

# 共同研究会報告講演

## 計測部会報告

### 最近の計測制御技術\*

桂 寛 一 郎\*\*・磯 部 孝\*\*\*

#### Recent Development of Measurement and Control Techniques.

Kanichiro KATSURA and Takashi ISOBE

#### 1. 緒 言

計測部会の活動状況については、昭和36年4月の本会の講演大会で報告を行なったが、再び機会を得たので、その後3年間の活動の経過を報告するとともに、あわせて計測や制御技術の発展の概況、最近の話題などについて述べたい。

#### 2. 計測部会活動の経過

計測部会は昭和30年鉄鋼技術共同研究会の設立と同時に、熱経済技術部会の一分科会として発足したが、計測制御技術の急速な発展にともない、その研究の充実、分野拡大の要請から、昭和35年にいたり熱経済技術部会から分離して、独立の部会となった。そして昭和34年発足した秤量小委員会は、秤量分科会と名を改めて計測部会に所属することになった。昨年鉄鋼協会の傘下に入り、鉄鋼協会共同研究会となってからも、計測部会、秤量分科会はそのまま存続し、年3回ひらかれる例会を主体にして活動をつづけ今日にいたっている。

この間計測部会は27回開催され、各委員から提出された研究発表資料は657編におよんでいる。また各事業所のご厚意による見学は17回をかぞえている。

最近3年間における計測部会の開催状況は第1表のとおりである。またこの間とりあげてきた議題について以下に簡単に述べる。

##### 2.1 高炉および高炉付帯設備の計測制御

この議題は、ここ数年間計測部会の中心議題となってきた感がある。各社の高炉が近代化されるにしたがっていろいろな新しい計測設備や自動制御が採用されるようになったが、これらは計測部会にもかすかすの問題を提起し、議論を呼んだ。そのおもなものをあげるとつぎのようになる。

第1表 計測部会開催状況

回	期 日	場 所	出席者	資料数
18	36・2・24~25	川 鉄 葺 合	62	21
19	36・6・9~10	鉄 連	62	20
20	36・10・6~7	住 金 和 歌 山	67	38
21	37・2・6~7	鋼 管 鶴 見	63	30
22	37・7・12~13	尼 崎 製 鉄	69	47
23	37・10・1~2	鉄 連	53	19
24	38・2・28~3.1	八 幡 八 幡	72	22
25	38・7・2~3	鉄 連	72	21
26	38・11・1~2	中 山 製 鋼	70	16
27	39・2・25~26	鉄 連	57	17

第2表 高炉の計測制御とりまとめ状況

題 名	執筆担当	鉄と鋼への掲載
送風湿度の制御	鋼管	S37年12月号
熱風炉の自動制御と自動切換	川鉄	S39年5月号の予定
高炉炉頂ガス分析計	富士	未定
溶銑(滓)温度の測定	八幡	未定

- (a) 高炉の新しい計装方法
- (b) 送風湿度の自動制御、酸素富加、燃料吹込など送風管理に関する計測制御の問題
- (c) 炉頂ガス成分の連続分析
- (d) 炉内装入レベルや炉壁侵食状況の計測
- (e) 溶銑、溶滓温度の測定
- (f) 熱風炉の自動制御および自動切換の問題

数多い提出資料は、高炉の計測制御の名称で、各社分担任してとりまとめ執筆しなおし、第2表のような分冊のかたちで刊行配布している。

高炉のほかに近年ますます重要さを増し、計測の面で

\* 昭和39年4月5日本会第67回講演大会にて講演  
昭和39年5月7日受付

\*\* 計測部会部会長

\*\*\* 計測部会副部会長

もいちじるしく充実してきた焼結設備や、燃料カロリー制御など新しい計測制御を採り入れつつある。コークス炉などについても、提出資料が少なくない。

## 2.2 製鋼関係の計測制御

高炉が議題になるまでの計測部会では、製鋼関係の計測の問題は、中心議題であったといえる。その活動を集約して昭和34年に、**平炉の自動制御**を刊行した。その後しばらくは議題からはずし、ブランクになっていたが、委員からの希望もあって、昨年製鋼関係の計測制御は再び議題として復活したのである。

