

鉄鋼技術共同研究会報告

熱 經 済 技 術 部 会 報 告

連続鋼片加熱炉の特性式

山口 道夫*・豊島 陽三**

Characteristic Curves of Continuous Heating Furnaces.

(Report of Heat Economy Technique Division, Steel Technology Joint Research Society)

Michio YAMAGUCHI and Yozo TOYOSHIMA

I. 加熱炉特性式の誘導と利用と
特性式の推移

1. 連続鋼片加熱炉の研究と特性式の推移

戦前はわが国においては、工業窯炉を研究する人も少なく、また工業窯炉の設計、築炉も諸外国の形の上での真似と、煉瓦工の経験と勘によつて行なわれて来たものである。連続鋼片加熱炉とてもその例外でなく、その設計も燃焼室の熱負荷とか炉床負荷の経験値を利用して設計をチェックしてみる位で、ほとんど経験と勘をたよりに設計されて来たものであつた。またその操業も何等の計器をも使用せず、焰の色とか抽出鋼片の表面の色を見て操業されてきた。したがつてその熱効率も低く、せいぜい 30~40% 位のもので、もつとも効率の低い機械は加熱炉であるとの汚名すら受けていた。

この連続鋼片加熱炉はもつとも基本的な加熱炉でもあり、かつまた、同様な形式の炉を持つている会社も多かつたので、戦前より鉄鋼協会でも共同研究がなされたが、それも同一方式による熱勘定を行なつたのみで、多くの資料を集めながらも、具体的な操業、設計の指針を得るにいたらなかつたようである。

戦後燃料事情が非常に悪く、これがためにわが国の産業が麻痺状態になりかかつた時代があつたが、そのとき日本鉄鋼協会の名と会員である。マクラウド、ヘイスの両氏が来られて、わが国鉄鋼業界の熱管理を持導して行つた。当時の彼らは G. H. Q. をバックにしていたこともあるが、確かに彼らの技術と当時のわが国の技術とは格段の差があつた。彼らより正圧操業、加熱炉設計法、平炉設計法、計測操業法など、教えられる所が多かつた。それに刺激されてこの方面の研究の機運が生じ、鉄鋼熱経済技術部会が設立され、その中に加熱炉専門委員会が設けられた。

この加熱炉専門委員会においては、何をまづ研究すべきかが討議されたが、その結果、まづ第一に連続鋼片加

熱炉が取り上げられることになつた。その理由としては

① 連続鋼片加熱炉は、圧延作業が順調である間は炉内の温度分布の変化がなく、もつとも基本的な加熱炉であること。

② 被熱物が炉床面上全般に置かれ、非常に単純な形状であること。

③ わが国に同様な形式の炉の数が多く、共同研究が容易で、その効果も大きくあがると思われたこと。

④ 連続鋼片加熱炉に新しい技術が取り入れられ、急速な発展途上にあつたこと。などであつた。

その大規模な共同研究による成果は、丸善より発行の“加熱炉の設計と実際並びに熱精算方式”にまとめられているように、設計、操業、燃焼装置、廃熱回収、築炉の分野におよび、わが国の工業界に大きな貢献をした。

加熱炉専門委員会で連続鋼片加熱炉の研究の推移は大体つきのごときものであつた。

① 入手し得る限りの連続鋼片加熱炉の文献を集めた。

② 当時のわが国の連続鋼片加熱炉の構造および操業の実績を集めた。

③ 当時考えられていた最高の技術で、モデルとして 8 t/h, 14 t/h の加熱能力のある炉を共同で設計し、それに近い炉を実際に造り、その結果をみた。

④ その後、ふたたび、連続鋼片加熱炉の構造および操業のデータを集め集計した。

このようにして、多くのデータを集めたのは、その集計された資料より現状を知ること理由の一つであるがそれよりもその中で優秀な炉を選び出し、その要因となるべきものを見出さんとしたのが主目的であつたが、その主目的は遂に果すことができなかった。

従来連続鋼片加熱炉の優秀を論ずるさいには、熱勘定

* 車輪工業株式会社

** 東都製鋼株式会社

を行なつて、その熱効率が低いほど、優秀な炉であるとされて来た。実はこの熱勘定による価値判断の方式そのものに問題があつたのである。

ある連続鋼片加熱炉が、ある時の熱勘定結果により高い熱効率を示した。としても、つぎの機会には必ずしも以前と同じ値を示さない。その原因を調査してみると何れも“鋼片加熱 t 数の変化”ということであつた。この加熱 t 数が変化すると、炉内温度分布が変化し、燃料原単位、すなわち熱効率の変化することは、加熱炉現場作業に関係ある者は誰でも熟知するところである。加熱 t 数の変化という factor を含まずに、ただ単に静的に熱勘定結果より熱効率云々を論じてみてもまったく無意味なことである。

そもそも連続鋼片加熱炉を圧延能力に合せて一定の加熱割合で操業せんとした場合に決定すべき操業上の三大因子は

- (1) 1 時間当りの燃料使用量
- (2) 1 時間当りの空気使用量
- (3) 炉内圧

である。最近では連続鋼片加熱炉の計装も非常に発達して来て計測操業または自動制御により、その操業状態はほとんど一定となつて来ている。すなわち(2)の空気使用量については、燃料をほとんど完全に燃焼させ、ガス輻射能の高い燃焼ガスを得るために、その空気率は0.96~1.03位でほとんど一定である。(3)の炉内圧は侵入空気を防止する意味でできるだけ正圧にすることが望ましく、一般に抽出扉付近の炉床上に炉内圧の零線が来るように操業されている。したがつて燃料使用量が定まるとそれにつれて他の操業上の因子は定まつて来るものである。

この燃料使用量こそは、炉効率を定める因子で、加熱割合と燃料使用量との関係を求めることが先決問題なのである。

たまたま筆者が、連続鋼片加熱炉の炉内伝熱の計算を進めて行なつた所、この加熱割合と燃料使用量の関係式を理論的に導くことができた。また一方連続鋼片加熱炉の計装が非常に進歩して来たので、特別な熱試験を行なわずとも、日常の操業データより熱勘定をすることができないかと研究を進めて行き、容易な方法を見出すことができた。この二つの方法から、炉の特性式を図上で求める方法を考案し実際の炉に適用してみた所、理論とまったく一致することが知れたので、広く委員会(加熱炉専門委員会は発展的解消し、熱管理分科会となつていた)にはかり、同一の方法でデータを持ちよることにした。すなわち、昭和 31 年 9 月にそれらのデータが持ちよら

れ検討されたが、その結果、理論と一致することが実証され図上で特性式を導き得ることが証明された。

また図上で従来一般に行なわれていた短期間の熱勘定方式(入出熱の差を以つて炉壁損失熱とみなす方法)そのものにも不備な点があることも明らかとなつて来て、連続鋼片加熱炉の価値判断の基礎は特性式によらなければならぬことが明らかになつて来た。

今回ふたたび同様の方法で多くのデータを集収し広く発表することになつたので、その理論的根拠と将来の応用方法について述べることにする。

2. 連続鋼片加熱炉の簡易熱勘定方式

従来の加熱炉の熱勘定は、加熱炉が熱的平衡状態にあるときを選び、でき得る限り最高の測定技術と計算技術を駆使して、炉内の熱の流れを追求せんとしたものである。

それに対して本簡易熱勘定方式は、でき得る限り日常の操業データを使用して大局に影響のないごくわずかな変化は無視し、熱の流れを大局的に把握し、多数資料による推敲を加えるとともに加熱割合の変化と熱の流れの変化の関係を求めんとするものである。したがつて従来の熱勘定は、その比較検討の便宜上加熱鋼片 1 t 当りを以つて熱勘定の基準としていたが、本簡易熱勘定方式においては、1 時間当りの熱量を以つて熱勘定基準とする。

また、従来 3 カ月とか半年間のデータの平均値を求めてそれで平均的な熱の流れを求め簡易熱勘定と称していたが、それなどは長期熱勘定として区別することとする。

従来の連続鋼片加熱炉の熱勘定は、つぎの式で計算されていた。

$$Q_2 = Q_n + Q_w + Q_g + Q_x \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_2 = Q_{f1} + Q_{f2} - Q_{f3} + Q_{a1} + Q_{a2} - Q_b \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_n = Q_m - Q_l - Q_c + Q_r \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_w = Q_{r1} + Q_k + Q_t + Q_s + Q_u \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_g = Q_h + Q_i \dots\dots\dots (5)$$

ここに

Q_2 : 入熱

Q_{f1} : 燃料の発熱量

Q_{f2} : 燃料の顕熱

Q_{f3} : 付着水分の損失熱

Q_{a1} : 空気の顕熱

Q_{a2} : 水蒸気の顕熱

Q_b : 燃料の漏洩損失熱

Q_n : 有効熱量

Q_m : 鋼片の持ち去る熱量

- Q_l : 鋼片の持ち込んだ熱量
- Q_c : スケールの生成熱量
- Q_{r_2} : 炉床損失熱量
- Q_w : 炉壁損失熱量
- Q_{r_1} : 炉壁伝導損失熱量
- Q_b : 冷却水損失熱量
- Q_t : 燃渣損失熱量
- Q_s : 炉開孔輻射損失熱量
- Q_n : 炉開孔放焰損失熱量
- Q_g : 排ガス損失熱量
- Q_h : 排ガスの顕熱
- Q_i : 排ガスの潜熱
- Q_x : 不明損失熱量

これらの式より簡易熱勘定方式を導くこととする。ただし、その基準は前に述べたとおり1時間当たりとする。

1) 入熱 入熱の中でその大部分を占めるものは、燃料の発熱量 Q_{f_1} である少なくとも4日あるいは、1交代の燃料の使用量は記録されているはずで、これより1時間当りの燃料使用量 F (kg/h または Nm^3/h) が計算される。また燃料の低発熱量 H_l (kcal/kg) は一般には実測されておらずとも、各種の推定法なり、燃料取引先に実測させることにより推察できるものである。したがって燃料の発熱量は

$$Q_{f_1} = H_l \times F \dots\dots\dots (6)$$

で容易に求められる。

レキュペレーターのない所では、 Q_{f_1} のみを以つて入熱と見なしても大差はないが、レキュペレーターのある所では、予熱空気の顕熱 Q_{a_1} を考える必要がある。

レキュペレーターを設置しているがごとき工場では、その送風量 A (Nm^3/h) と予熱温度 t_r ($^{\circ}C$) 位は実測している。このさいつぎの式により計算できる。

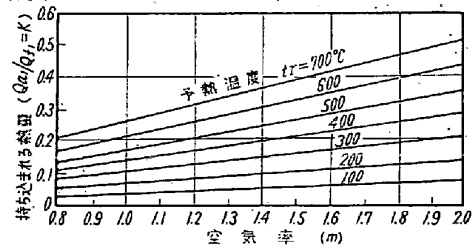
$$Q_{a_1} = A \cdot t_r \cdot C_{pa} \dots\dots\dots (7)$$

C_{pa} : 空気平均恒圧比熱で一般には
 $0.315 \text{ kcal}/Nm^3 \cdot ^{\circ}C$

またそのような記録計を持たない所でも一度精しくレキュペレーターの効率を実測しておくことにより、その排熱回収率を推定することができるので、それを用いて Q_{a_1} を推定してもよい。

また、一般に燃料銘柄の変化しないような場合においては、空気率 m と予熱温度 t_r より燃料の発熱量の何%の熱量が持ち込まれるかの計算ができるので、その計算図表を第1図のごとく作成しておけば便利である。このような場合は、この割合を H_l に加算して、入熱は燃料の発熱量のみとみなすことができる。

入熱中に大きな部分を占めるものは上の2つで、一般



第1図 予熱空気により持たれる熱量
 (重油 $H_l = 9.860 \text{ kcal/kg}$
 $i_o = 852 \text{ kcal}/Nm^3$)

