

技 術 資 料

鉄鋼業におけるオートメーション (II)

(Automation in Iron and Steel Industry—A Review)

岡 勇*

12月号 1340頁よりつづく

B 炉天井温度と燃焼自動制御

現在わが国で実施されている平炉の天井温度測定の主目的は、天井煉瓦の保護と作業能率の向上とである。

製鋼作業上の面からは、熔鋼温度を自動制御することが直接的であり品質向上の点からも重要ではあるが、熔鋼温度を連続的に測定する適当な方法が現在ないためとそれに実際には炉温の方が高く、炉天井の損傷の危険があるので、炉天井の損傷防止も兼ね天井温度により燃料供給量を加減する方法、すなわち炉に供給される燃料重油流量に対し、重油の霧化用空気および燃焼用空気を一定比率に制御し、炉内における完全燃焼状態を保持させる方法をとっている。しかも天井温度の比較的低い装入期には温度制御とは無関係に燃料の流量制御をし、炉温が上昇すると共に自動的に天井温度制御に移行せしめる方式である。

天井煉瓦の保護を必要とするのは、現在平炉の天井には珪石煉瓦が多く使用されているが、この珪石煉瓦の高温における荷重軟化曲線は大体図 17 に示すように軟化し始めると急激に降伏し、軟化温度範囲が非常に小さ

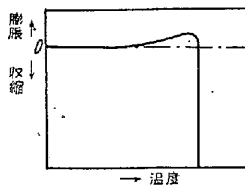


図17 珪石煉瓦の荷重軟化曲線

い。また珪石天井の熔解は煉瓦の SiO_2 と炉内ガス中の FeO の平衡に関係し、温度がある限界を越えるや否や急速に熔損が進行する。平炉操業中僅か数分間でもこの限界温度を越すと、その珪石煉瓦の寿命はいくらか短くなるといわれている。

実際の珪石煉瓦天井の限界温度は多くの工場では $1640 \sim 1680^\circ\text{C}$ とされている。工場によつてこのように限界温度が違うのは勿論煉瓦の品質が異なるためでもあるが使用する天井温度計の信頼度や天井内面の検出場所によ

る温度差に対する見積りが違うことにもよる。

他方鋼浴の温度は 1600°C 以上にすることが多く、湯温と比較して天井の許容温度がそれ程高くないので装入物を速かに熔解し、平炉能率の向上を計る上にかなり制約を受ける。これが珪石煉瓦天井の大きな欠陥である。

これに対しクロム、マグネシア系統の塩基性天井は限界温度がずつと高く、これが次第に珪石煉瓦にとつてかわろうとする傾向があるが、現在の処ではクロム、マグネシア煉瓦にも色々な問題があり当分珪石煉瓦の天井が引続き相当使用されると考えられる。

以上の理由から天井温度を検出し、煉瓦の熔融点の僅か下の温度で一定に保つよう制御を行えば炉体寿命延長の点からも、又製鋼能率向上の点からも大いに役立つわけである。

この制御方式は米国の工場で発達したものとされていたが、今回の視察では欧米共天井温度により燃焼自動制御を実施しているものは見受けられなかつた。殆んどが装入、熔解、精錬の各期毎に標準作業により指定された流量を手動で設定し燃焼制御を行う方法をとっていた。

i. プロセスの特性

平炉はプロセスの状況を左右する因子が非常に多く、しかも Batch Process であるため同一状態の再現が困難である。これを天井温度制御の制御対象について考えると、制御量である天井温度の測定の正確さが問題になり特性は仲々求め難い。

従つて色々実験を行つてもその結果は再現性と一般性に乏しく、それから出した結論も適用性の少ないものとならざるを得ないが、当社で実際にプロセスの特性について求めた若干のデータについて述べる。

天井温度制御の操作量は重油流量であるが、天井内面に対する熱伝達は殆んど焰からの直接輻射によつて行われるため、天井温度の低い装入期や熔解初期は別として

* 株式会社神戸製鋼所

重油流量を変えた場合、これに対する天井温度の応答はかなり速い。すなわち天井温度制御系統において、入力を空気式重油流量調節計のインデックスの変位とし、重油流量の変化を受けて応答する天井温度の変化を出力とする系の周波数応答特性は図 18 に示すものであった。

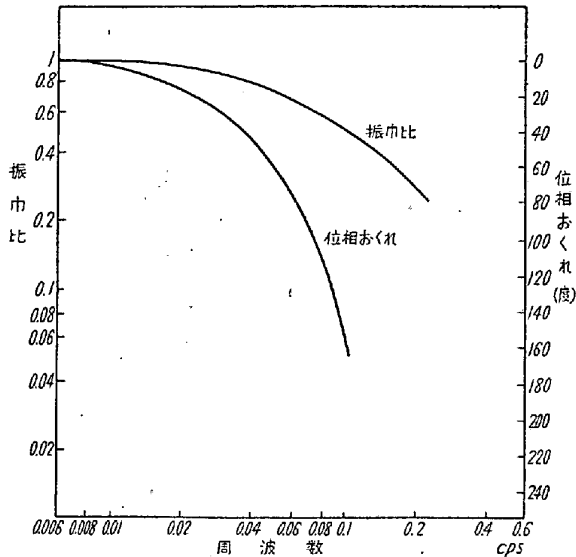


図 18 天井温度制御系プロセスの周波数応答特性

ただし、天井温度は排気寄りの天井を覗く光電管高温計によつて測定記録させ、燃焼空気、霧化用空気は試験中一定量に保ち、プロセスは溶解末期を選び天井温度の中心値は 1600°C とした。

ii. PR-13 熱電対による天井温度測定

天井内面温度の測定において、輻射高温計や光電管高温計などを用いる方法にも、また、外部から天井煉瓦に孔をあけ、熱電対を挿入して測定する方法にもそれぞれ特有の誤差があつて仲々満足な結果が得られないものである。しかし両者を併用し、いわば天井内面の温度を内と外から測定して両者の結果を比較検討すれば、あるいは天井表面の温度について、いくらか誤りの少ない判断が下せるのではないかとこの考えから、試験的に PR-13 熱電対を用いて天井煉瓦の内面に近い部分の温度を測定した。