この間に製鋼法自体も、酸素製鋼へとくに転炉へと大きく転換した。計測制御の問題もこれにしたがって大きく変化したわけであるから、今後の計測部会では話題をにぎわすことになると思われるが、現状ではまだ提出資料数編をかぞえたばかりであるので、とくにとりまとめて報告するようなものはない。

## 2.3 集中管理

高炉や平炉の計測器類を管理室のパネルの上を集めて集中管理することは、すでに10年以上まえから徐々にすすめられてきたことである。しかしこの数年の間の集中管理技術の進歩は目覚ましいもので、電力、ガスなどのエネルギー・センターや給水、秤量などの管理センターなど、規模も機構も大きく複雑なものが出現し、技術的にもテレメータリングやデジタル技術が発達し、自動的なデータ処理から、やがて電子計算機による計算制御（コンピューター・コントロール）にまで発展しつつある。

集中管理という議題は、計測部会としてこのような前向きの計測技術を鋭意研究しようとする意図のもとに、数年来とりあげてきたものである。

## 2.4 管理上重要な計測

現在の工業計測の技術は、歴史的には取引証明、受払の計測や、熱管理のための測定を母体にして発達してきたともいえるが、今日ではその範囲を拡大し、冶金管理、品質管理など一般管理面へひろく進出した。そして一般管理上の要求から、新しい計測技術が芽生え、開発されるようになってきている。

この議題は、これら管理上重要となってきた各種計測の問題点の研究、新しい技術の紹介などを扱っており、いろいろな分野をとりあげた研究資料が多く提供されている。

## 2.5 熱処理炉の計測制御

前述のように計測制御の技術は、その分野をひろめてきたが、加熱炉の計測制御はその発展の基礎になったものであって、委員間の関心が高く、なお部会における話

題の花形の地位を失っていない。圧延の鋼片加熱炉、均熱炉なども含めて熱処理炉の新しい計測設備、自動制御の適用、実際運転上の問題の改善などを扱っている。

## 2.6 計測制御上の問題点

計測制御技術は進歩がはやいので、計測部会での論議もとかく新しいもの、将来のものをとりあげることが多い。しかし、現場実用上の問題の解決も決してなおざりにできない。この議題を設定した意図は、現場が実際に困っている問題を扱い、共同の力で解明し役立てようとするもので、主なものについては、各社にアンケートを配って実情を調査し、これをまとめて解決の途をひらくことを試みている。

- (a) 熱風炉炉頂温度測定の問題
- (b) 高炉側壁温度測定の問題
- (c) 輻射温度計による鋼片加熱炉炉内温度測定の問題

がこれまでに行ったものである。

## 2.7 データ処理、計算制御などに関する資料、実例

計測部会には、鉄鋼各社のほかに計測器メーカーからの委員12名が参加している。データ処理や計算制御というような新しい技術について、これらのメーカー側で集めた情報や実施経験を提供してもらう意味で、この議題をとりあげている。現在は毎回どこか一社を指定して30分間の講演をしてもらっている。

## 2.8 その他

これまでに述べたいずれの議題にも属さないが、重要と思われる研究報告や資料を扱うために、この議題をもうけてきた。

秤量分科会は、鉄鋼工場にとって秤量の充実が大切な課題であるという見地からとくに組織され、計測部会と同様年3回の例会をひらいて、現在14回を重ねてきている。第3表に示す議題をかかげ、各社の実状についての情報交流、調査とりまとめを行ない、次第に意欲的な研究、討論を行なうようになってきた。その活動については、前回の講演会で主査から報告しているので、詳細は割愛する。

