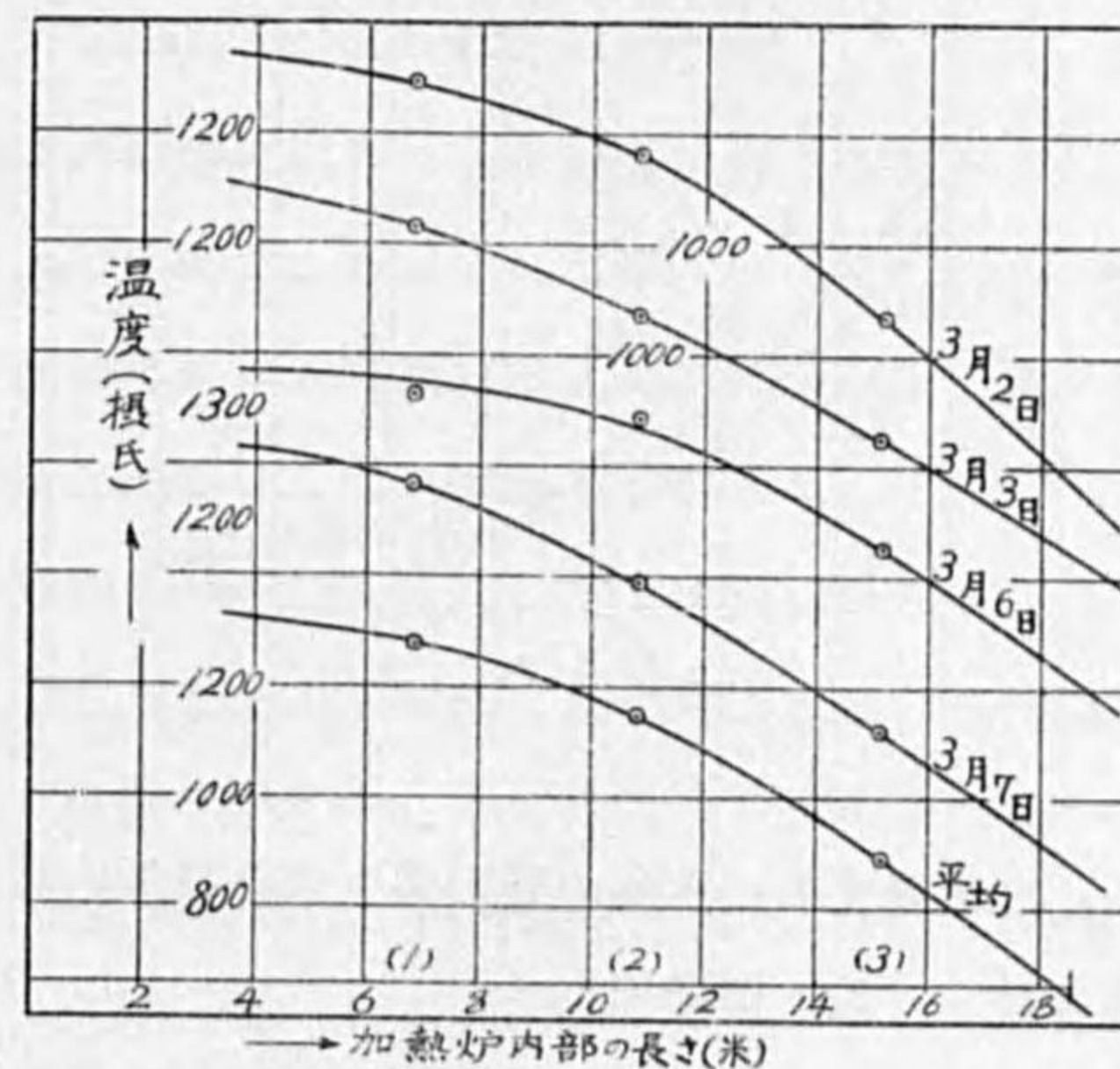
第 3 表

測 定 月 日	使用瓦斯量 立方米/時	瓦斯の温度(°C)	使用空氣量 立方米/時	空氣の温度(°C)	瓦斯對空氣
3. 2	2090	573	3710	53	1 : 1.78
3. 3	2280	653	3870	47	1 : 1.70
3. 6	2015	606	3800	49	1 : 1.89
3. 7	2240	652	3720	38	1 : 1.66
平均	2156	621	3775	47	1 : 1.75

(1) 海野 研究報告 8(1928), No. 5.