熱電対を挿入する場合、なるべく天井煉瓦の状態を乱さないようにするため、天井煉瓦と同質のものに 3×3mm の溝を切り、天井の内面になる部分に適当な残り代を設け、炉天井構築の際に予め定めた輻射高温計の視野に入る部分に溝を切らない天井煉瓦を隙間のないようすり合せて煉瓦積をする。この溝に PR-13 熱電対を挿入して天井内面から既知の残り代だけ離れた部分の煉瓦の温度を測定する。

一般に熱電対による測定では輻射高温計による測定よりも時間おくれが大きいと考えられるが、発生炉ガス燃焼平炉において、輻射高温計と上述の熱電対とによる天井温度記録を比較するために、変更時の天井温度変化(変更直前の温度と変更後起る温度の最低値との差)を約 100 箇求め、各々の分布を出したものを図 19 に示す。

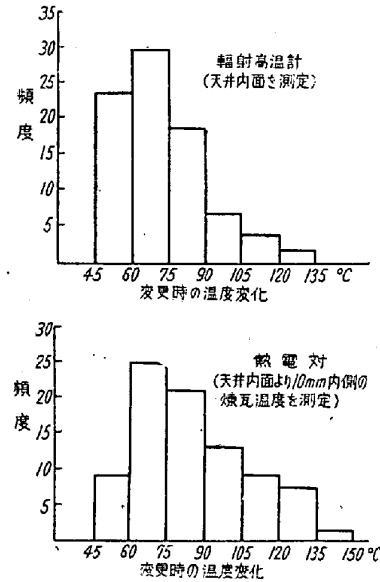


図 19 変更時の天井温度変化の分布

(変化が比較的大きくはつきりしたものを選んだ。)熱電対は天井内面から 10mm のところに先端をおいたが、輻射高温計にくらべておくれが大きいことがわかる。

また図 20 のチャートで比較すれば、輻射高温計の方が早い変動を多く示しているが、この変動の中には、この種計器の特性としての焰やダストなどの影響でノイズと看做すべき変動も含まれている筈である。

この速い変動を一応除外すると、変更、鉍石投入などによる天井温度の変化は両者とも大体傾向を一にしていると見てよからう。

iii. 炉内圧力の影響

炉内圧力が天井温度に影響を及ぼすことが文献に見

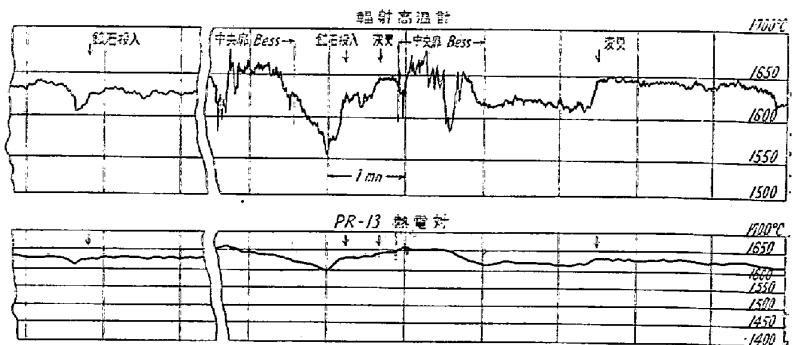


図 20 輻射高温計と PR-13 熱電対による天井温度測定記録

られるが、これを実際の炉（発生炉ガス燃焼平炉）について試みた。すなわち燃料流量などの他の条件を一定とし、炉天井圧力を正常操業値の $+1.5 \text{ mm H}_2\text{O}$ から $2 \text{ mm H}_2\text{O}$ 高くすると、炉扉の隙間や覗き孔から相当激しく焰が噴き出したが、輻射高温計および天井内面から 10 mm の点で熱電対によつて測定した天井温度は殆んど変化が認められなかつた。

また、別な炉において炉天井圧力を正常値から $2 \text{ mm H}_2\text{O}$ 下げたところ、天井温度にはまだ変化が現われない中に鋼浴の表面が明らかに暗くなるのを認めて直ちに中止した例がある。

iv. 酸素吹き込みの影響

炉前から酸素を吹き込んで *bessemerizing* を行う場合には、輻射高温計の指示は激しく変動し、非常に低い指示を与える時があるが、熱電対による記録には殆んどこれが現われていない。図 20 参照

この点を尚求めて行くと一般に図 21 に示すように酸素吹き込み中に輻射高温計の指示は激しく上下するけれども、熱電対の指示はむしろ上昇する傾向のあることがわかつた。このことは常識で考えても酸素吹き込み中に炉天井温度は上昇しそうであり、上述の現象は酸素吹き込み中に鋼浴中から立ち昇る煙が輻射高温計の視野を遮る結果と判断される。従つてこの期間中輻射高温計の信号によつて自動制御を行うことは危険である。