第3表 秤量分科会議題

- |     |              |
|-----|--------------|
| (1) | 原料荷あげの秤量     |
| (2) | 製鉄関係の秤量      |
| (3) | 製鋼関係の秤量      |
| (4) | 圧延関係の秤量      |
| (5) | 秤量に関する改善研究   |
| (6) | 電子管計重機について   |
| (7) | 秤量機の検査保全について |
| (8) | その他          |

計測部会の活動状況はおよそ以上のとおりであるが、そのなかからいくつかの話題をえらび、つぎに解説することにしたい。

### 3. 高炉の計測制御

高炉技術の進展にともなって、設備と操業より精密で確実な管理と制御が要求されるとともに、管理面でも集中化、自動化などの合理化が推進されてきた。

10数年まえまでの高炉は、送風圧力計、流量計、温度計、炉頂圧力計、それに(ストックライン・レベル)の検尺計、鉍石切出しの秤量器くらいの計器類で操業を行っていた。それが次第に数を増し、高級化し、どの高炉も管理室を設け、そのなかに計器盤をたてて、これらの計測器類を集めて監視するようになった。自動記録計をふくむ数十台の計測器をならべて、集中的に管理する時代にたわわである。

そして、送風流量制御、送風温度制御などの自動制御の導入がはじまり、約 10 年の間に、炉頂圧力の制御、送風湿度の制御、酸素富加の制御、重油吹込の制御、原料の自動配合、自動装入、熱風炉の燃焼制御、自動切換など、自動制御化、オートメーション化は驚くほど進歩した。

近年になると、デジタル技術の発達を反映してうまれたデータ・ロガーは、計器からの計測値の読取りを自動化し、自動タイプライターに記録させ、しかも管理限界を越えたものがあれば、自動的に警報を出すという働きをするようになった。こうして、ズラリと計測器をならべた計器盤も変貌し、その多くは自動タイプライターによるデータのロギングに集約されてゆく傾向にある。データ・ロガーは機能や構造上電子計算機に似たものであり、電子計算機による計算制御(コンピューターコントロール)も、やがて華やかに登場すべく、研究が重ねられている現状である。

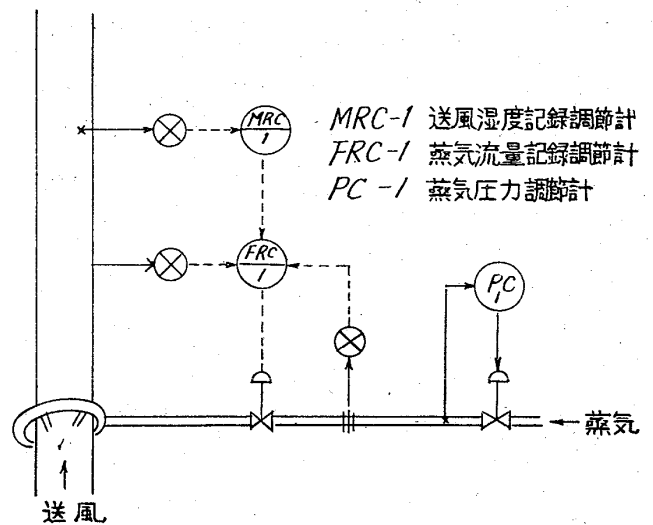
こうして高炉の計測制御の発展はとどまるところを知らないが、主要なものについてももう少し具体的な説明をすることにしよう。

#### 3.1 送風の管理

高炉への送風の管理は炉の操業安定のために最も大切なものである。送風温度制御および送風流量制御のほか送風湿度制御が行なわれるようになり、さらに重油吹込制御、酸素富加制御なども行なわれるようになったことは前述のとおりである。