にその他の部分は、まったく無視しても差支えない。

2) 有効熱量 Q_n 有効熱量は、炉内で被熱鋼片に伝達された熱量のことであつて、その大部分を占めるものは、鋼片の持ち去る熱量 Q_m である。

鋼片の加熱温度は、圧延製品の形状および圧延機的能力により一定の温度にすることが要求される。また、一般の普通鋼の加熱温度は、 $1200 \sim 1250^{\circ}C$ であるから、その1時間当りの加熱割合を M (t/h) とすれば、

$$Q_m = 190,000M \sim 210,000M \text{ (kcal/h)}$$

とみることができる。

また、連続鋼片加熱炉では、鋼片は、室温で装入されるので鋼片の持ち込む熱量 Q_l は、無視することができる。

つぎにスケールの生成熱量 Q_c は、その焼減り率を C % とすれば、

$$Q_c = 10,000 \times C \times M \text{ kcal/h}$$

で計算される。一般に C は、在炉時間、抽出温度により大きく影響されるので、同一圧延品種については、一定と考えてよい。通常 C は2%以下で、その少ない場合には、 Q_c は無視してもさほどの誤差も生じない。

したがって有効熱量は、 $Q_n = n \cdot M \text{ kcal/h}$ で計算され、一般に n (kcal/t) の値としては、190,000として計算しても大差ないが、さらに正確には圧延製品の種類と抽出温度を測定しておけば、 Q_n の値はさらに正確に求めることができる。

3) 排ガス損失熱 Q_g 連続鋼片加熱炉の炉内温度は高く、かつその形状は細長く、炉内ガスに充分の燃焼する時間があるから、空気率が極度に過小とならない限り排ガス中の未燃損失は非常に少ない。したがって排ガスの潜熱も非常にわずかで無視することができる。

したがって排ガス損失熱としては、排ガスの顕熱 Q_h のみを考えればよく、一般の操業データよりそれを導く方法を考えることとする。

今、理論空気量を L_o (Nm^3/kg)、理論湿燃焼ガス量を G_{ow} (Nm^3/kg) とすれば、1時間当りの実際燃焼ガス量は、

$$V_g = F \{ G_{ow} + (m-1)L_o \} \text{ Nm}^3/\text{h} \dots\dots\dots (8)$$

排ガス温度を $t^\circ\text{C}$ とし、 $0 \sim t^\circ\text{C}$ 間の理論燃焼ガスおよび空気の平均恒圧比熱をそれぞれ C_{pg} , C_{pa} とすれば、未燃分のないときの1時間当りの排ガスの持ち去る熱量は、

$$Q_g = F \cdot t \{ C_{pg} \cdot G_{ow} + C_{pa}(m-1)L_o \} \text{ kcal/h} \dots\dots\dots (9)$$

(6), (9)式より

$$Q_g/Q_{f1} = t \cdot \{ C_{pg} \cdot G_{ow} + C_{oa}(m-1)L_o \} / H_1 \dots\dots\dots (10)$$

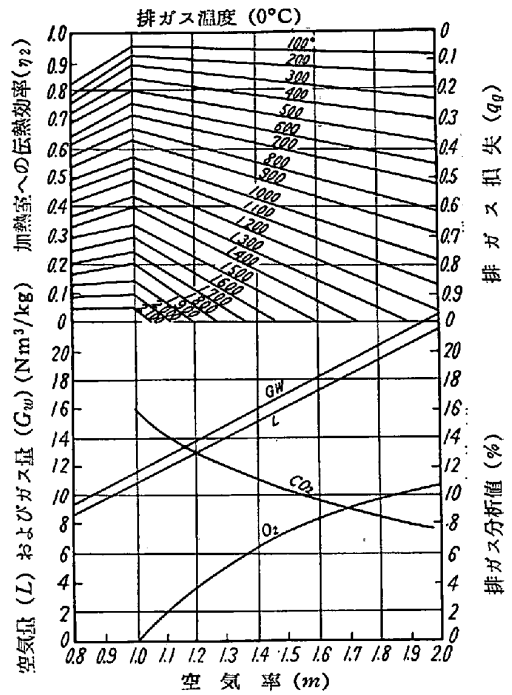
(10)式をみると、 Q_g/Q_{f1} は $t \cdot m$ をパラメーターとして計算できる。

また一般に $Q_2 = Q_{f1}$ で、空気予熱の場合でも $Q_2 = (1+K)Q_{f1}$ (ただし K は、第1図より求められる値) で計算することができるので、 Q_g/Q_2 は排ガス温度 t および空気比 m より、(10)式を使用して計算される。

このような計算を一々行なうことは煩雑であるので第

II-1. 調 査 結 果 一 覧 表

II-1-1 製品名・加熱炉



第2図 排ガス損失熱量

図面番号	製 品 名	加 熱 炉			
		炉 形 式	公称能力	最高加熱能力	有効炉長×炉内巾
			t / h	t / h	m
1	構造, 船体, 汽罐用厚板	3 帶 式	75	65	21.3 × 6.765
2	シートバー, 形鋼, 中丸棒	3 帶 式	33	38	17.19 × 3.65
3	厚板, 中板, 薄板	4 帶 式	70	85	24.38 × 6.1
4	小形棒板, 異形丸鋼	2 帶 式	8	10	15.26 × 1.76
5	棒鋼 (16φ ~ 100φ)	2 帶 式	15	16	16.0 × 2.1
6	厚鋼板	押落式 3 帶	40	44	21.5 × 5.5
7	中鋼板	押落式 2 帶	25	29	20.7 × 3.0
8	シートバー	押落式 3 帶	28	27	20.15 × 3.5
9	線材	2 帶 式 単座	20	—	11.865 × 3.5
10	線材	スピリット複座	20	24	13.0 × 3.8
11	線材	回轉 炉 床 炉	61	59	48.8 × 5.79
12	線材	2 帶 式	13	13	16.8 × 1.8
13	線材	2 帶 式	13	13	16.8 × 1.8
14	中形, 大形 形鋼	3 帶 式	30	25	17.59 × 3.5
15	中厚板	頂部加熱 1 帶	13	17	16.6 × 3.3
16	丸棒鋼, 異形棒鋼	上部 2 帶	25	22	17.65 × 4.2
17	丸棒鋼, 山形鋼, 異形棒鋼	同	30	23	18.86 × 4.7
18	帶鋼	3 帶 式	30	34	17.96 × 3.68
19	55~200mm φ	3 帶 式	30	36	20.0 × 4.0
20	シートバー, 中形形鋼, 軌条付屬	頂部 1 帶	8	10	15.26 × 2.4
21	中形形鋼, リムバー	下部 2 帶	15	18	13.0 × 2.3
22	サッシ, 異形鋼リングバー	頂部 1 帶	6	5	12.88 × 1.85
23	軌条, 形鋼, I 形	3 帶 式	55	50	20.15 × 5.52
24	軌条 15K, 形鋼 [] []	同	30	29	19.05 × 3.52
25	線材 (50φ ~ 9.5φ)	2 帶	45	50	14.8 × 9.5
26	中小形鋼, 棒鋼	1 帶	35	40	21.0 × 5.5
27	丸鋼, 角鋼, 異形丸鋼	同	17	16.1	16.91 × 3.65
28	帶鋼	AMCO 3 帶	100	110	29.09 × 6.7
29	棒鋼, 平鋼	3 帶	6	8	13.0 × 2.0
30	車軸	回轉 炉 床	6	9	20.0 × 2.6
31	厚鋼板	3 帶	15	18	20.735 × 1.8
32	溝形, 山形, I 形, 丸鋼	3 帶	15	17	19.89 × 2.1
33	半成, スラブ 厚板	3 帶 押落式	25	27	21.85 × 3.8
34	普通, 特殊 帶鋼	同	20	23	20.80 × 2.5

2図のごとく計算図表を作成しておけば非常に便利であらう。

4) 炉壁損失熱 炉壁損失熱は、上のごとくして計算された Q_z, Q_n, Q_g を用いて、

$$Q_w = Q_z - Q_n - Q_g \dots\dots\dots(11)$$

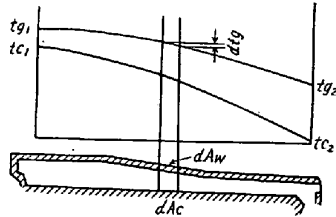
で計算される。

以上により、日常の操業データのみを使用して、容易に熱勘定が行なわれる訳である。

3. 連続鋼片加熱炉特性式の誘導

今、第3図のごとく、連続鋼片加熱炉の一部を考えてみると、その部分で炉内の高温燃焼ガスの放出する熱量はそのガス温度低下に相当するものであつて

$$dQ = -G_{cp} \cdot dt_g \dots\dots\dots(12)$$



第3図 炉内温度分布

ただし、 Q : 燃焼ガスの保有する熱量 kcal/h
 G : 炉内燃焼ガス生成量 Nm³/h
 cp : 燃焼ガスの平均恒圧比熱 kcal/Nm³ °C
 t_g : ガス温度 °C

また、この熱量は、その部分で炉内で消費された熱量、すなわち鋼片に伝達された熱量と炉壁を通じて外部に放散された熱量の和に等しいから、

$$dQ = dQ_n + dQ_w = \alpha_c(t_g - t_c)dA_c + \alpha_w(t_w - t_o)dA_w \dots\dots(13)$$

ただし、 α_c : 燃焼ガスと鋼片との間の平均伝熱係数 kcal/m²h °C

α_w : 炉内壁と外気間の平均伝熱係数 kcal/m²h °C

t_c : 鋼片の温度 °C

t_w : 炉内壁面温度 °C

t_o : 外気温度 °C

A_c : 鋼片の受熱面積 m²

A_w : 炉壁面積 m²

加 熱 炉	保 温 箇 所	燃料種類および発熱量 kcal/kg · Nm ³	装入列数 列	鋼塊長さ÷炉内巾
スキッド 側壁全面		B C ガス混合 2250	2	0.62~0.78
スキッド, 天井 (均天除)		重油 9500 高炉ガス 800	2	1 列0.425 2 列0.85
スキッドおよび炉壁全面		重油9650 B C 混ガス3000	1 列又は 2 列	0.8~0.9
スキッド, 天井, 炉床		重油9325	1	0.795
天井, 側壁, 炉床, スキッドサポート		B 重油	1	0.62
スキッド, 天井, 側壁, 炉床		C 重油 10295	2	0.44~0.87
スキッド, 天井, 側壁		C 重油 10520	2	0.65
スキッド, 天井, 側壁, 炉床		重油 10295	2	0.77
スキッド, 炉壁		C 重油 9500	1	0.89
同 上		〃 9500	2	0.70
炉床, 側壁部, 天井		〃 9650	1 列および 2 列	0.722
予熱帯天井		〃 9500	1	0.81
同 上		同 上	1	0.81
同 上		同 上	2	0.39
側壁全面天井一部		重油 9450	2	0.7
加熱帯予熱帯天井		C ガス 4700	2	0.86
同 上		同 上	2	0.83
スキッド, 同支柱, 側壁, 予天井		重油 9700	1	0.82~0.54
スキッド, 側壁, 床天井全面		B 重油	2	0.675
保温せず		重油 9540	1	0.65
スキッド一部, 予熱側壁		同 上	1	0.67
保温せず		同 上	1	0.84
スキッド, 炉底, 炉尻, 側壁		B, C ガス 2720	1	0.90
スキッド		C ガス4638 重油9665	1	0.852
天井		B C ガス混合 2500	1	0.95
炉壁		B C ガス混合 2500	1	0.67~0.87
スキッド		C ガス4654, 重油9600~9700	2	0.82
スキッド炉壁, 熱風管		B C ガス混合 2500	1	0.91
予熱帯, 天井		重油 9.500	1	0.8
側壁, 天井		重油 9.500	1	0.915
天井(インライト)側壁(インライト岩綿板)		9.446	1	0.612~0.750
天井側壁(インライト)		9.446	1	0.715~0.856
スキッド側壁全面		重油三種二号	2	0.69~0.74
同 上		同 上	1	0.80