輻射高温計に対する煙の影響は肉眼で見た時の煙の濃淡と相伴うようで *bessemerizing* も終りの方になると余り煙が出ないからその影響は少なくなる。

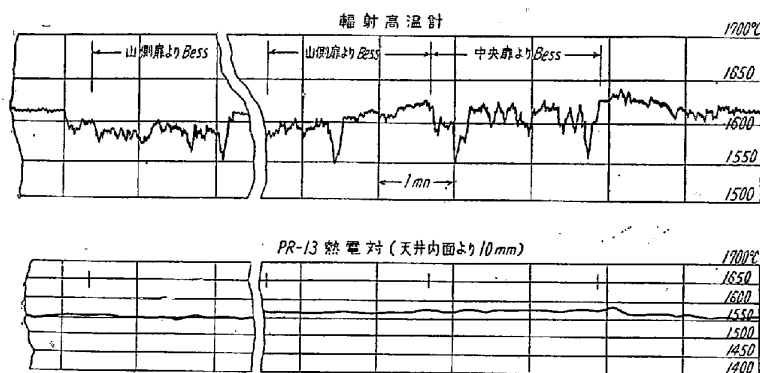


図21 Bessemerizing における天井温度変化

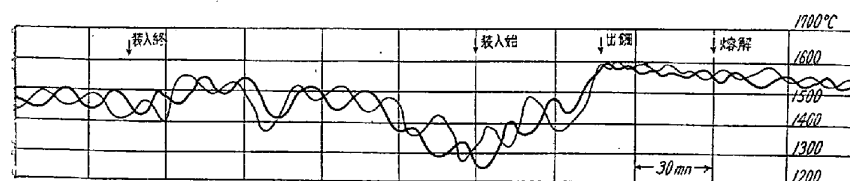


図22 熱電対による天井温度記録

— 左側天井 } 天井内面より 10mm の点を測定
 — 右側天井 }

なお、酸素吹き込みによる天井温度上昇は重油流量を少し減せば十分打ち消すことができる。

v. 天井温度分布

天井温度は操業中均一でなく、場所によつてかなり高低がある。天井温度制御においては、天井の最高温度を許容限界より下に保てばその目的は達せられるわけで、それ以下に燃料を減ざると炉操業能率に害のあることを既に述べた。従つて天井温度制御の制御量は天井内の最高温度を採るのが理想的で実際の平炉でどのような場所が最も高温になり易いかを知ることは極めて重要である。

こゝでは平炉の長さの方向の天井温度分布を考える。炉の前後の方向については、中心線よりやゝ裏壁寄りが最も高温になり易いという通説に従う。

a. 熱電対による天井温度

炉天井中心線より 350 mm 位裏壁寄りで、炉中心からそれぞれ左右に 2950 mm と 2700 mm 離れた所の煉瓦に前に述べた方法で 2 本の熱電対を挿し込み、天井内面から 10 mm の所の温度を記録させた。この結果を図 22 に示す。図が示すように燃焼方向が天井温度に影響をおよぼし、変更と周期を同じくする波状の変化を示す。変更毎に起るこの波状の変動は、装入から熔解、精錬と進むにつれて少なくなるが、出鋼直前にも尚 20°C を越す。この炉の左右の燃焼状況は平衡がとれているけれども、しかも天井温度の最高となる場所は、変更の影響を受けて移動するものと考えられる。

また、別な炉で同じ測定を行つたところ、上述の波状の移動は著しく少く、熔解期には 10°C 位、精錬期には高々 5°C の変化しか現われなかつたが、それでも図 22 と似た波状の変動の傾向が僅かながら認められた。これを図 23 に示す。

更に正常操業中、通説に反して入気側の天井温度が系統的に高くなる場合さえ経験し、天井温度の最高となる位置は、個々の炉について、それも短期間しか予想できないことがわかる。

以上述べたように天井温度は普通燃焼方向によつて、平炉の長さ方向に特定の分布があり、その程度に差はあるけれども天井温度の最高点は変更と共に移動する側向がある。

従つて天井温度の検出は、唯一点、すなわち変更時に起る非対称的な変化をさけるため天井内面の中央だけを検出することよりは多点検出の方がよい。

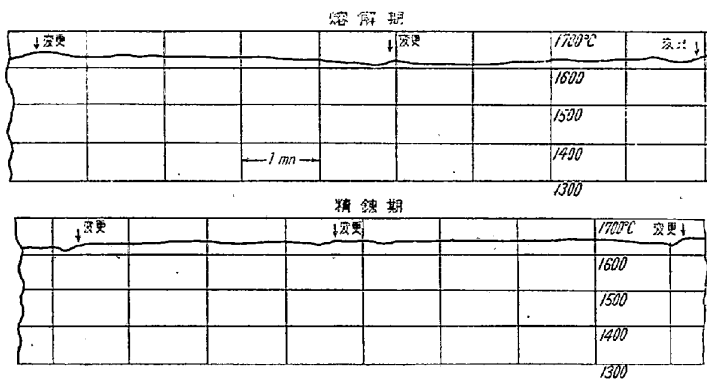


図23 熱電対による天井温度記録
天井内面より5mmの点を測定

また、この最高点の移動は完全に規則的ならば2個の輻射発信器をそれぞれの燃焼方向において、最高温度となる可能性の多い部分を覗くように取り付け、変更装置を利用して、例えば常に排気側天井温度信号を温度調節計に入れるようにすればよいが、当社の実験では、これが必ずしも規則的に行われず、従って2点又は3点の天井温度を検出し、その最高温度によつて制御する方法が合理的である。

しかし輻射発信器の数を増し、しかもこれらを如何なる炉況においても実用上十分な程度に焰や煙の影響を受けないように設置するには可成りの経験を要するし、炉自体の設計変更も必要となる。また、発信器の数は多い程安全といつても、検出信号の正確度が現在では余りよくないから、いたずらに数を増すことは無用で、当社の経験では3個を限度とし、それ以上の発信器を設ける必要はない。

b. 検出信号

輻射発信器による天井温度の記録を見ると、かなり周波数の高い信号が入っていることがわかる。この検出された信号が果して実際の天井内面温度の変化なのか、それとも焰の影響などによるノイズと見てよいものかはわからないが、たとえこれが真の天井温度の変化だとしても制御系はプロセス側のおくれ(図18参照)のためにこれを制御することは不可能である。しかし結合制御系中に入っている燃料流量制御系の設定に対する追従特性はかなり早いので(図24参照)温度調節計のゲインが高いとこのノイズまたは無数の天井温度信号によつて流量が変化し、はなはだしい時は燃焼状態が悪くなる。ところが他方天井の熔損が相当急速に進行するので、その保全のために温度調節計のゲインは相当高くする必要があり両者の妥協がむずかしい。