##### 3.1.1 送風湿度制御

大気中の水分は季節によって、5~30 g/Nm<sup>3</sup>と大幅に変動するため高炉々内における湿分による吸熱反応の度



第 1 図 送風湿度制御装置

合いが変化し、炉況が変動する。したがって送風管に蒸気を吹込み湿度を最適値に保持しようとする自動制御でその典型的な制御系を第 1 図に示す。

制御方式としては、半数以上がこのように湿度計で送風空気の湿度を測定し、その結果にもとづいて送風管中に水蒸気を適当な量だけ添加するいわゆるカスケード制御であるが、約 3 割は湿度調節計からの信号で直接蒸気流量調節弁を動作させる制御方式である。

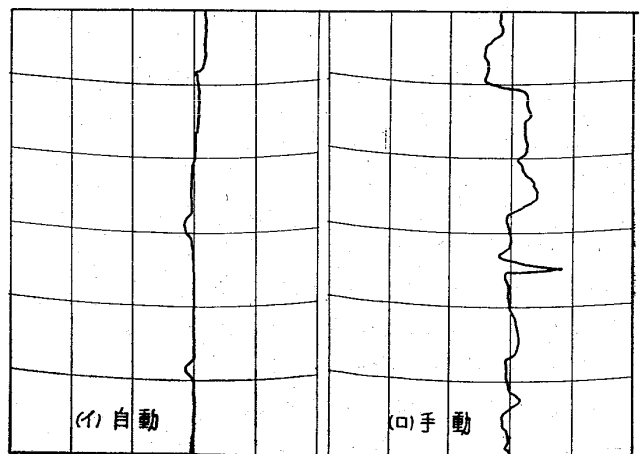
数年前より国内各社はいっせいに本格的装置を設備し現在約 9 割の高炉はこの制御を行なっている。

なお自動制御の効果のあらわれとして、第 2 図に自動および手動時の湿度計の記録を示す。

##### 3.1.2 重油吹込制御

高炉への重油吹込は

- i) コークス比の低下
- ii) 羽口先の吸熱反応利用による高温送風の可能化
- iii) 分解した H<sub>2</sub> による炉況の改善



第 2 図 湿度計の記録

などの効果があり、昭和 36 年頃より各高炉において重油吹込装置を持つようになり、現在約 9 割に達している。計装々置としては、能率的な安全な操業を目的とした制御装置を設置する方向に向っていることは当然であって、

- (1) 重油温度制御装置
- (2) 重油流量と送風流量との比率制御
- (3) 重油、送風供給源の各圧力が限界値を越えた場合および停電時に全系統を遮断し蒸気パーズを行なう緊急遮断装置

などが一般化して来た設備である。現在は各羽口ごとの重油吹込量の配分制御が炉内条件を均一に保ち高炉プロセスの定量的解析を行なうために、必要と考えられ、重油本管と各重油支管との比率制御、各羽口送風流量を把握して各支管の重油流量を調節するなど支管流量の配分が主として検討されている

### 3-1-3 酸素富加制御

送風空气中に酸素を吹込む酸素富加操業は湿度制御を併用し、出銑量増加などの手段として用いられるようになった。

制御としては送風流量との比率制御が普通行なわれている。

### 3-2 炉頂ガス分析

高炉の安定な操業のためには、各種のマイナー・ループ自動制御と装入原料の予備処理が、外乱を小さくするという点できわめて重要であるが、一方、避けることのできない外乱に対して速やかに対処するための、炉況の迅速な評価、さらにそれにもとづくフィード・バック制御の効果は非常に大きいであろう。しかるに、高炉内部におけるプロセスの状態はほとんど測定できないので、高炉から出てくる溶銑、溶滓、炉頂ガス、ダストの状態からこれを推察せねばならぬ事情にある。