ここに $a = \alpha_w \cdot A_w / \alpha_c \cdot A_c$

とし、また $t_w - t_o = t_c$

と考へ (このことは均熱帯、加熱帯では成立するが予熱帯では成立しない。その場合には、 α_w の方を動かして考えると、上の式を成立させ得ることになる。) (13) 式にそれらの関係を代入して整理すれば

$$dQ = \{t_g - (1-a)t_c\} \alpha_c \cdot dA_c \dots\dots\dots (14)$$

(12)・(14)式より

$$dt_g / \{t_g - (1-a)t_c\} = -\alpha_c / G_{cp} \times dA_c \dots\dots (15)$$

第3図のごとく、炉頭および炉尻における鋼片およびガス温度をそれぞれ t_{c1} , t_{c2} および t_{g1} , t_{g2} として上の式を積分すれば

$$\begin{aligned} & \{(1-a)t_{c1} - (1-a)t_{c2}\} / \{t_{g1} - (1-a)t_{c1}\} - \\ & \{t_{g2} - (1-a)t_{c2}\} \times \ln \times \{t_{g1} - (1-a)t_{c1}\} / \\ & \{t_{g2} - (1-a)t_{c2}\} = \alpha_c / G_{cp} \times A_c \times \ln \times \{t_{g1} - \\ & (1-a)t_{c1}\} / \{t_{g2} - (1-a)t_{c2}\} = -\alpha_c / G_{cp} \\ & \times A_c [1 - \{(t_{g1} - t_{g2}) / (1-a)(t_{c1} - t_{c2})\}] \end{aligned}$$

ここに、

$$1/Z = \alpha_c / G_{cp} \times A_c [1 - \{(t_{g1} - t_{g2}) / (1-a)(t_{c1} - t_{c2})\}] \dots\dots\dots (16)$$

とおき、これを上式に代入して整理すると

$$t_{g2} / t_{g1} = [1 - \{(1-a)(t_{c1} - t_{c2}) / t_{g1}\}] \times e^{-1/Z} + (1-a)(t_{c1} - t_{c2}) / t_{g1}$$

ここに、

$$(t_{c1} - t_{c2}) / t_{g1} = b$$

とおけば

$$t_{g2} / t_{g1} = \{1 - (1-a)b\} \times e^{-1/Z} + (1-a)b \dots (17)$$

連続鋼片加熱炉においては、 a の値は $0.01 \sim 0.03$ 位で、 b の値は、 $0.5 \sim 0.8$ 位である。

また、 α_c は $100 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ 前後、 c_p は大体 $0.3 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ であつて、炉床負荷は $0.1 \sim 0.4 \text{ t/m}^2 \text{ h}$ 、燃料原単位は $400,000 \sim 500,000 \text{ kcal/t}$ 、排ガス量は大体 $1 \text{ Nm}^3 / 1,000 \text{ kcal}$ とみることが出来る。したがつて

$$G / A_c = (400 \sim 500) \times (0.1 \sim 0.3) = 100$$

$$(1-a) = 1$$

$$(t_{g1} - t_{g2}) / (t_{c1} - t_{c2}) = 1 \sim 0.5$$

II-1-2 作業概況

図面番号	概 況										
	在炉時間 h	炉尻排ガス温 °C	1日の作業交代数 交代	1交代の常用加熱作業時間 h	t/h	操 炉 時 間 内 訳 (%)				加 熱 待 時 間 h/月	抽 出 温 度 °C
						加熱	保熱	昇熱	休止		
1	2.67	1100	3	8	40~50	80.0	8.0	7.0	5.0	5	1280~1300
2	1.5~7.0	800~900	2	7	30.2	44.1	19.9	14.3	21.7	0.25	1220
3	2~3	950~1140	3	8	65~85	75.2	20.0	1.3	3.3	1~1.5	1250
4	1.5	619	1~2	10.5	9.0	40.9	7.0	6.7	45.4	—	1206
5	1.4	800	2	8~11	12.1	59.5	9.8	8.4	22.3	0	1250
6	3~5	800	3	8	25.1	72.1	16.3	2.9	8.7	3.58	1250
7	2.5~1.5	750	3	8	17.5	87.7	0.7	2.5	9.1	0	1300
8	4~5	850	1	8	25.6	21.4	3.3	15.1	60.2	5.84	1250
9	3.43	650	1	10	—	31.0	10.0	—	59.0	0	1150~1200
10	2.73	650~700	2	11	—	72.0	16.1	—	12.0	0	1250
11	2.25	880	1	7	37.0	29.2	4.2	25.0	41.6	0	1250
12	1.83	720	1	10	9.2	63.2	2.8	16.1	17.9	0	1212
13	1.75	650	2	10	9.6	75.7	2.9	4.0	17.4	0	1235
14	2.48	730	1	10	20.8	54.7	5.4	21.9	18.0	0	1210
15	2.75	580	2	8	14.7	55.5	11.2	8.2	25.1	5.92	1300
16	2.5~3.0	700~800	2	10	25.8	65.0	9.0	7.0	19.0	0	1170~1190
17	2.17	750~900	1	10	16.5	33.0	36.0	14.0	17.0	0	1200
18	1.8	700	2	7	18.7	36.0	11.3	11.9	40.8	0	1250
19	4.8	900	2	11.5	21.4	60.5	10.7	7.7	21.1	0	1150
20	2.7	700	2	8	8.3	40.7	13.9	13.4	32.0	9.5	1330
21	2.3	650	2	8	16.5	36.6	16.1	15.8	31.5	17.6	1300
22	2.3	660	2	8	4.4	37.5	27.8	14.5	20.8	—	1280
23	3.75~4.15	874	3	8	25.9	94.6	5.4	—	—	—	1250
24	2.16~2.12	700	2	8	13.7	56.2	10.4	—	33.4	—	1250
25	3~3.83	550	3	8	40.0	77.8	22.2	—	—	0	1230
26	3~3.5	700	2	12	30.0	52.4	47.6	—	—	—	1250
27	2.5~3	600~400	3	8	11.9	83.3	11.2	—	5.5	—	1250
28	1.67~2	800	3	8~9	108.23	54.4	33.5	7.2	4.9	0.5	1270
29	3.1	590	2	10	4.2	58.5	15.1	8.6	17.8	0	1150
30	4.0	760	2	7	6.0	66.5	6.2	16.5	10.8	0	1150
31	3.15	576	1~2	10	13.0	48.8	7.7	22.2	21.3	1.08	1280
32	3.93	595	1~2	10	13.0	45.0	7.5	13.4	33.8	—	1264
33	7.7	600~700	2(厚板), 3(スラブ)	8~11	12.1	58.5	20.9	—	20.6	0	1230~1320
34	1.7	600~700	2	8~11	9.55	60.0	2.0	—	38.0	0	1100~1200

したがって $1/Z$ の値は

$$1/Z = 100/0.3 \times 1/100 \times 1 - (1-0.5) = 3 \sim 2$$

となる。 $e^{-2} = 0.13$, $e^{-3} = 0.05$ であるから $a = 0.02$, $b = 0.6$ と考えると, (17) 式の右辺の第1項は第2項に比較して非常に小さくなるので無視することができる。

すなわち,

$$t_{g2}/t_{g1} = (1-a)b = \text{const.} = K \dots\dots\dots(18)$$

燃焼ガスの平均恒圧比熱を一定とみなすと,

$$Q_g/Q_z = t_{g2}/t_{g1} = K \dots\dots\dots(19)$$

となつて, 連続鋼片加熱炉の排ガス損失割合は炉の形式が定まれば一定となると考えられることになる。

上の計算式には, 燃焼の遅れと炉内への侵入空気の影響ということを考えて入れておらず, その仮定にも大雑把な所があるが, それらの事柄は (19) 式の傾向に大して影響を与えないと思われるし, また実際のデータを見ても (19) 式が成立することが証明される。

一般にいつて, 連続鋼片加熱炉の排ガス温度は, その加熱割合 M にはほとんど影響されずに, むしろその操業の連続性に大きく影響されるものである。その極端な場合を考えてみると, 一時抽出を中止し保熱を行なつていような場合には, 排ガス温度はじだいに上昇して来るものであつて, また抽出を始めるとしだいに元の排ガス温度に復旧するものである。もちろん, 必要以上に抽出温度を高めるとか, 空気比や炉内圧を変化させた場合も, 排ガス温度は変化する。

しかし正しい操業状態下においては, 排ガス温度は大して変化しないものであつて, 加熱割合が大はばに変化しても連続抽出しているようなときは, その排ガス温度の変化はせいぜい 50°C 位のものである。したがつて, 排ガス温度の変化を無視してかかつて, 誤差の原因とはならない。

つぎに炉壁損失熱は

$$dQ_w = \alpha_w(t_w - t_o)dA_w \dots\dots\dots(20)$$

で計算される α_w の値は, 炉壁の構造により決定される。また, t_w の値は, 加熱割合が変化すると炉内の温度分布も変化するので, 当然変化する訳であるが, その変化の割合は $(t_w - t_o)$ の値に比較して非常に小さいので, 常に一定であると充分みなすことができる。すなわち Q_w は一定の値と考えてよく, この値を W とする。すなわち今までの結論を式で示すと,

$$Q_n = n \cdot M \text{ kcal/h} \dots\dots\dots(21)$$

$$Q_g = K \cdot Q_z \quad \text{〃} \dots\dots\dots(22)$$

$$Q_w = W \quad \text{〃} \dots\dots\dots(23)$$

となる。

ただし n は鋼片の加熱温度, 成分, 焼減り量により定

まり, 一般には 190,000 位である。これらの関係を(1)式に代入すれば

$$Q_z = n \cdot M + W + K \cdot Q_z$$

$$Q_z = n/(1-K) \times M + W/(1-K) \dots\dots\dots(24)$$

すなわち (24) 式は, 求める特性式である。

4. 特性式の図式解法

毎日毎日の多くの操業データが集まると, それらより (24) 式を導くことになるが, (24) 式の関係式は線型であるので, 最小二乗法により, 数学的にその関係式を導く方が厳正な解が導かれそうであるが, むしろ図上に, それらのデータをプロットして; それらより視察による関係式を導く方がよい。その理由としては,

(1) 連続鋼片加熱炉においては, その加熱割合 M は平均値として計算されるものであるが, それが局部的に変動がある場合, すなわち連続比率が低いような場合は排ガス温度に高低を生じ, 排ガス損失も高くなり, 燃料使用量も高くなるはずである。長時間の圧延機の故障などのハッキリ異状なものとは区別され得るものは, 最初からデータより除くが少し位作業が不調な場合には, そのままデータに含める。すなわち入熱の多い方は, 何らかの原因がある場合が多い。

(2) 作業直後に故障を生じたような場合には, 昇熱の入熱によりすでに鋼片が加熱されているので, 1~2交代作業の場合で加熱割合 M の極端に少ないときには, 逆に入熱が過少に評価される。

(3) 簡易熱勘定方式は, 計算の簡易を主として考えであるので, 多少の誤差が入る可能性もある。

(4) 連続加熱炉の計測法自体にも現在でも未解決の点があり, それらを考慮して関係式を求めた方がよいと思われる場合がある。例えば, 排ガス温度を $C \cdot A$ 熱電対で測定しているような場合は, 真の温度より低目であるので補正する必要がある。

などの事柄が考えられる。一般について, 燃料の入熱の多過ぎるのは何らかの理由が考えられるはずであるので, その低い所に関係式を求めるべきである。このこと他に, 図式解法によると, 後に述べるごとく多くの資料を, その中に盛り込むこともできるとともに, またその図上より多くの情報を得ることができるので, 現在の連続鋼片加熱炉の計測および操業状況下では, 一般に図式解法を推奨することができる。

図式解法を行なうには, 横軸に加熱割合 $M \text{ t/h}$ を目盛り, 縦軸には入熱量 $Q_z \text{ kcal/h}$ を目盛り, その関係をプロットして置く, このプロットせる点より前述の関係を考慮してプロットせる点の下寄りに関係直線を求め, 図上に鎖線で記入しておく。つぎに同図上に同じ目

盛りで、(11)式で求めた炉壁損失熱 Q_w と加熱割合 M との関係プロットしておく。この炉壁損失 Q_w は、加熱割合 M とは無関係であるはずであるから、関係線は水平直線であるはずで、この関係を求め図上に鎖線で記入しておく。

つぎに同図の下に、横軸に同じく加熱割合 M を取り縦軸に排ガス損失割合 (Q_g/Q_z) % を取り、(10) 式で求めた関係をプロットしておく。この場合も圧延作業の不連続性の影響を考えて下寄りの方に関係直線を求め、