輻射発信器の検出信号中にどの位ノイズが含まれているかを求められれば検出信号の濾波を行うことも可能

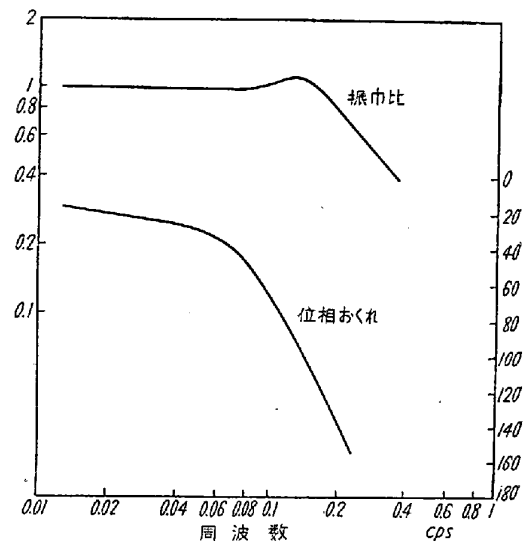


図24 重油流量の天井温度に対する追従特性

であるが現段階ではノイズの程度が判然としていない。

c. 将来の制御方式と私見

天井温度の自動制御に燃料流量を加減する方法は天井温度に対し最も支配的な因子を変えるわけであるから、直接的で一番容易であるがしかしその際炉の操業効率をある程度犠牲にしている。これが現在わが国で行われている制御方式であると前に述べたが、これに対し天井温度の最高となる位置が局所的であること、またそれが焰の性質を変えることによつてある程度調節できることがわかつている。そこで焰の性質を適当な手段で変えて局所的な天井温度の上昇を防ぐことができれば炉操業効率をあまり下げることなく天井を安全温度に保てるわけで甚だ好都合である。

そのためには、まず焰の性質の検出とその調節方法との研究が必要である。この考えは理想的であるが、種々の因子が介入してくるであろうから恐らく多変数制御など複雑な制御方式を必要とし経済性もあり相当研究の余地があると思う。この他欧米で研究されている制御方式には霧化用空気および燃焼空気量を加減したり、天井を送風冷却するなどの方法もあるようだがいずれも実現には遠いように思われる。

C. 自動変更

蓄熱室に燃焼排ガスの熱をできる限り吸収させ、燃焼に必要な空気にこの吸収した熱を与えて予熱し、火焰の温度を高めるよう変更操作を行うが、蓄熱室の切換にあつては

- (1) 蓄熱室を出る排ガスの熱損失をできるだけ少なくする。
- (2) 切換え中に不完全燃焼をする燃料を少なくし、燃料停止時間を短かくして炉温低下を防ぐ。

- (3) 予熱空気温度をできるだけ高く保つ.
- (4) 左右蓄熱室の温度の不平衡をなくす.
- (5) 蓄熱室煉瓦の許容温度以上にあげないようにする. 等の注意が必要である.

このため一般には時間と左右蓄熱室の温度差または蓄熱室最高温度で切換えを行う方法がとられている. これら各種の変更方式の比較については, 蓄熱室の保全と燃焼に対する影響とに関して, 大体次のように考えられる.

a. 蓄熱室の保全

蓄熱室の格子積には硅石煉瓦とシャモット煉瓦を多く使用している. これらの煉瓦の融点は大体 1550°C 以上とされ, 蓄熱室の正常使用温度 (900~1400°C) に十分たえる筈である. ところが, これらの煉瓦は使用中の劣化が激しく, 例えば塩基性平炉でシャモット煉瓦を蓄熱室格子積に使用したところ, 使用後融点が内部で 1450°C, 表面で 1260°C と大巾に低下していたという報告がある.

当社においても実際に温度 1300°C 程度で格子積煉瓦が焼損し始めるのを認めたことがあり, また大修理時に使用済の格子煉瓦を点検すると, しばしば表面が釉状になっている. W. Trinks によれば, 表面が熔けると反射率が増し, 煉瓦の輻射熱を吸収する能力は 10% 近く減ずるといふ. 現在の操業では煉瓦の表面が 1400°C 程度になる可能性は十分あるから, その最高温度を制限する必要がある.

また炉内の煤, 塵埃は燃焼ガスによつて運ばれ蓄熱室煉瓦の表面に附着する. W. Trinks はこの附着物の断熱効果のために煉瓦の全熱伝達率が 20% 低下するものと見積っている. このような煉瓦の劣化は当然塵埃の堆積の厚さ, すなわち燃焼ガスを通した時間の長短に関係する. 従つて左右蓄熱室の温度上昇速度が違う場合, 最高温度のみによつて変更指令を出すと変更間隔が跛になる. これがなほはだしくなると温度上昇の遅い方の蓄熱室が永く燃焼ガスにさらされて早く劣化し, しかもこれが変更の跛行を助長することがある.

当社でも炉が古くなると間々このような左右蓄熱室の不平衡を生じることを経験し, これを避けるには最高温度方式に時間変更方式を併用している.

正常操業中には蓄熱室煉瓦の温度が保全上問題になる程下ることはまずないので, 最低設定温度の指令による変更方式の必要はない.