この中で、炉況の速やかな評価に最も結びつけやすい対象は炉頂ガスである。炉頂ガスの温度および湿度は装入物水分の変動の影響を大きく受けるし炉頂ガスの成分すなわち  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、炭化水素の濃度は炉況を推定するための測度としてすぐれた特長を有する。(第 4 表に炉頂ガス成分の代表的な値を示す)。

i) 高炉内のガスの流速は、毎秒数  $m$  であり、ガス化した物質の炉内滞留時間は秒のオーダーであって、予想される炉況の変化にくらべては、遅れが無視できる。

ii) 特に、 $\text{CO}$  と  $\text{CO}_2$  は、 $\text{C}$  と  $\text{O}$  のバランスにより炉内の還元の様子を直接計算するための主要な変数である。

iii)  $\text{H}_2$  は、補助燃料吹込の効果、事故による炉内へ

第 4 表 炉頂ガスの成分例

$\text{CO}$	25.0%
$\text{CO}_2$	17.0%
$\text{H}_2$	3.8%
$\text{CH}_4$	0.2%
$\text{N}_2$	54.0%

の漏水を知るための重要な変数である。

この意味で炉頂ガスの成分分析は非常に重要なものになっている。

ガス分析装置としては、従来からよくつかわれるヘンベル、オルザット型の化学式分析計にはじまり、連続式の分析計に移行しつつある。

(1)熱伝導式、(2)吸収式、(3)密度式、(4)赤外線式、(5)ガスクロマトグラフ

などがあげられ、検討されているが、まだ実用上のいろいろな問題が残されている状態であるといえる。

### 3-3 炉体関係の計測

高炉炉体まわりの計測としては従来から炉体、炉底の各点の温度測定が行なわれていた。炉体、炉底の温度測定の目的は主に炉体保全にあるが、最近になって直接炉体の侵食状況を測定するためラジオ・アイソトープ ( $\text{R I}$ ) を用いることが行なわれている。主にコバルト 60 を炉体煉瓦中に埋めこみ、外部からカウントの有無を測定して、煉瓦が  $\text{R I}$  埋めこみの位置まで侵食されたか否かを判定する方法で、現在多くの高炉に採用されている。

高炉炉内装入物の形状を測定するための試みもいくつか行なわれ、超音波、赤外線などを用いる方法があげられているが、まだ実用化の域には達していないようである。

炉頂圧力を  $0.5 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$  まで高めて操業するいわゆる高圧操業はアメリカ、ソ連などで発展した。炉内のガス圧力を高めることにより、反応に与るガス量を増加させ、ガス速度を相対的に小さくすることにより、炉内の燃焼、反応を進行させ安定化をはかるもので、日本でも 2、3 の高炉にすでに採用され、今後さらに増加するものと思われる。高圧操業に伴う制御装置としては、炉頂圧力を調節するためのセプタム弁制御、大小ベルの開閉を円滑化するためのレリーフ弁、イコライザ弁の開閉、集塵器の水封制御などであり、高温、ダストなどの苛酷な使用条件の下で確実に作動することが要求されている。

高炉はそのプロセスの性質上、直接に炉内状況のデー

ターを取ることは困難である。そのため出銑(滓)の際の溶銑(滓)の温度は炉内温度ないしは炉熱をあらわすものとして、操業上あるいは反応解析のための因子として重視されて来ている。溶銑温度の測定には浸漬型熱電対によるものと、輻射、光電管などの発信器を用いる非接触型と、大別して二つの方法がある。従来多く用いられている光高温計は、個人誤差の影響、輻等率、雰囲気などの変動により、精度が低いため、スポットチェックにしか用いられていない。精度のよい測定として現在多く用いられているのは浸漬型熱電対(イマージョンサーモカップル)であるが、その測定は連続的でない。連続測定を行なうためには特殊磁製保護管を必要とし、整備、保守の面で研究がつけられている。これに対して輻射、光電管などの発信器を用いた非接触型は連続測定が可能であり、保守が簡単であるなどの利点があるのでかなり用いられている。しかしながら輻射率の変化に対する補正が必要であり、しかも溶銑の輻射率は同一出銑時間内に変動するため、熱電対に比して精度は悪い。