爐内部の長さ前後 4 日間に於ける温度との關係は實測よりして第 8 圖の如し。此爐長と温度分布及び第 3 表を比較するに、瓦斯量も餘り多からず又

第 8 圖  
爐 長 と 温 度 分 布



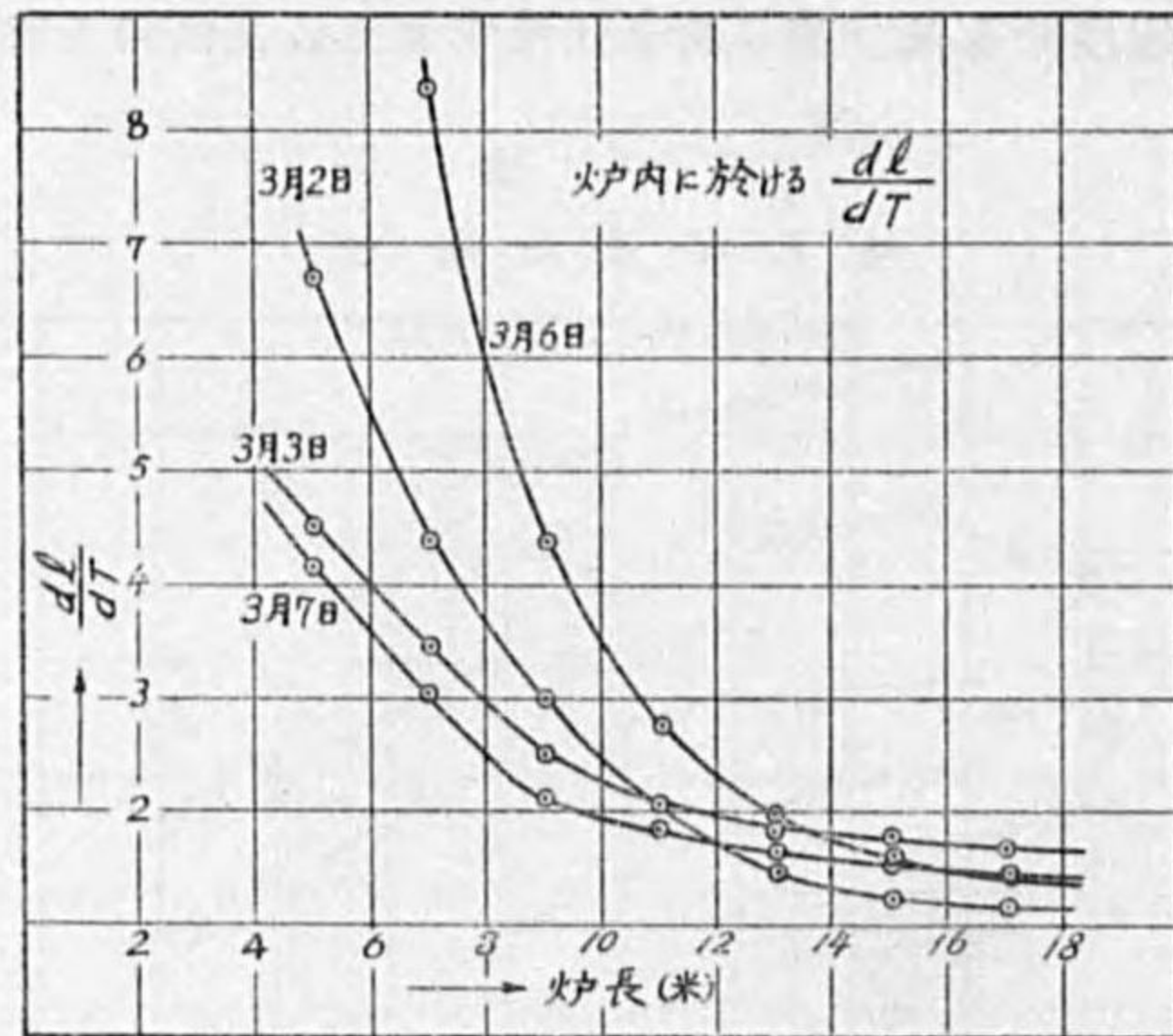
使用前の瓦斯及び空氣の温度は日によりて多少の差異あるも他に比すれば是又高きに非らず、従つて瓦斯量及び瓦斯と空氣との温度は爐内温度の分布に影響する所甚だ薄く、主として之が混合の割合によりて著しき差異を生ずると認めらる (第 3 表)。