鎖線で記入しておく。一般にこの関係も水平線になるはずである。

また熱動定を行なった結果より、これらの関係を求め図上に×印にてプロットしておく。

この関係式より求めた $Q_w = W$ 、 $Q_g/Q_z = K$ の値を使用して (24) 式による関係式を求め、図上に実線で記入し、先に視察で求めた関係式の鎖線と一致するかどうかをチェックしてみるのである。一般にこの二つの直線は、よく一致するはずであつて、一致しない場合には、

II-1-3 素材・レキュペレーター

図面番号	素		材
	単重	厚さ×巾×長さ	
	kg	mm	%
1	バラツキ非常に大きい 3800 1月平均	バラツキ非常に大きい 180×1816×1000	C. 0.1~0.2
2	450	170×230×1550	普通鋼
3	1列 5500~7000 2列 4500~3000	1列 110×670×5500 2列 110×1100×2800	厚26, 中10, 薄64
4	80~120	95×95×1400	軟鋼C 0.10~0.30
5	120	105×105×1400 (上)口 (底)口	軟鋼
6	1000~5000	95×1300×120 120×685×1100	低炭素鋼, 特殊鋼
7	鋼塊 790 鋼片 660	370×1500×2200 最大 286×695×1160 " 150×1000×1247	普通鋼
8	930	(頭)口 (底)口 300×340×340×1350	低炭素, 珪素鋼, 特殊鋼
9	162	87×87×3100	低, 高炭素鋼
10	180	125×125×1320	同上
11	350	93~273×1180~4170	炭素鋼
12	100	100×100×1450	C 0.15
13	100	同上	C 0.10
14	220	150×150×1370	C 0.15
15	550	106×600×1200	C 0.18
16	175~180	115×115×1750~1800	軟鋼90 半軟鋼10
17	100~200	100×100 } (1400~2000) 150×150 }	普通鋼84 炭素鋼16
18	324~156	170×200×3000 96×96×2200	炭素鋼帯鋼 100
19	1140~1580	400×320×1100 440×360×1200	炭素鋼 合金鋼 バネ ステンレス
20	200	132×154×1550	C 0.15
21	350	180×180×1550	同上
22	60	70×85×1550	同上
23	1010~2950	200×160×4100 330×235×4940	炭素鋼
24	149~577	96×96×2100 225×145×2300	同上
25	280	63.5×63.5×9000	C: 0.06~0.15
26	260~330	96φ×3700~4800	C: 0.10~0.15
27	46~167	65 ² ×1400~120 ² ×1500	炭素鋼
28	6670	152×950×6100	C: 0.08~0.06
29	80	80φ×1600	炭素鋼, 特殊鋼
30	494	185φ×2380	炭素鋼
31	1100~2700	(290~335)×(650~930) ×(1100~1350)	普通鋼
32	500 700	(210~230)×(230~250) ×1700	同上
33	スラブ 800~1,200 板 350~1100	スラブ 330φ×1200 板 100×700×1100	ステンレス, 低高炭素鋼
34	300~800	115×300××2000	ステンレス, 低炭素鋼, 珪素

データの取り方、計算の仕方に不完全な所があるはずで再検討すべきである。

5. 結び……特性式の利用方法

以上、連続鋼片加熱炉の特性式の必要性、誘導方法について述べた。この特性式の利用に関しては、今後の研究に待つべきであるが、つぎのような方面に応用して行くことができるであろう。

1) 炉の操業標準として 従来、連続鋼片加熱炉の燃料使用量の管理は、ただ単に原単位の上で管理され

て来た。しかし原単位は加熱割合により左右されるものであるから、その関係式を利用することにより、それより離れたものに就いて研究を進めて行くことにより、さらに適正な操炉方法を見出すこともできるであろうし、今まで重要視されながらも不明であつた要因（例えば、炉内圧、連続性など）が明らかになることと思われる。

2) 炉改造前後の比較 改造前後の効果は炉特性式の変化を見ることにより一見して明らかとなる。この原因を追求することにより、炉改造の指針が明らかになる

レ キ ュ ペ レ ー タ ー				
型 式・材 質	伝熱面積 m ²	炉前予熱空気温度 °C	送 風 量 Nm ³ /h	予熱空気の使用先
金属十字流式コード型	190	430	35000	上下加熱, 均熱帯
黒田式 (向流) 普通鋼	290	200	10000~18000	同 上
スタインタイル, シャモット	414 (直接)	300~350	36000	上下加均, 予熱帯
—	—	—	—	—
懸管製十字流型(並流)普通鋼	7.58	200	8000	上下加熱帯
パイプ式 普通鋼管	411	280	10200	均熱, 上下加熱帯
金属十字流式ニードル型エレメント	空気側 122	220	8950	上下部加熱帯
パイプ式 普通鋼管	206	180	6300	均熱, 上下加熱帯
—	—	—	—	—
蓄熱式 シャモット煉瓦	244×2	200	7550	上部加熱帯
—	—	—	—	—
十字流式普通鋼管	26.8	310	1300	正面バーナー
同 上	26.8	330	1500	同 上
同 上	40.9	370	1900	上部バーナー
—	—	—	—	—
黒田式扁平普通鋼管	144	180~220	9000	均熱, 加熱帯
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
堅型向流引板鋼管 18-8	104	350	18000	前均熱, 上下加熱帯
—	—	—	—	—
改 造 中	—	—	—	—
—	—	—	—	—
黒田式向流普通鋼管	371.5	190	11000~30000	均熱, 上下加熱帯
—	—	—	3000~7600	—
—	—	—	—	—
十字流式小片フィン付耐熱鑄鉄	410	350	12000~15000	バ ー ナ ー
多管式普通鋼管	150	300	10000~13000	バ ー ナ ー
—	—	—	2500~6000	—
ニードルタイプ 金属	含 fin 591.5	450~500	33000~44000	上下加熱帯, 均熱帯
エンベロープ型, 軟鋼板(アルミナメッキ)	除 fin 164.2	80	6000	カーテンバーナー
—	17.22	—	—	前, 上, 下加熱
—	—	—	—	—
葉 状 片 形	22.3	200	6005	—
—	—	—	—	—
懸垂式鋼管	160	230	13500	均熱, 上下加熱帯
同 上	160	230	—	同 上

であろう。

3) 各種加熱炉の比較 従来の熱勘定による多くの加熱炉の比較対照は、熱勘定自体に不完全な所が不明となる危険があるとともに、加熱能力の異なる炉の比較ができなかつた。この炉特性式を使用することによつて始めてその比較ができるとともに、実用的な価値判断もできることになる。かくして性能の優れた加熱炉を見出すことができ、それを研究して行くことにより炉設計の指針が見出されると思う。

4) 炉特性をみると、炉内で消費される熱量が少ないか、多いか(すなわち排ガス損失熱割合 K の大小)あるいは炉内で使用される熱量中で有効に使用されるものと、炉壁その他からのがれる熱量の割合が一見して明らかで、加熱炉研究の方向が明らかとなる。

5) データの変動具合より操炉および圧延作業の変動が見出される。この外にいろいろの利用方法が考えられるであろう。

連続鋼片加熱炉を研究する方向が明らかになつたので

これを利用したならば、連続鋼片加熱炉の問題も明らかとなり、ひいては一般工業窯炉に広くその結果を応用して、一日も早く科学的な設計方法を確立して載きたいと念願するものである。

II. 調査結果

1. 調査結果一覧表 (856 ページに)
2. 調査炉概略図 (865 ページに)
3. 炉の特性図 (867 ページに)
4. 調査結果に対する考察

前述の方法に基づいて、昭和 34 年熱管理分科会において、連続鋼片加熱炉について調査を行なつた。Ⅱ-1 は調査の対称となつた加熱炉の構造、操業状況を一覧表とせるもので Ⅱ-2 はそれらの炉の炉線を図示したものである。Ⅱ-3 は前節で述べた方法により特性式を図上で求めたものであつて、それらの数値は一覧表として、Ⅱ-1 にまとめてある。

調査対称加熱炉は、わが国鉄鋼業界の代表的な 20 工

Ⅱ-1-4 冷却水、特性式

図面番号	冷 却 水		
	使 用 箇 所	使 用 量 t/h	損 失 熱 量 10 ³ kcal/h
1	スキッド加熱帯支柱	400	4800
2	スキッド, 落とし口, 前壁受, 加熱帯支柱, 炉尻ボックス	145	1928
3	上, 加均, 予バーナ支え, タンク, スキッド, 加支柱, ナックル, 滑金	340	2300~2900
4	スキッド	15	300
5	スキッド, スキッドサポート, 滑出端	28	540
6	スキッド, リンテル, ナックル, ダンパー	160	2150
7	スキッド, 加熱帯支柱, リンテル	135	982
8	スキッド, リンテル, ナックル, ダンパー	110	1600
9	スキッド		
10	スキッド, 炉前金物	39.95	697
11	装, 抽各扉, 内外視管, 装, 抽出機, No. 1 バッフル水封内外	66	1506
12	—	—	—
13	—	—	—
14	—	—	—
15	スキッド	30	270
16	均熱帯スキッド, 抽出口のれん軸	2	30
17	—	—	—
18	スキッドパイプ, 同支柱, リンテルクロス	40~80	500~1100
19	スキッド加熱帯支柱, 吊天井ノーズ部ジャケット	150	1950
20	—	—	—
21	スキッド, 加熱帯支柱	40	1400
22	—	—	—
23	スキッド, 支柱, ダンパー, 抽出樋	—	—
24	同 上	—	—
25	スキッド	42	920
26	スキッド	50	1000
27	スキッド抽出口グレーおおよび扉ダンパー		
28	スキッド, サポート	200~210	2000~3000
29	—	—	—
30	煙道ダンパー, 抽出扉, ガイド金物	8.5	170
31	スキッド, サポート	100	510
32	同 上	55	297
33	スキッド, 支柱, 落とし口	91.7	2161
34	スキッド, 加熱帯支柱, 落とし口	43.0	580

場 34 炉であつた。対象工場が大工場であつたために比較的能力の大きな炉が多く炉形式別に分類すると、1 帯 6 炉、2 帯 10 炉、3 帯 15 炉、4 帯 1 炉、回転炉床炉 2 炉となつている。No.7 炉は視察で求めたものと逆算式により求めたものとは、関係直線だけをみると差があるように見受けられるが、実際のデータのバラツキ各からみて視察の関係直線に若干、訂正の余地があると思われる。排ガス損失は一定であるが、炉壁損失 Q_w がかなりバラツいており作業の断続性の影響がみられる。この他 No.12, No.14 など同様の傾向である。No.15 は二直制作業において昇熱の影響を受けた場合と熱勘定時その影響を受けない場合のデータが×印で示されている。逆算式は熱勘定時における排ガス損失割合 q 炉壁損失 Q_w をもとに計算されているために視察による関係直線を上回り一致していないが、通常作業において昇熱の影響を受けないものであれば、そのときのデータを基準に逆算式を導けばよいようである。No.20 は抽出口の一部の改造前後のデータを比較してあるが、改造後抽出

口の水冷ジャケットを取外したことにより 1 時間約 3.7×10^5 kcal の熱量が節約できたことを特性図は示している。No.26, No.30 の各炉はデータ不足で視察で求めた式と理論的逆算式の比較はできないが、少なくとも入熱 Q_z と加熱割合 M との間には直線関係があることが明示されている。その中で No.26 は入熱 Q_z 、炉壁損失 Q_w 、排ガス損失割合 q がともにバラツキ、また No.30 は排ガス損失割合 q のデータ不足のため逆算式を導くことができなかつた。

以上の特殊のケースを除き正常な資料による 27 炉について視察により求めた式と排ガス損失割合 q 、炉壁損失 Q_w を使用して理論的に導いた逆算式の一致度をみると、