溶銑温度と炉況あるいは出銑成分との関係についての解析もかなり進んでおり、特に銑鉄中 Si と溶銑温度との関係式もいくつか提出されている。その他間接測定の場合、どの時刻における測定値をその出銑の代表値とするかについても問題が残っている。溶銑温度については今後の研究にまかされているといえよう。

3.4 熱風炉の計測制御

わが国で使用している熱風炉の型式は、ほとんどカウパー式であり、そのプロセスはバッチ式向流熱交換器である。そのため、高炉1基に対し、熱風炉は2ないし3基を有し、それぞれの炉が燃焼、加熱を一連の順序をもって操作されている。これらの操業に対し、効率の向上、操作の自動化をめざし、各社とも最近燃焼の自動制御と自動切替装置を備えるようになった。

3.4.1 燃焼の自動制御

i) 炉頂温度制御 この制御は、あたらしく計装を行なった熱風炉には全て実施されているといえるほどで炉

頂煉瓦の保護と許容最大限の高温を得るという立場から必要とされるものである。測定は炉頂煉瓦に熱電対を挿入して行ない、この温度が設定値以上になった時に、燃料を減少させるか、過剰空気を増加させるかのいずれかにより炉頂の設定値を維持させる。

ii) 燃料-空気比率制御 これは最適な燃焼状況を得て、燃料原単位の低減をはかるために、燃料と燃焼空気の比率制御を行なうことと、さらに炉頂温度制御とカスケードさせて過剰空気率を調節するものである。また燃料であるBガスの流量制御は、炉頂温度にカスケードさせるもののほかに一定流量に設定するもの、調節弁の遠隔手動制御させるものを採用しているところも多い。

3.4.2 熱風炉の自動切換

i) 自動化の型式としては

a) 熱風炉の熱風出口温度、排ガス温度を予め設定しこれよりの指令により切換操作を全部自動的に行なうもの。

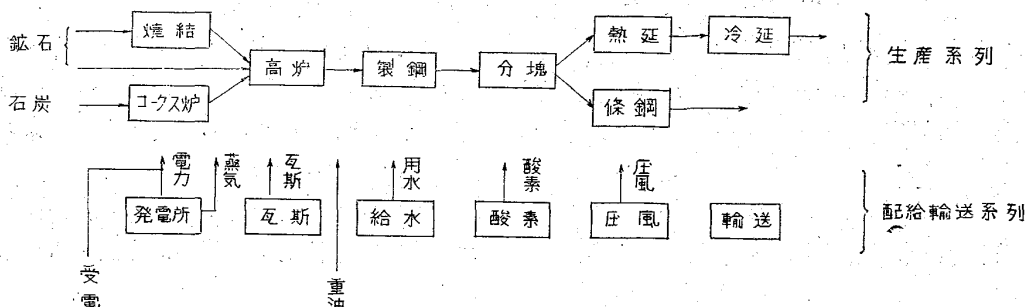
b) 燃焼、送風休止のいずれかの指令をスイッチで与え以後の切換操作を全部自動的に行なうもの。

c) 各切換弁を個々に遠隔操作で切換えるもの。などがあり、装置としてはこれらのいくつかの組合せとなっている。要は、2基または3基の熱風炉の切替操作が、自動的に一連の定められたシーケンスにより、短時間で行なわれるのである。

4. 集中管理

戦後の鉄鋼業の合理化の方向は、設備の大量生産化、高速化、連続化に向けられており、各設備は著しく巨大化の傾向をたどっている。これに伴ないこの巨大設備を小人数で運転して行くための集中化の要求が著しく増大し、集中管理運転が広く採用されるようになった。

これを大別すると、製銑、製鋼など個々の設備集中管理運転と電力、燃料、酸素などの配給管理の集中化の2つに分けられる(第3図参照)。前者の目的は巨大な設備を従来のように巡回点検するのでは、人員も要するばかり