温度差変更による時は左右蓄熱室の最高温度を直接押えることができないから, 以上の見地からは最高温度変

更に比べて不適當である.

b. 燃焼との関係

平炉の燃焼全体と関連する蓄熱室の特性を求めることとなると非常に多くの因子が入ってくるが, 現在行われている各種変更方式を比較する際には, これがいずれも空気および燃焼ガスを蓄熱室に通ずる時間のみを調節しその他の, 例えば燃焼ガスの入口温度や空気流量などはこれとは別個に規制されるから, こゝでは単に変更時間の長短と燃焼経済などの関係について述べる.

一般に変更時には燃料遮断のため炉天井温度はいちじろしく降下する. (前記B章参照) その際相当大きな熱損失があることは当然で, このための熱損失を少なくするには変更回数を少なくすることによつて 1 charge 当りの損失を少なくすることができる. 従つてこれだけを考えれば変更間隔は長い方がよい.

次に予熱空気温度を考える. 平炉のように熔解室温度が高い場合には特にこれを高く保持することが望ましい.

さて燃焼ガスの蓄熱室入口煉瓦の表面温度を変更後の時間 t に対して

$$\theta_{ob} = \theta_0 + kt \dots\dots\dots (1)$$

と考える. θ_0, k は常数とすると時間 T 後には

$$\theta_T = \theta_0 + kT \dots\dots\dots (2)$$

こゝで再び変更し空気を通す煉瓦表面温度は図 25 の

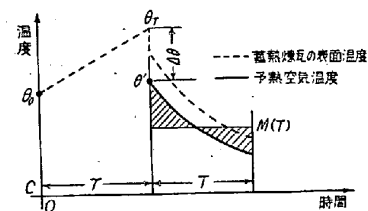


図25 予熱空気の平均温度の求め方

点線のようになる. 予熱空気の蓄熱室出口温度もこれに従つて図 25 の実線のように降下するとする. これを $\theta(t)$ とし

$$\theta(t) = (\theta' - C)e^{-\alpha t} + C \dots\dots\dots (3)$$

こゝに α, C はある常数とする. さて平炉の上昇道で吸引式高温計を用いて予熱空気の温度を測定したところ図 26 のように計器のおくれを考慮しても, 大体(3)式で近似される. すなわち α は予熱空気温度の高いところでも低いところでも大体一定とみてよく, また(3)式で $t = \infty$ のとき $\theta = 0$ とならないのは理論上おかしいけれども実際の記録に現れる限られた時間に対しこうおいた. また図 25 で $(\theta T - \theta') = \Delta\theta$ がどれほどになるかは判つていないが, 簡単のために常に一定としてお

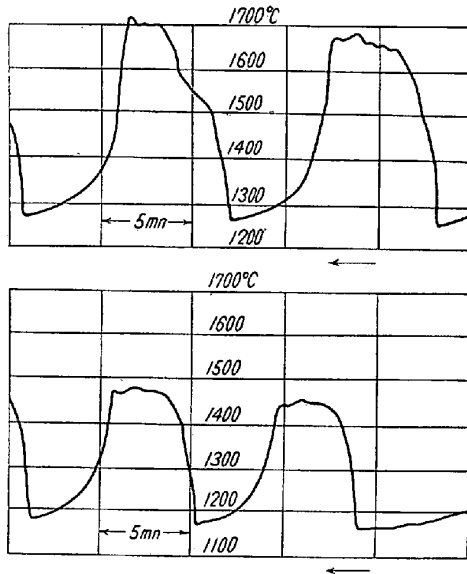


図26 吸引高温計による上昇道予熱空気温度記録例

く. すると (2) (3) 式より

$$\theta(t) = (\theta T - \Delta\theta - C)e^{-\alpha t} + C$$

$$= \{(\theta_0 - \Delta\theta - C) + kT\}e^{-\alpha t} + C \dots \dots (4)$$

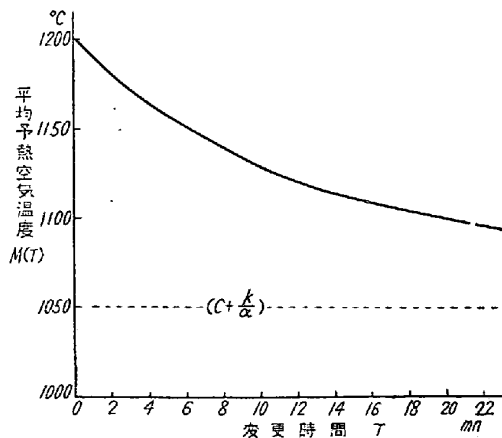
今ガスおよび空気を通す時間を等しく T とし、予熱空気のこの1変更期間における平均温度を求めれば

$$M(T) = 1/T \int_0^T \theta(t) dt$$

$$= (\theta_0 - \Delta\theta - C) + kT/T \int_0^T e^{-\alpha t} dt + C/T \int_0^T dt$$

$$= (\theta_0 - \Delta\theta - C) + kT/T\alpha(1 - e^{-\alpha T}) + C \dots (5)$$

(5) 式に実際的な数値を入れてプロットすれば図27のようになり、変更間隔を増すと予熱空気の平均温度は低くなることが判る。従つてこの点から見れば変更間隔は短かい方がよい。



$\theta_0 - \Delta\theta = 1200^\circ\text{C}$, $k = 10^\circ\text{C}/\text{mn}$,
 $\alpha = 0.2 \text{mn}^{-1}$, $C = 1000^\circ\text{C}$