- 非常によく一致せるもの……………17 炉
- 大体一致せるもの……………8 炉
- 概略一致せるもの……………2 炉

であつた。その内、概略一致せるもの 2 例は、データ不足で関係直線の比較は困難である。しかし加熱 t 数 M が

特 性 式		備 考
逆 算	視 察	
10^5 kcal/h	10^5 kcal/h	
3.88 M + 100.92	3.87 M × 100.85	逆算も相関も全く一致 蒸気使用 0.26 kg / 1.7 kg / cm ² 245°C Qz = 入熱 視察は相関による
3.18 M + 43.41	相関 3.66 M + 30.62	
3.59 M + 70.9	3.93 M + 49.2	重油の噴霧剤として蒸気を使用す サイドバーナー使用、食休時に大形鋼材の加熱を行う 蒸気使用、若干熱塊の装入がある 蒸気使用 同上 空気予熱器はなく代わりに排熱ボイラー設置
2.551M + 13.33	相関 2.106M + 16.9	
3.09 M + 14.48	2.82 M + 17.20	2つの特性式は大体合っている //
3.075M + 54.149	相関 1.795M + 86.347	
3.157M + 22.04	3.157M + 19.54	排ガス成分は推定 排ガス損失%推定 // //
3.204M + 34.759	4.158M + 9.299	
2.63 M + 10.41	3.675M + 1.1	重油使用の場合は霧化剤とし蒸気使用
3.52 M + 46.2	2.535M + 13.60	
2.72 M + 15.45	3.7 M + 44.0	逆算式は排ガスを行ってないのでとれなかつた 蒸気は噴霧には用いない。冷却水は圧力の関係で多い。 蒸気は噴霧には用いない
2.66 M + 11.2	2.5 M + 14.5	
2.765M + 31.94	2.4 M + 12.5	
2.5 M + 13.2	2.25 M + 39	
2.79 M + 6.5	1.95 M + 18.5	
3.19 M + 3.17	3.22 M - 1.6	
2.88 M + 24.5	3.4 M - 1.0	
2.44 M + 42.9	2.6 M + 27	
a 2.94 M + 12.5	2.58 M + 39	
b 2.94 M + 8.82	a 3.2 M + 11.5	
2.84 M + 16.34	b 3.1 M + 8.2	
2.86 M + 5.0	2.5 M + 20.5	
3.587M + 19.75	2.5 M + 6.5	
2.949M + 14.26	2.867M + 37.33	
2.7 M + 11.5	2.35 M + 24.5	
2.051M + 9.91	3.77 M - 13.3	
2.81 M + 94	2.4 M + 26.9	
2.53 M + 4.67	1.9 M + 11.5	
2.810M + 14.05	3.05 M + 78	
2.810M + 12.81	2.30 M + 6.00	
2.61 M + 40.4	2.87 M + 13.3	
2.67 M + 26.1	1.912M + 26.72	
	1.945M + 22.67	
	1.58 M + 55.32	
	3.36 M + 20.0	

増加しても炉壁損失 Q_w , 排ガス損失割合 q が大きくなる傾向はみられず大体一定である。

つぎに排ガス損失割合 q をみると, 測定して図示しているデータがほとんどである。これらの結果からも加熱 t 数 M とは無関係で (19) 式が成立することが見受けられる。ただ No. 29 のデータは加熱割合 M が増大すると多少排ガス損失割合が上昇しているようにみられるが, この位の傾斜ならば無視しても大した影響がない。一方排ガス損失割合を測定せずに熱勘定結果などから推定して図示しているデータは, No. 18, No. 20-a, No. 20-b, No. 21, No. 22, No. 28 の 6 例に過ぎない。これらの関係直線も理論式と非常によく一致している。何れにしても, 排ガス損失割合 q は加熱割合 M とは無関係で一定であるとみなしてよい。

つぎに炉壁損失 Q_w はほとんど全部 (11) 式により計算されている。No. 1, No. 11, No. 33 などは何れも非常にバラツキているが, 加熱割合 M が増加すると炉壁損失 Q_w が増加するという傾向は全然みあたらない。むしろ主な因子は, 圧延作業の不連続性による炉壁蓄熱量の変化, あるいは炉壁損失熱量, 排ガス損失熱量などの測定および計算誤差と思われる。No. 11 は入熱 Q_2 が一般的に高く, かつかなり変動している。これは回転炉床炉のため他の炉と比較して, 若干排ガス損失割合 q が高いものと推定される。

III. 調査結果の要約

1) 排ガス損失 加熱 t 数 M (t/h) が少ないときに排ガス損失 $q\%$ が若干上昇するものと, 逆に M が大きいときに $q\%$ が幾分上昇するものが, それぞれ数例見受けられるが, 他はほとんど M の大小に関係はない。この誤差の入る理由としては

(1) M の小なるときは, ①侵入空気の影響で結果的に過剰空気が多くなる。②断続操業時の保熱などで炉尻まで温度が上り排ガス温度が高くなる。

(2) M の大なるときは, 炉内温度を上げるため, 排ガス温度が幾分上昇するといったことが考えられる。しかし, 実績からみてこれらの影響は大きなものではなく過剰空気比が一定であれば, M の如何にかかわらず $q\%$ に一定とみなすことができ, 大体 27~33% 位である。

2) 炉壁放散熱 Q_w kcal/h 誤差が含まれるため

変動の多いものが, 若干見受けられるが, 大体一定とみなせる。理論的には, M の大なるときは炉内温度を高くする必要があるので, Q_w は増加する筈であるが, その炉壁損失熱量の増加は, 理論的に計算してもごくわずかである。逆に M の小なるときは, Q_w が大になる傾向のものが数例見受けられる。これは前項の $q\%$ の変化または作業の断続度合が影響したものと思われる。結論として, 炉内温度変化の影響は少なく, M の大小にかかわらず Q_w は一定とみなせる。

3) 入熱 Q_2 kcal/h 前記のごとく放散熱 Q_w kcal/h と排ガス損失 $q\%$ とが 1 時間当りの加熱 t 数 M に関係なく一定とみなせるので, 入熱 Q_2 は t 当りの有効熱量 n さえ一定ならば M に比例して直線的に変化する筈である。したがってつぎの式が導かれる。

$$Q_2 = n \cdot M / (1 - q) + Q_w / (1 - q)$$

かかる考え方から求めた特性値は, 数例を除き実績と一致する。また一致しない場合の原因としては, つぎのような事項が考えられる。

(1) M t/h が小さいときは, $q\%$ が大となる。すなわち保熱時の作業如何では排ガス温度が上昇する, また侵入空気などの影響で過剰空気が大となり, 結果的に M が小さいときに $q\%$ が大きくなることもある。

(2) M t/h が小さいときに, Q_w kcal/h が大となる。まづ作業の断続性が問題である。休日明けの場合は炉体蓄熱が増加するので Q_w は大となる。また M が小さい場合はとくに均熱度が向上することも考えられ, さらに Q_w は算差であるから $q\%$ の影響も受けることになる。

(3) その他, 空気予熱温度がとくに高い場合, 逆算した特性値は実績を上回る。また昇熱, 保熱の作業如何では, これが本作業時の入熱 Q_2 に影響する場合もあるので考慮を要する。

以上結論として, 資料の取り方が妥当であれば特性式は実績とよく一致するものと考えられる。

最後にこの特性式を導くことができたのは, ひとえにご指導を願った業界, 学界の諸先輩および研究の機会とご援助を載いた東都製鋼 (株) 技術研究課の方々のお蔭である。就中熱経済技術部会のメンバーの方々のご支援によるものとこの機会に深く謝意を表すしだいである。

Ⅱ-2 調査炉概略図
(図中単位は mm)

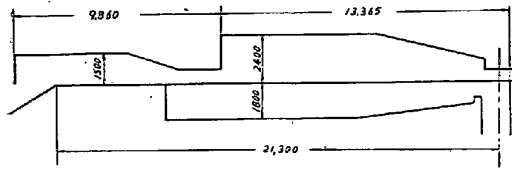


図1 (炉内幅 6765)

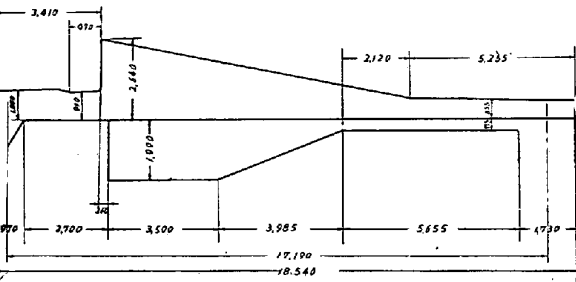


図2 (炉内幅 3650)

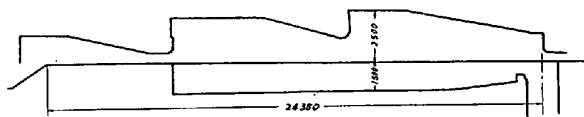


図3 (炉内幅 6100)

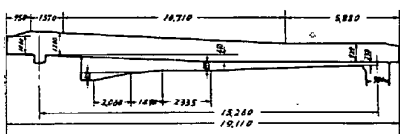


図4 (炉内幅 2000)

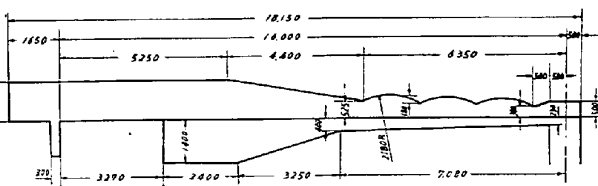


図5 (炉内幅 2100)

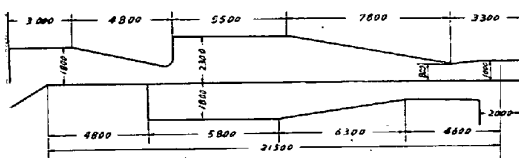


図6 (炉内幅 2520)

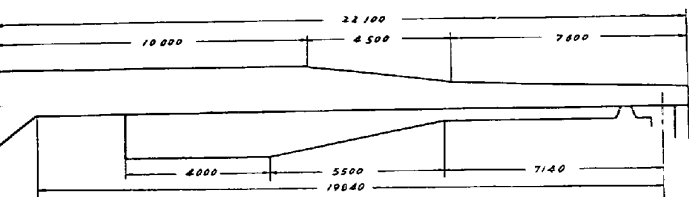


図7 (炉内幅 3000)

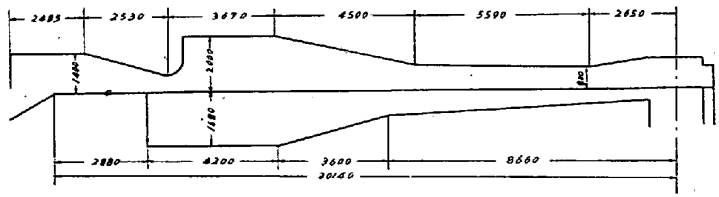


図8 (炉内幅 3500)

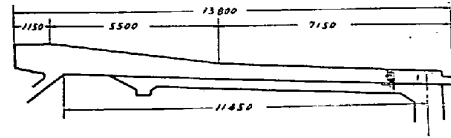


図9 (炉内幅 3500)

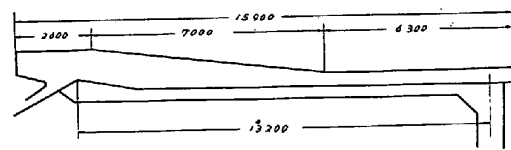
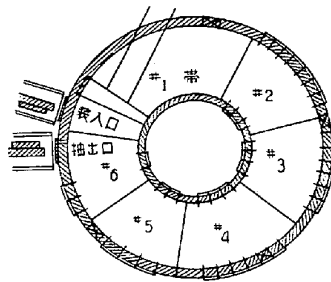


図10 (炉内幅 3800)



炉 幅 5792mm
炉床中心径 15545 〃
炉 の 外 径 22839 〃

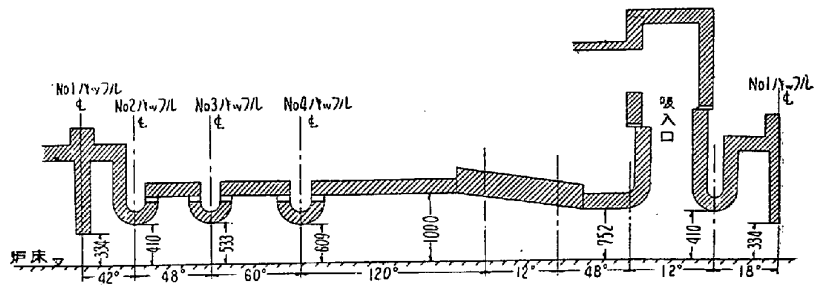


図 11

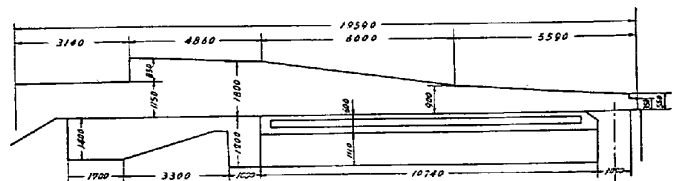


図12, 13 (炉内幅 1800)