今温度 1°C の降下に對する爐内の長さの割合即ち  $\frac{dl}{dT}$  を第 8 圖の結果より求め、是と爐内の長さとの關係を求めたるものは第 9 圖にして、是に據りて考ふれば瓦斯と空氣との割合最も大なる 1 : 1.89 の關係を有する三月六日の  $\frac{dl}{dT}$  は最大にして是より三月二日、三日、七日の順となる。

鋼片の加熱に當りては内部の温度分布は三月六日の如き形を採るを最も有効なりとす。是鋼片加熱時間を短縮せしめ得ればなり。

斯くの如く瓦斯對空氣の割合によりて爐内温度の上昇程度及び高温の部の

第 9 圖



長短は決定せらる。之を要するに空氣の量の多き場合程爐内温度は上昇し、且つ高温の部は最も長し（第8圖参照）。

今日迄瓦斯の完全燃焼を論せるもの多く發生爐瓦斯の完全燃焼としては瓦斯對空氣<sup>(1)</sup>は 1 : 1.13 なりと報せるも、是等の多くは瓦斯對空氣が靜的の場合につきて論せられたるものにして、相當の速度を有する場合にありては此割合の適當ならざる事は實測より推知するを得可し。

第2節 爐中鋼片の速度と加熱時間

現在の作業に於ける鋼片の加熱時間は理論上より見て果して適當なるや否やにつきて論述せんとす。先づ最初本作業に於て爐中に於ける鋼片の速度を見るに爐長15米にして單列150本、複列300本の鋼片を装入し得。而して第1號及び第2號爐より抽出せらるる加熱鋼片應數は平均每時

$$100.83 \div 8 = 12.604 \text{ (應)}$$

従つて

(1) Richards, Metallurgical Calculation (1918), 220.

$$12.604 \div 0.110 = 114$$

故に單列につきては

$$114 \div 4 = 28.5$$

即ち各列とも毎時 28~29 本の加熱鋼片を抽出せらるゝ割合なるが故に

$$150 \div 28.5 = 5.27 = 5 \text{ 時}16 \text{ 分}$$

即ち1本の鋼片が爐に入りてより所要温度に加熱せられ、抽出せらるゝ迄には約5時間16分を要す。換言すれば800°~1300°C以上の温度分布を有する爐中に鋼片が保持せらるゝ時間は約5時間16分なり。此時間は果して適當なるか、即ち理論上必要なる可き時間を算出せんとす。

加熱爐内に配列せられたる鋼片の上下両面は殆んど相接近せる温度に保たれつゝありと考ふる事を得るが故に、配列せられたる全体を考ふるときは厚さ10種の鋼板と見做す事を得。今爐内温度の分布並に爐中鋼片の速度よりして1200°C以上の温度に鋼片が何分時間保持せられつゝあるかを見るに

$$15 : 6.5 = 5.27 : x$$

$$x = 2.28 = 2 \text{ 時}14 \text{ 分}$$

即ち約2時間14分となる。今是等の温度の平均として1280°Cを採りたる時鋼片が何分時にして所要温度に到達するかを算出せんとす。

即ち、1280°Cの爐中に常温にある10種角の鋼材を前の場合と同様連續配列して装入せる時、表面が1190°C中心が1100°Cに到達するには何分時を要するか

従つて

$$\frac{\partial V}{\partial t} = k J^2 V = k \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \text{ .....(1)}$$

を解きて時間、温度、位置の關係は次式によりて表はし得。

(1) Ingersoll and Zobel, Mathematical Theory of Heat Conduction, (1913), 67.  
Carslaw, Fouriers Series of Integral, (1906).