図27 変更間隔と平均予熱空気温度の関係

以上の他に予熱空気の温度が変わると焰の特性が変わる。

結局諸要素を適当に折り合せたところに最適変更間隔が存在する。

以上より熱経済的には個々の炉について、その構造と操業条件から定まるある最適変更間隔が存在し、その値からむやみに逸れることは許されないし、他方その付近で多少間隔を変えてもそれほど大きな差はないであろう。

W. Trinks もそのような見解を述べている。従つて温度差、最高温度、時間変更などの変更方式の相違が熱経済におよぼす影響がそれほど大きいものではないことが判る。

以上述べた事柄を要約すれば次のようになる。

各種の変更方式を比較するのに、まず蓄熱室の保全という見地からすると

- (1) 蓄熱煉瓦の温度を許容限度に押えること。これには最高温度方式が直接的である。
- (2) 左右蓄熱室に時間的および温度的な不平衡を生じないようにすること。

この時間的な平衡はもちろん時間変更によつて最も正確に保持される。温度的な平衡については色々と考え方があろう。

次に熱経済の点から言えば、元来個々の炉について適当な変更間隔があつて、これがはなはだしく逸れることは実際上不可能で、その限られた範囲で変更方式の相違がどれほど影響するかは疑問である。

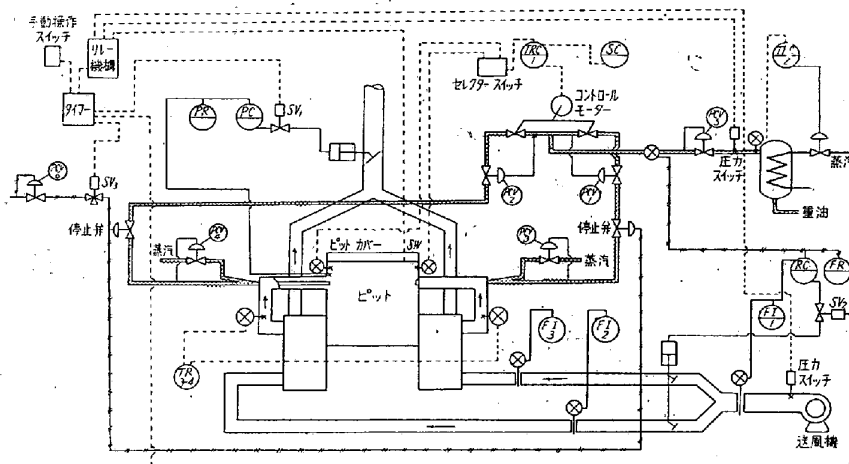
結局現状では検出部に大きな改革のない限り、最高温度と時間変更の併用が正統的ではないかと思う。但し、設定の巧拙によつて変更方式の相違を上回る差が現われることは十分考えられる。

欧米では時間変更が多く採用されていた。

IV. 均熱炉のオートメーション

近時わが国における均熱炉は米国の AMCO および LOFTUS 式のものが多く、またそのほとんどが米国のそれと同方式の自動制御装置を採用している。図 28 に AMCO 式上部二方向燃焼換熱式均熱炉の計装を示す。計装の要点は

- (1) 炉内温度を熱電対で検出し、調節計により重油調節弁を操作して制御する。また調節計のインデックスを加熱速度調節計で駆動し、炉内温度上昇速度を調節する。
- (2) 重油温度を霧化に適した値に制御する。
- (3) 重油一空気比率調節計に重油および燃焼空気の流量信号を与え、空気流量を加減して両者の比率を一定



均熱炉の計装仕様

TRC—1	炉内温度記録調節計	電気式	PI動作	PR熱電対
TRC—2	重油温度記録調節計	空気式	PI〃	IC熱電対
TR—3~4	予熱空気温度記録計			CA熱電対
SC	加熱速度調節計	電気式		
PC	炉内圧力調節計	油圧式	I動作	隔膜
PR	炉内圧力記録計			環状天秤
FR	重油流量記録計			〃
FI—I	主管空気流量指示計			隔膜
FI—2・3	枝管空気流量指示計			環状天秤
RC	重油—空気比率調節計	油圧式	I動作	隔膜
PCV—1・2	重油圧力調節弁			
PCV—3・4	重油—蒸気圧力比率調節弁			
SV—1・2	電磁弁			
SV—3	三方電磁弁			
SW	スイッチ			
	セレクター			

重油流量調節弁前後の圧力差を自力調節
バーナー前重油蒸気圧力比を自力調節
パージ中両バタフライ弁を全開させる
空気作動重油停止弁を操作
ピットカバーの上下により作動
2本の熱電対の一方または両者の平均を選択

図28 均熱炉の計装

に保つ。

(4) 炉内圧力を検出し、調節計により煙道バタフライ弁を操作して制御する。

(5) 重油と霧化蒸気の圧力比を、自力調節弁で調節する。

(6) 燃焼空気または重油の圧力が低下すると、圧力スイッチが働き、またピットカバーを上げると接点が出て、ともにリレーを介して停止弁により重油の供給を遮断する。

(7) 一旦燃焼を停止し、再び燃焼しはじめるときはあらかじめ自動的に煙道バタフライ弁と、空気流量調節弁を全開し、炉内をパージする。パージの時間はタイマーで調節する。

V. 加熱炉のオートメーション

加熱炉の種類はきわて多く、連続式のもの、バッチ式のもの、さらに加熱方式によつて各種にわけられる。これらに使用される自動制御は、炉の大きさ、燃料の種類鋼種、要求される加熱温度の範囲、精度などによつて種々の方式のものが採用されている。いずれにしても、