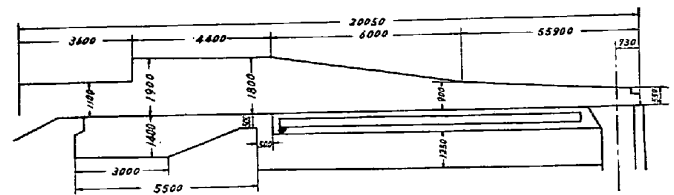


図14 (炉内幅 3500)

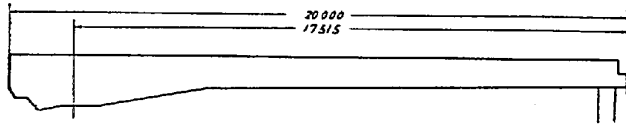


図15 (炉内幅 3300)

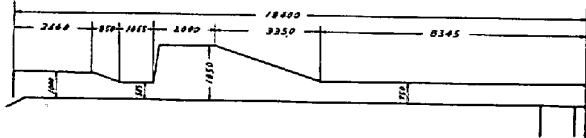


図16 (炉内幅 4200)

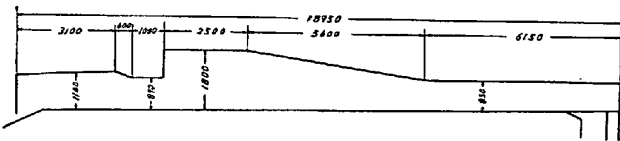


図17 (炉内幅 4700)

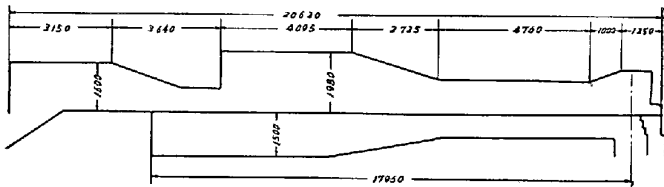


図18 (炉内幅 3680)

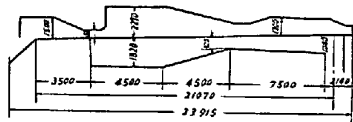


図19 (炉内幅 4000)

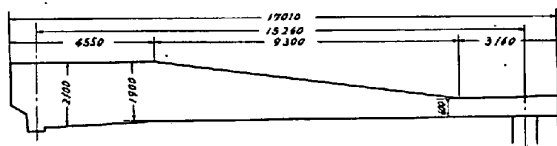


図20 (炉内幅 2400)

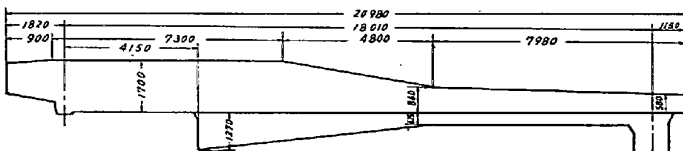


図21 (炉内幅 2300)

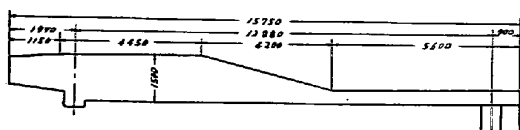


図22 (炉内幅 1850)

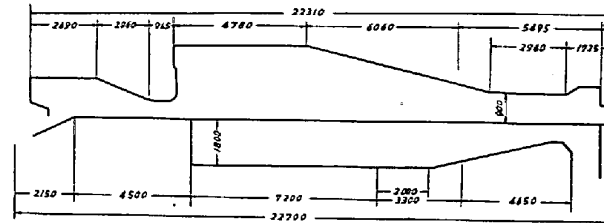


図23 (炉内幅 5520)

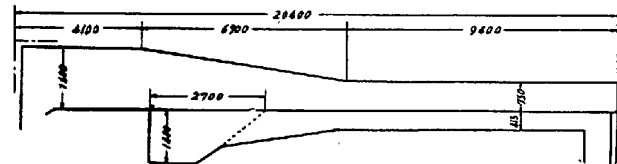


図24 (炉内幅 3520)

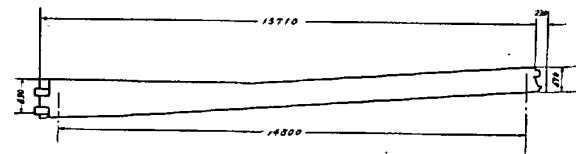


図25 (炉内幅 9500)

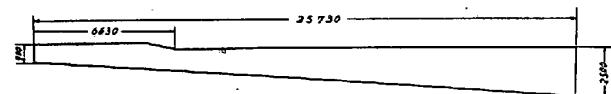


図26 (炉内幅 5500)

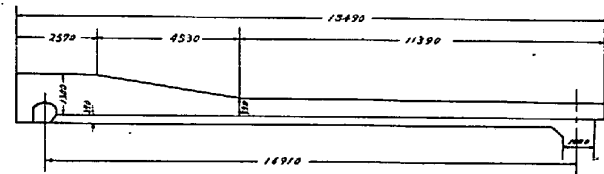


図27 (炉内幅 3650)

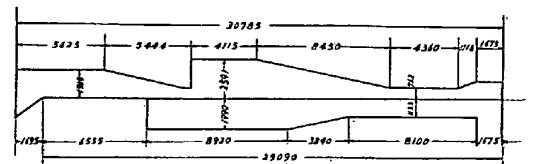


図28 (炉内幅 6700)

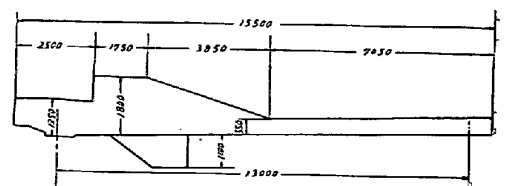


図29 (炉内幅 2000)

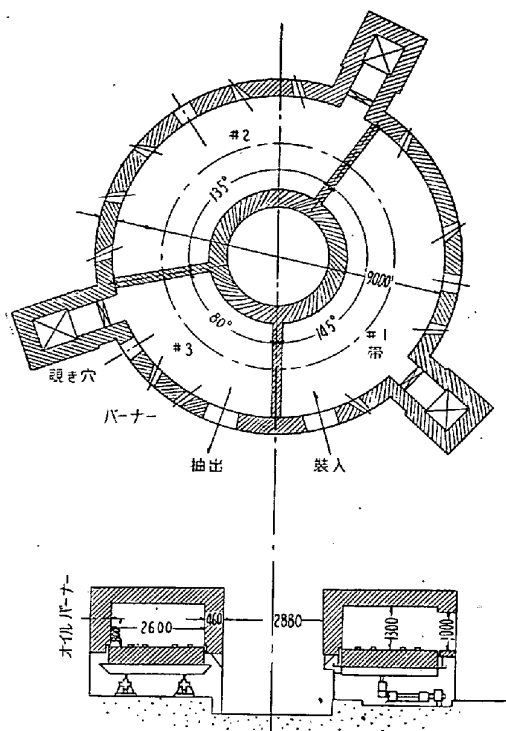


図 30

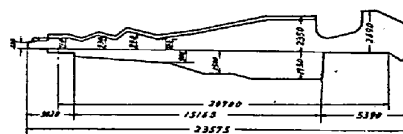


図 31 (炉内幅 1800)

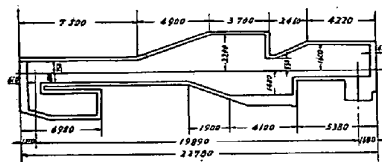


図 32 (炉内幅 2100)

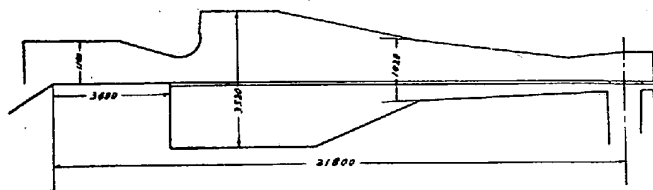


図 33 (炉内幅 3800)

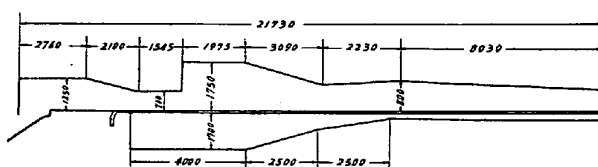


図 34 (炉内幅 2500)