第3図 一貫製鉄所ブロックシート

りか、危険もともなうので、一個所に主要変数の表示を集中し、状況判定を容易にすると同時に、運転出来るようにし、運転員の節減をはかるものである。後者の目的は、各工場に送られる原燃料の供給を均衡に保ち、出来るだけ損失を減じ、かつ事故に速急に対処出来るよう、諸データーを中央に集中し、配給を合理化するとともに従来巡回により管理していた人員を節減することである。

わが国では、原燃料を海外に依存している関係で、エネルギーコストが高く、製鉄所内発生ガスの合理的配給に対しては戦前から関心ははられており、ガスセンターなども作られていた。しかしながら、各製鉄所では本格的に取上げられるようになったのは、戦後のことである。近代的なガスセンターが作られたのは、昭和 28 年川鉄千葉工場が最初で、その後新設された一貫工場では本格的な集中化が採用されるようになった。最近新設されるものはデーターロガー、電子計算機を使用し、データーの集約をはかるとともに、単にガス配給だけでなく使用エネルギー全般にわたるエネルギーセンターが設置されるようになった。以下これらの集中管理に関する進歩について述べることにする。

#### 4.1 生産工場別集中管理

##### 4.1.1 焼結工場

新設の DL 式焼結機のほとんどは原料の切出輸送は自動切出遠隔操作が採用されており、これらの操作は写真 1 の例に示すごとく、中央管理室で操作出来るようになっている。自動起動、緊急停止およびサンプル値制御のホッパーレベル制御、あるいは原料水分制御も取付けられており、運転員は従来の GW 式などに比べると著しく減少している。

##### 4.1.2 高炉

高炉における集中化は、原料切出および捲上げ、高炉送風機、熱風炉、ガス洗浄に分散しており、かなりの人

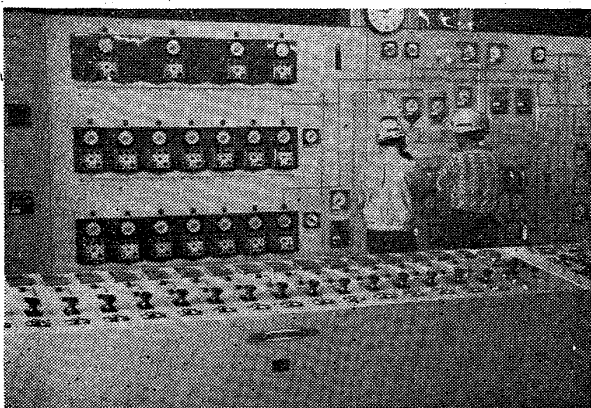


写真1 富士製鉄室蘭第4焼結中央管理室

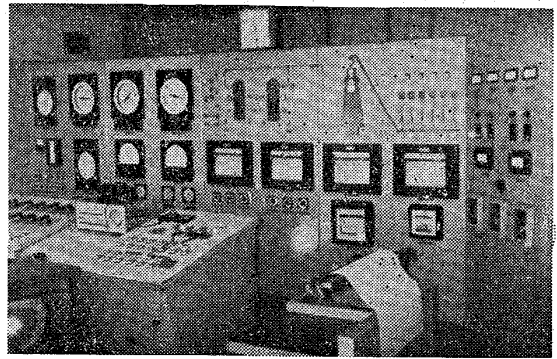


写真2 大阪製鋼西島高炉管理室

員減が可能であるが、まだ完全自動化の段階に達していないため部分的に集中化されている。最もコンパクトに集中されていると思われる例は大阪製鋼 300 t 高炉で、ここでは原料切出より送風機、熱風炉などほとんどの操作が中央管理室で行なわれるようになっている。

原料切出しは現在多くの高炉がスケールカーによっているが、最近新設されるものはベルトフィーダーによる切出秤量を行なうようになった。従来のスケールカーは1回分の鉬石投入量に対しホッパーから順次配合により秤量し切出していた。一部このスケールカーの逐次制御も計画されたが、既設の改造には再投資を要するので、実用されていない。