(1) 鋼材を圧延に適した温度に均一に加熱すること。

(2) 燃料の節約をはかること。

(3) スケールの生成を防止すること。

(4) 表面脱炭の防止

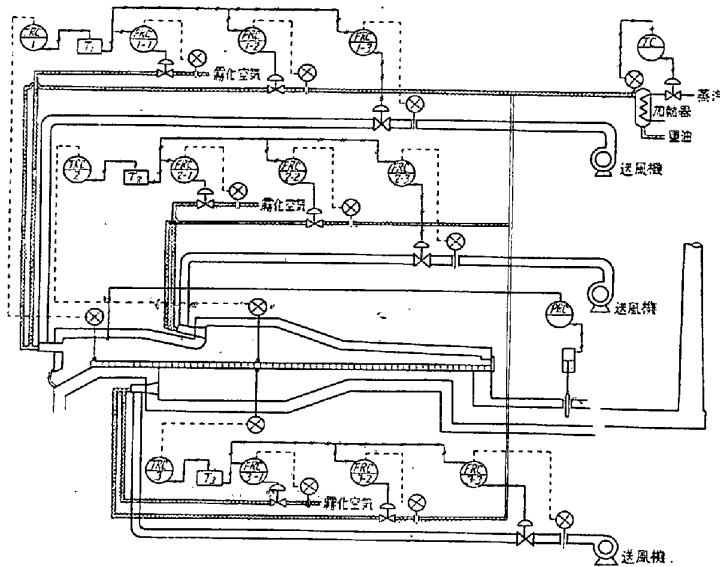
等の加熱炉操業に際しての命題を自動的に行うものである。

図29に重油焚三帯式鋼材連続加熱炉の計装の一例を示す。この炉の計装の要点は

(1) 均熱帯、加熱帯上下の各温度を輻射発信器で検出し、空気リレーを介して、重油、霧化用空気、燃焼空気、流量調節計に与え、各調節計により調節弁を操作して制御する。空気リレーは、温度調節計制御圧の上昇に対し各流量調節計インデックス下降(100~0%)するよう作動する。またハンドルにより温度調節計制御圧に対し流量調節計インデックスの関係位置を変化できる。

(2) 重油温度を霧化に適した値に制御する。

(3) 炉内圧力を検出し、調節計により煙道ダンパーを操作し制御する。



三带式連続加熱炉の計装仕様

TRC—1~3	鋼材温度記録調節計	空気式	P I 動作	輻射発信器
TC	重油温度調節計			自力調節器
FRC—1—1	雾化用空気流量記録調節計	空気式	P I 動作	U字管浮子式
FRC—2—1	〃	〃	〃	〃
FRC—3—1	〃	〃	〃	〃
FRC—1—2	重油流量記録調節計	〃	〃	面積式
FRC—2—2	〃	〃	〃	〃
FRC—3—2	〃	〃	〃	〃
FRC—1—3	燃焼用空気流量記録調節計	〃	〃	単鐘式
FRC—2—3	〃	〃	〃	〃
FRC—3—3	〃	〃	〃	〃
PRC	炉内圧力記録調節計	〃	〃	〃
T ₁ ~3	エヤリレー	〃	〃	〃

図29 三带式連続加熱炉の計装

図 30 に示すものは独乙 THERMO-INDUSTRIE-OFENBAU. G.M.B.H の設計になる加熱炉で、制御装置は電気式を採用している。この種加熱炉および電気式自動制御装置はわが国では神戸製鋼所にあるだけで、計装の要点は

(1) 重油供給本管および還流管に挿入した2箇の容積式発信器により全重油使用量を測定する。流量発信器は流量を積算すると共に内蔵の小型交流発電機により発生する起電力をセレン整流器で直流とし、2箇の発信器よりの直流電圧を極性を逆にして並列に接続し兩者の差により重油使用量を記録する。

(2) 各部炉内温度を双素子熱電対で検出し、一つは温度を記録し、一つは各温度調節計に与え、調節計により燃焼空気流量調節計弁を操作して流量を制御する。

燃焼空気流量は管路に挿入されたオリフイスにより検出し、流量指示計で計測する。指示計に内蔵された2箇の摺動抵抗器により、一つは電気式流量指示計に、一つは重油—空気比率調節計に信号を与え、調節計によりボッシュ、ポンプの回転を調節し、重油流量を制御する。

重油流量はボッシュ、ポンプに直結された直流発電機

の電流を測定し、電気式流量計で指示する。

炉内温度検出用の熱電対は、冷接点補償係により-10~+70°Cの温度範囲内で冷接点温度を補償する。

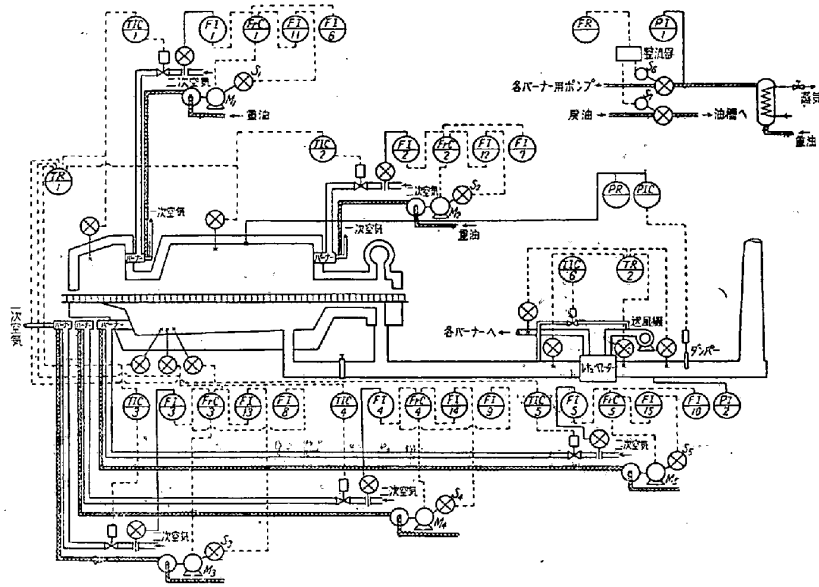
(3) 炉内圧を検出し、調節計により煙道ダンパーを制御する。炉内圧力は別に記録する。