Ⅱ-3 炉 の 特 性 図

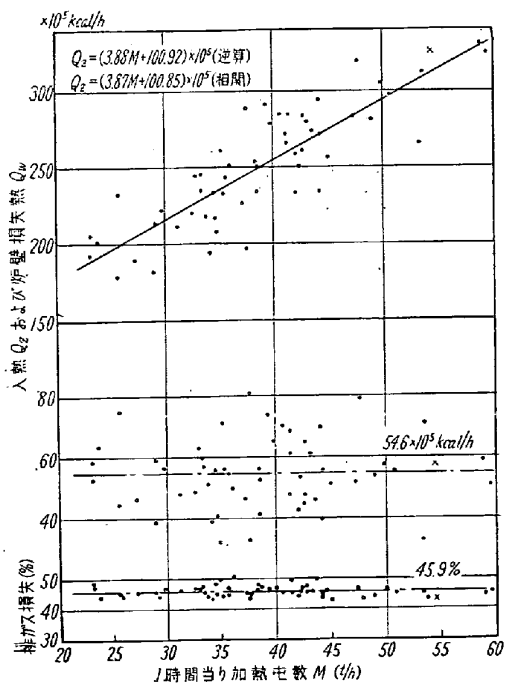


図 1

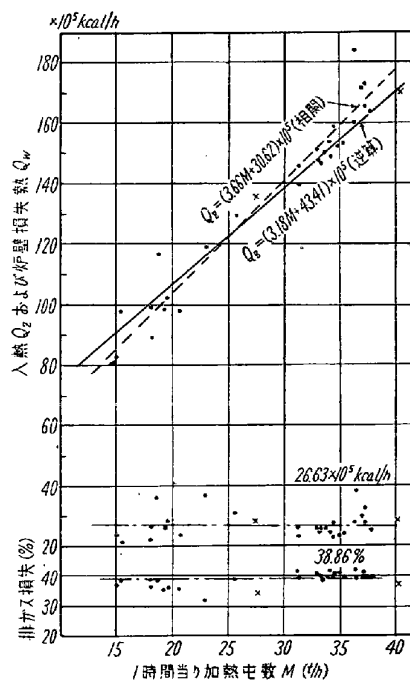


図 2

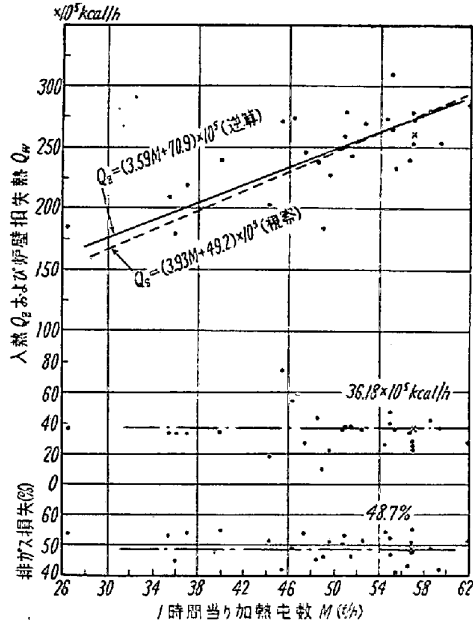


図 3

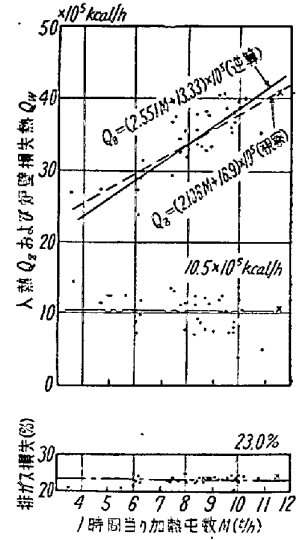


図 4

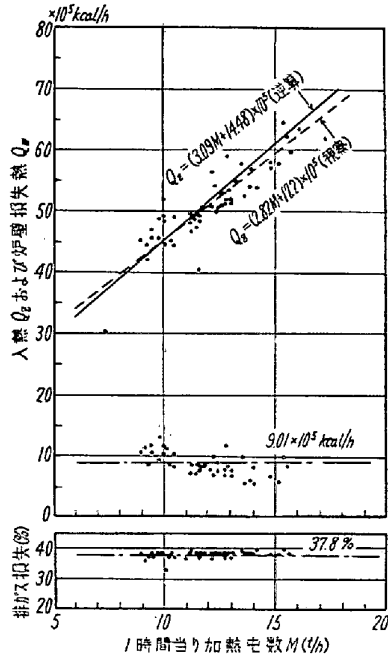


図 5

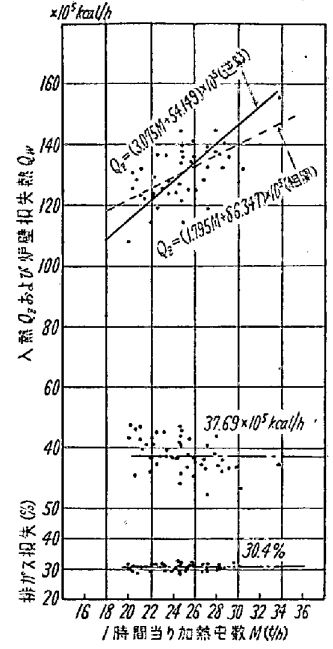


図 6

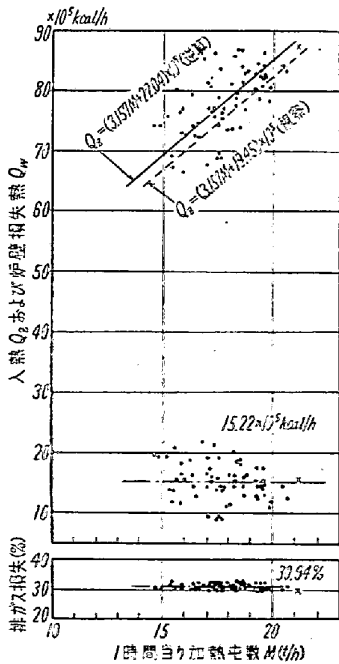


図 7

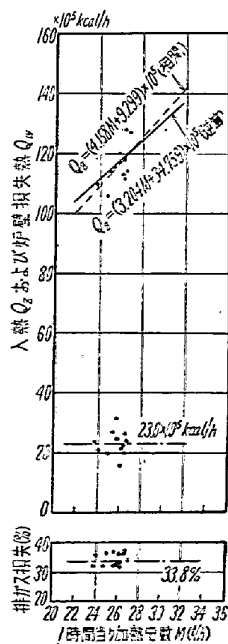


図 8

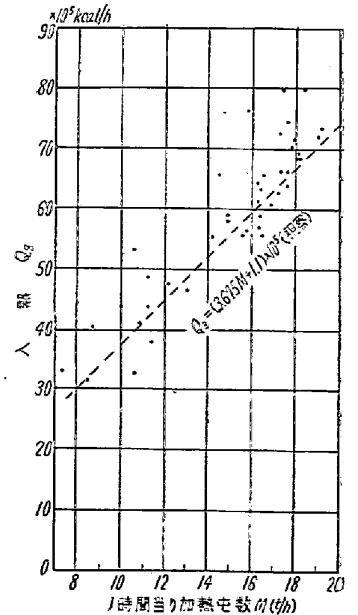


図 9

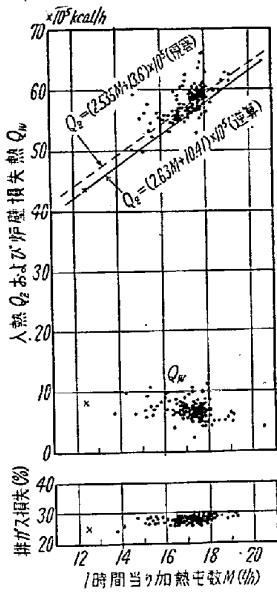


図 10

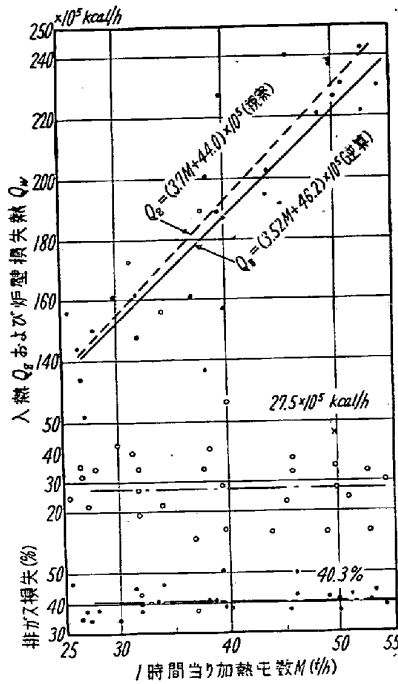


図 11

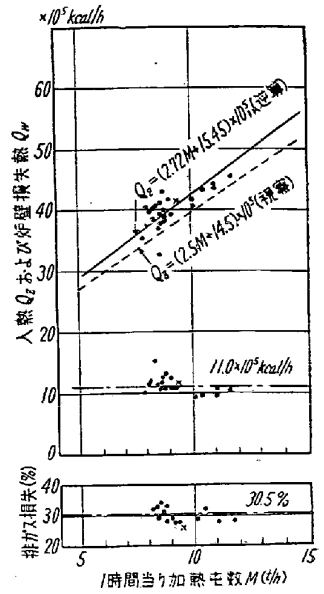


図 12

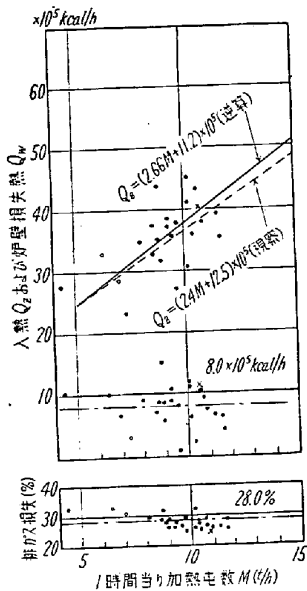


図 13

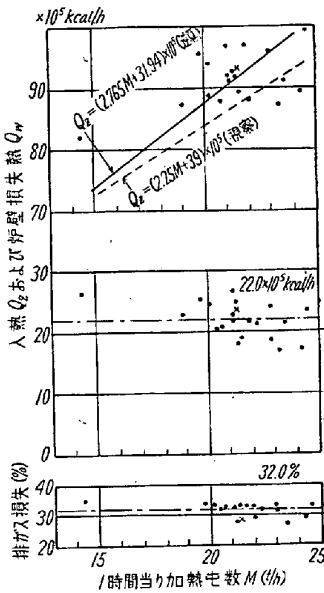


図 14

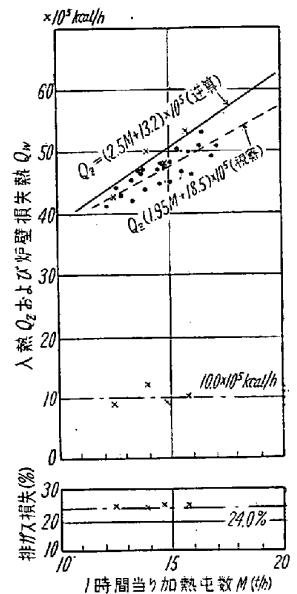


図 15

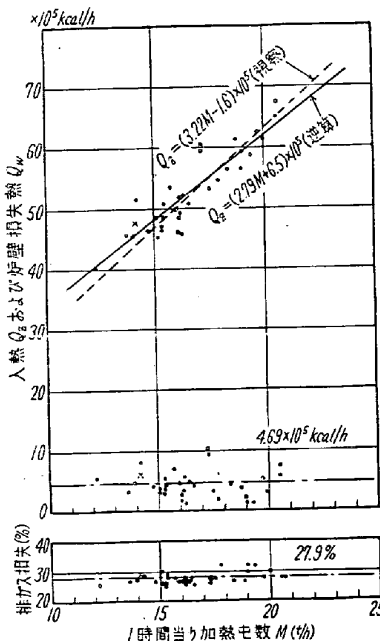


図 16

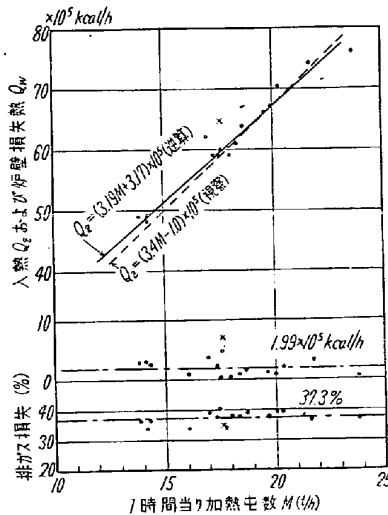


図 17

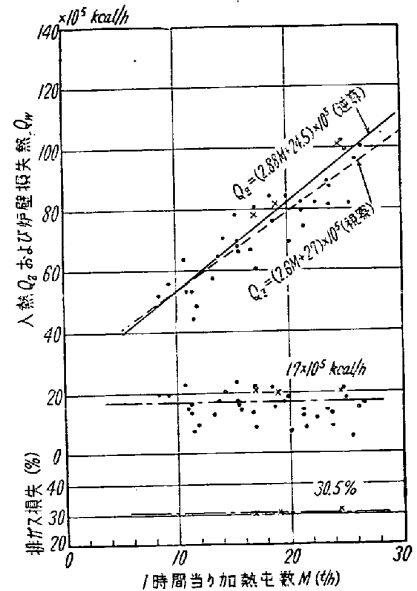


図 18

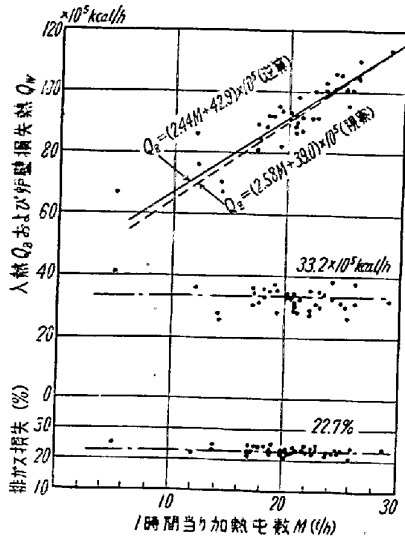


図 19

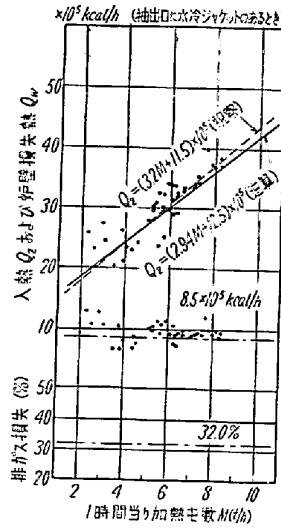


図 20—(a)

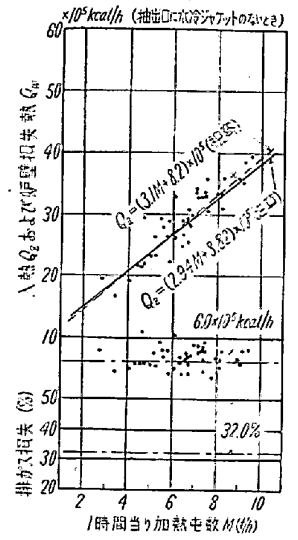


図 20—(b)