$$V = \frac{V_0}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{m-x}{2\sqrt{kt}}}^{\frac{1-x}{2\sqrt{kt}}} e^{-\beta^2} d\beta$$

然るに

$$V_0 = 20^\circ\text{C} \quad V = 1100^\circ\text{C}$$

今計算の便宜上座標を轉換して

$$V_0 = -1260^\circ\text{C} \quad V = -180^\circ\text{C}$$

とすれば上式は

$$-180 = \frac{-1260}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{m-x}{2\sqrt{kt}}}^{\frac{1-x}{2\sqrt{kt}}} e^{-\beta^2} d\beta$$

$$\therefore \frac{180}{1260} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{5}{2\sqrt{kt}}} e^{-\beta^2} d\beta = 0.1428$$

従つて Probability Integral Curve <sup>(1)</sup>よりして

$$\frac{5}{2\sqrt{kt}} = 0.1272$$

$$Kt = (19.65)^2 = 386.12$$

$$\therefore t = 2758 \div 46 \text{分}$$

$$\text{茲に} \quad K = 0.14 \text{ <sup>(2)</sup>}$$

即ち鋼片が表面 1190°C、内部中心 1100°C に加熱せらるゝには約 46 分を要する結果となる。然るに實際作業に於ては既に 1200°C 以下の温度に約 3 時間保たるゝが故に、此 46 分よりも更に短時間内に所要温度に到達するは事推定に難からざる可し。即ち現在の加熱時間の七分の一の時間にて内外共に所要温度に到達する事を知る。假令安全率をとりて倍加するも尙ほ優に約三分の一の時間即ち約 1 時間半にして加熱鋼片を抽出する事を得可し。此無益なる長時間の加熱は、その時間の長さに従つて鋼片の温度は上昇す可きものに

(1) Wellisch Theorie und Praxis der Ausgleichsrechnung, 257.

(2) W. Jaeger u. H. Diefelhorst, Wiss. Abh. P.-T.R., 3(1900), 269.

<sup>(1)</sup>非ず、酸化を増し燃料の損失を招來する事は既に前號に述べたる所なるを以て茲に省略す。

### 第 3 節 最高能率の加熱爐の大きさに就て

加熱爐内に於ける鋼片の加熱時間にありては、鋼片の長さには無關係にして單にその厚さのみによりて定まる事は既に筆者が再三述べたる所なるが、尙ほ前節よりも明かに知らる可く、若し抽出聽數を増加せんとせば加熱爐は可及的に横縦共に擴く、高さは瓦斯が自由に通過し得る程度に設計す可きものにして、鋼片の厚さは事情の許す限り減少せしむ可きなり。斯くの如く設計せられたる爐にありては毎時の出鋼聽數は數拾聽に及ぶ事難事にあらざるなり。今米國オハイオ州某工場に於て目下連續使用中なりと云ふ連續爐<sup>(2)</sup>の一例を引用して参考に資せんとす。爐床は幅 33 呎、長さ 51 呎にして毎時の出鋼屯數は 50 屯なり。而して鋼片の大きさは 2×2 吋～5×5 吋にして長さは 30 呎なりと云ふ。然らば此際に於ける各鋼片の爐中保持時間は何分時なるかを算出するに、何れも 21 分乃至 26 分にして 5～13 秒毎に加熱鋼片が抽出せらるゝ割合なり。加熱鋼片の爐中保持の時間の短かくして鋼片の長き事及び加熱爐の大なる事は特に注目す可き事と信ず。

終りに臨み御指導を辱ふしたる、技監工學博士野田研究所長並に動力部長岸原主事に對し厚く感謝の意を表す。又測定に當り種々便宜を與へられたる田川技師に感謝の意を表すると共に熱心に實驗に従事せる太田、末藤兩副研究員、宮崎、岡田兩副手に對し其勞を謝するものなり。

(1) 海野 研究報告 鋼片の加熱速度に就て。(1928).

(2) 毎時 50 屯の鋼片を加熱する連續爐 The Iron Age, May, 3(1928), 1213.

終