(4) レキューペレーター前の煙道ガスを、双素子熱電対にて検出し、一つは温度を記録させ、一つは温度調節計に与え、煙道冷風挿入調節計弁を操作して、レキューペレーター保護をかね燃焼空気予熱温度を制御する。

今回の視察で米国の COLORADO FUEL & IRON CORPORATION Pueblo plant で回転炉床式加熱炉(ドーナツ型)を見学したが、この炉はワイヤーおよびレール用鋼片を加熱するもので、鋼片を炉内に挿入し、加熱して炉外へ引出す一連の操作が自動的に行われる装置である。唯1人の操炉者によつて順調に操業が行われていた。これは米国式の操業機械化の代表的なものと感ぜられた。

VI. 圧延関係のオートメーション

鉄鋼業の中で、オートメーションの最も進歩したのは



連続加熱炉 (THERMO-OFEN) の計装仕様

FR	重油流量記録計	可動線輪型
PI-1	重油圧力指示計	ブルドン管式
TIC-1-5	炉内温度指示調節計	熱電対
TIC-6	レキュペレーター入口温度指示調節計	〃
FI-1-5	二次空気流量指示計 (摺動抵抗器2ヶ付)	環状天秤式
FI-6-10	二次空気流量指示計	交叉線輪型
FI-11-15	重油流量指示計	可動線輪型
TR-1-2	温度記録計	〃
PR	炉内圧力記録計	環状天秤式
PIC	炉内圧力指示調節計	ダイヤフラム
PI-2	煙道吸引力指示計	ダイヤフラム
M1-5	Oil-Rationing-Pump 用 Motor	直流発電機
S1-5	回転計	交流発電機
S6-7	回転計	

図 30 連続加熱炉 (THERMO) の計装

圧延関係といえる。それは全工程が機械作業や材料取扱い装置によるもので、連続的な流れ作業が主であるため機械を能率よく制御するように設計ができ、制御に都合のよいように装置を選定できるからである。

近代化された圧延設備では電力、水、油、蒸気などの使用をより有効に制御したり、スピード化された作業に対しての品質管理のため、圧延温度の制御、圧延鋼材の厚みの制御、連続剪断機の速度および寸法調整の制御等々数多くの自動制御や遠隔操作が採用されている。

これらについては多くの文献があるのでここでは省略するが、今後圧延設備の新鋭化と共に益々発達することであろう。

VII. 結 言

鉄鋼業における二、三の代表的窯炉のオートメーションについて述べたが、その効果についてはふれなかつた。自動制御の効果は、最終的には操業の効率という点から考慮されるべきなのは当然である。しかしその効果

を量的に表現することははなはだ困難なことである。

自動制御の使命は、多数の因子に支配されるプロセスの状態をできるだけ広い範囲にわたって一定化することにある。複雑なプロセス操業において、ある特定の因子が操業におよぼす影響を求めるとは、他の考えられる因子をできるだけ一定にして、問題の因子だけを変えてみるのが効果的であるが、正常操業を行ないつゝプロセスに関するこの種の実験を行えることは自動制御の大きな力である。これによつてプラント操業の改善、あるいは最適条件を求めることが、自動制御装置を取付けた後の大きな課題である。欧米のように深い技術的な洞察力と豊富な経験をもつユーザー、コンサルタント、メーカーの三者によつて計画される自動化に対抗するためには、われわれは制御工学の基礎的研究を行ない将来ますますオートメーションを推進し、鉄鋼技術の向上をはかるよう努力すべきである。

本稿が自動制御の発展に努力されているかたがたの何等かのお役に立てば幸甚である。(昭和32年9月寄稿)

文 献

- 1) A. W. Robinson. John Mohr & Sons. Instruments & Automation Vol. 28. p. 266~269
- 2) Walter Looz. Stahl und Eisen. H 22. Okt. 1952 p. 1325~1328
- 3) A. Schack Der industrielle Wärmeübergang, Stahl und Eisen 1948. p. 264
- 4) H. Hausen Arch. fürs Eisenhüttenwesen. 12 Jahrg. April 1939. p. 477
- 5) 吉木文平: 耐火物工学, 昭. 28
- 6) T. Swinden. J. H. Chesters. Jour. Soc. Glass Tech 20. 1936. p. 574
- 7) W. Trinks: 工業用加熱炉, コロナ社
- 8) A. Schack: 応用伝熱, コロナ社.
- 9) R. S. Sosman: 平炉の温度 AIME. New York Meeting. 1948
- 10) The Iron and Steel Institute. Special Report No. 37. 1946
- 11) J. H. Cook. A. H. Leckie. Jour Iron and Steel Institute Vol. 160
- 12) 岡, 野田: 計測, Vol. 4 No. 8 1954. p. 406
- 13) T. Land. Jour I.S.I. Vol. 155. 1947
- 14) T. Land and R. Barber Transactions of the Society of Instrument Technology Vol. 6 No. 3, 1954
- 15) H. M. James. N. B. Nichols. R. S. Philips. Theory of Servomechanisms. 1947
- 16) R. C. Oldenbourg and H. Sartorius. The Dynamics of Automatic controls 1948
- 17) E. Rogers. Journal of the Iron and Steel Institute. Vol. 160 Part 1 1948
Open Heath Instrumentation.

正 誤

昭和 32 年 12 月号掲載, 本題第 1 報

頁	行	誤	正
1334右	下から20	(5) 炉にあたえる熱風の温度	(5) 炉にたあえる熱風の湿度
1339左	上から9	自作制御	自動制御