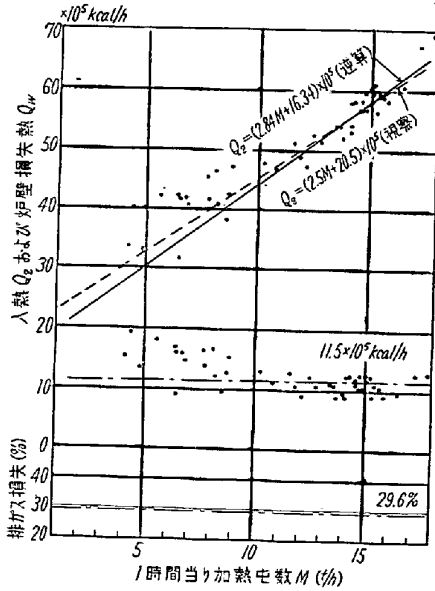


図 21

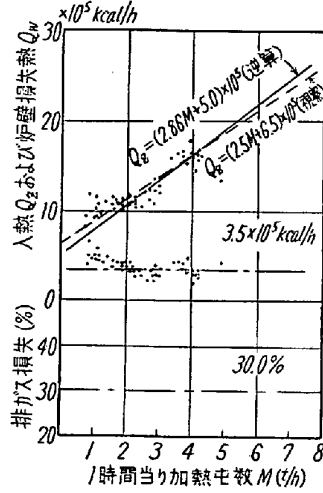


図 22

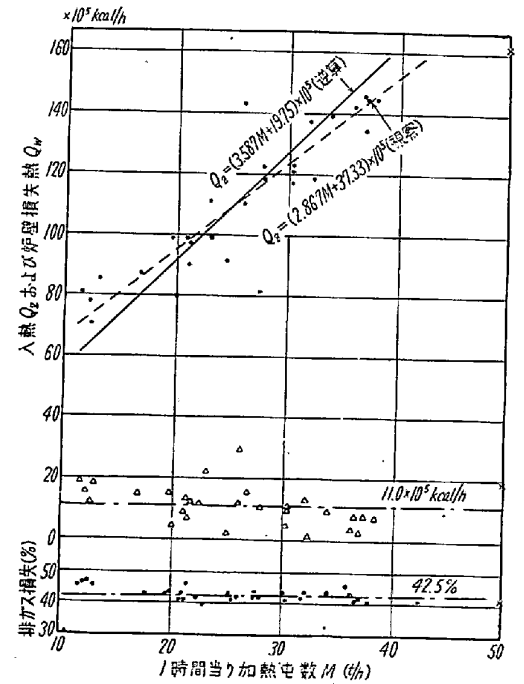


図 23

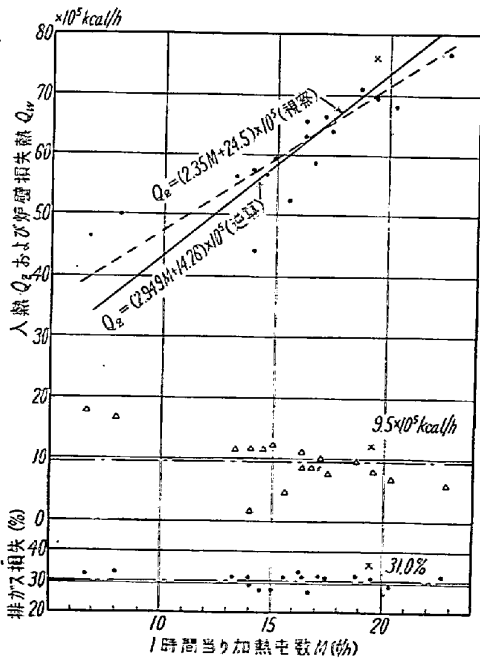


図 24

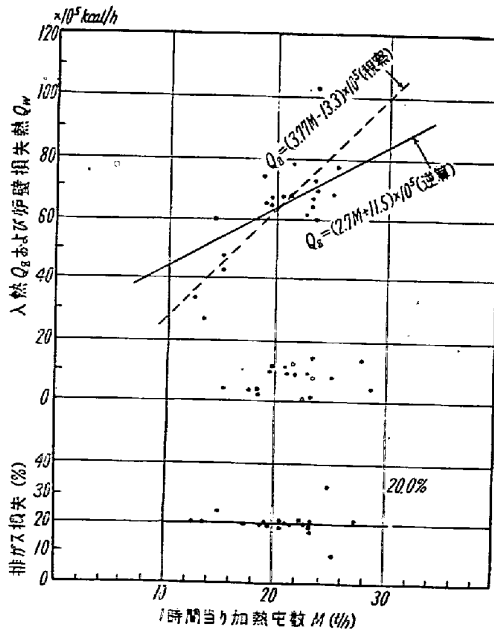


図 25

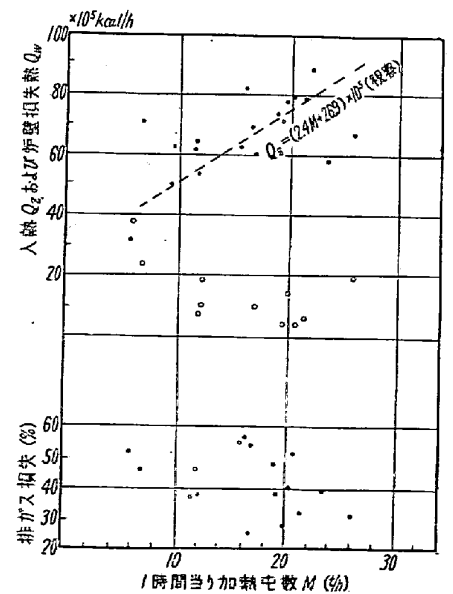


図 26

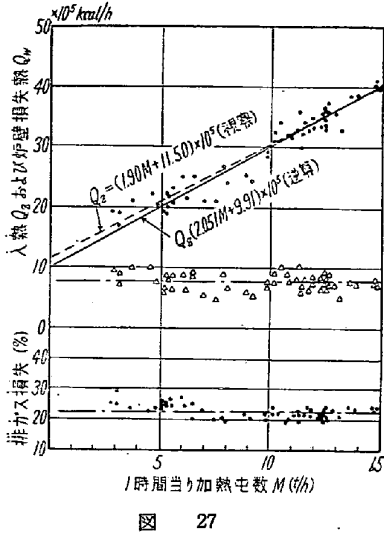


図 27

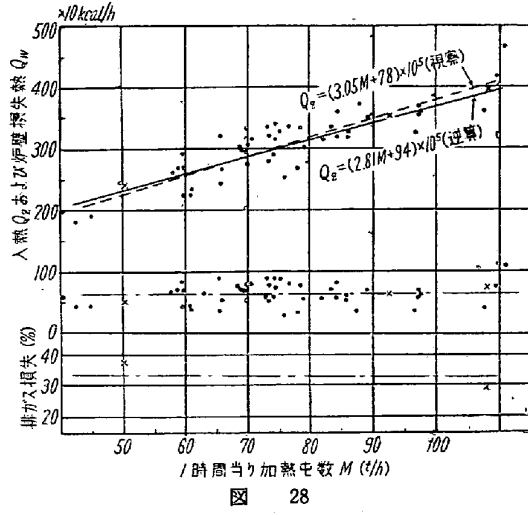


図 28

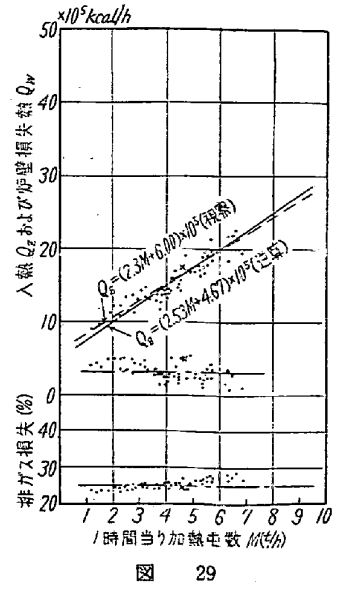


図 29

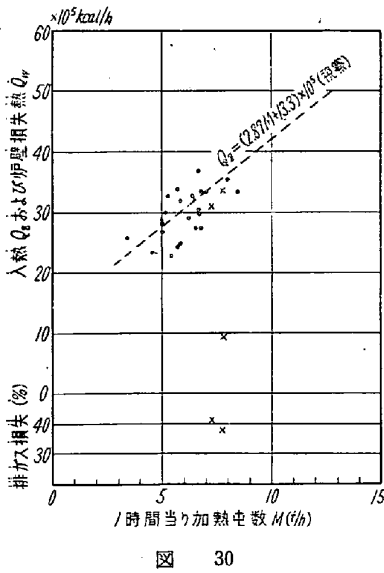


図 30

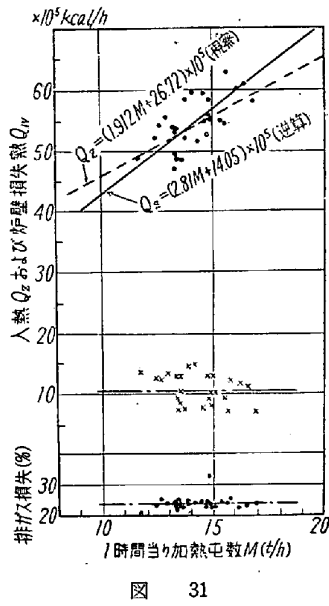


図 31

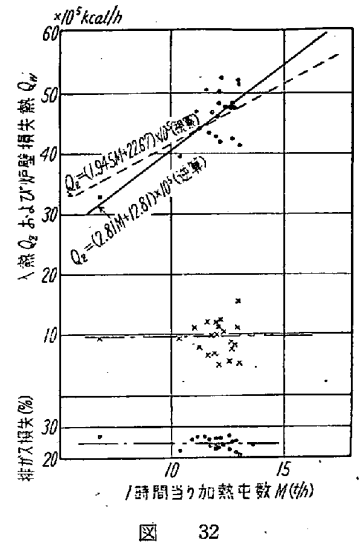


図 32

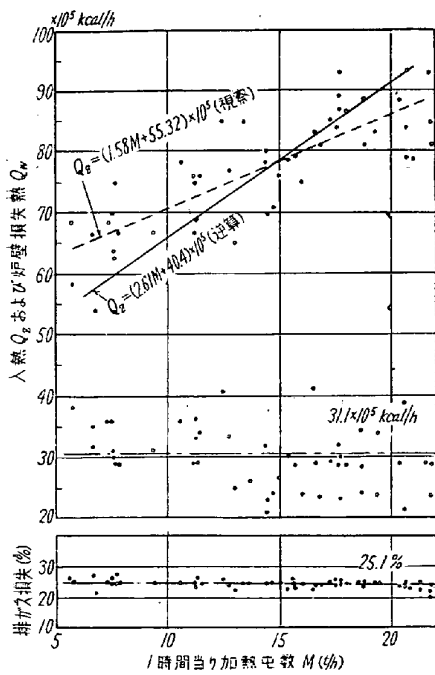


図 33

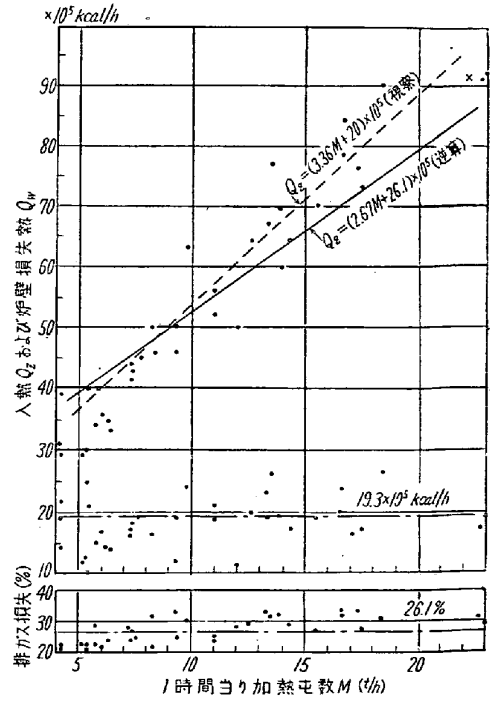


図 34