捲上げの逐次制御は、新設高炉にはほとんど採用されており、鉬石、石灰、コークスの装入プログラムは予め設定されており、炉頂装入深度計の信号で装入、ベルの開閉、デストリビューターの回転など逐次自動運転されている。

熱風炉に関しては前述のような自動切換、A.C.C. の採用から著しく集中化がすすんだ。

送風機およびガス洗滌は設備が高炉より離れているため各運転室で集中されており、操炉に必要な信号は高炉管理室に電送されている。これらの完全集中化は、各設備の故障が高炉操業に致命的な支障を与えるため、これらの信頼度が確認されるまでは困難である。

##### 4.1.3 製鋼

昭和 28 年頃はまだ平炉法が製鋼の主体であったがこの頃から酸素製鋼が導入され、製鋼法は急速に発展し、自動化もこれにともない急速に進歩した。平炉の自動化が昭和 28 年から始まり、変更弁のプロボックス式の採用、扉開閉の遠隔操作により、集中化が進み、従来 7~8 名で操炉していた平炉も、半分の人員で操炉されるようになった。これらの急速な進歩は、部会における各社の研究成果の交換に負う所大である。

LD 転炉の導入にともない、平炉法は後退をはじめた

が、平炉において開発された技術は、転炉工場に広く採用され副原料投入を始め、操炉全般は運転室で行なわれるようになってきている。これらの集中化により、従来の平炉工場より著しく少ない人員で運転されている。

#### 4.4.1 分塊工場

均熱炉は、従来、蓄熱型均熱炉が主体であったが、戦後自動制御の容易なバーナー式予熱型の均熱炉が採用され自動燃焼装置が設置され、鋼塊温度管理が著しく向上し同時に操炉要員が少なくすむようになった。最近の均熱炉は川鉄千葉第2分塊に代表されるごとく、計器の集中化、クレーンよりの自動扉開閉、小型電子計算機、模写電送による焼上げ指令などのデーターの集中化により極めて小人数で操業している。

従来均熱炉操業は、炉別に運転室があり、扉開閉、操炉が個別に行なわれていた。造塊場より送られて来た鋼塊は適時装入され、装入抽出計画は規則正しいものではなかった。鋼塊の加熱時間はトラックタイムと関連することは知られていたが、出鋼データーの不足から装入計画も均熱炉の状況判定から行なわれていた。これを川鉄においては第4図に示すように模写電送を利用し、出鋼時の時間、鋼塊本数、予想均熱炉到着時間などのデーターを指令室に送るかつ計測器を指令室に集中して電子計算機で鋼塊焼上の予測を行ない装入抽出計画を合理的に行なえるようにした。これにより加熱が合理化されるとともに、均熱炉の能力増加が可能になった。

製鉄所における無線あるいは有線の遠隔操作は、均熱炉において初めて採用されたが、この種の遠隔操作は高温作業などの危険をともしないものには、安全面で非常に重要であり、今後集中化の一端として広く採用されることになる。

#### 4.2 配給系の集中管理

鉄鋼生産において、各種エネルギー、原料の供給、製品の輸送を円滑にすることは非常に重要なことで先に述べたごとく、以前から深い関心が持たれていたが、従来輸送、燃料、電力、給水などの配給は別個に行なわれていた。しかしながら生産の増加にともない莫大な輸送を個別に管理することははん雑になり、円滑に行きがたくなり、その総合的管理の重要性が次第に認識されるようになった。この種の集中化はまずガスセンターから始められた。従来のガスセンターは、発生および供給の流量その他監視に必要な計器を集中し、ここで配給指令管理を行っていた。昭和32年頃よりデーターロガーが出現し、例えば八幡戸畑や富士鉄室蘭ではこれに蒸気、ガス、電力、酸素、圧縮空気、用水を対象に加え、総合的にエネルギーの適正な需給計画を作り、これに基づいて需給調

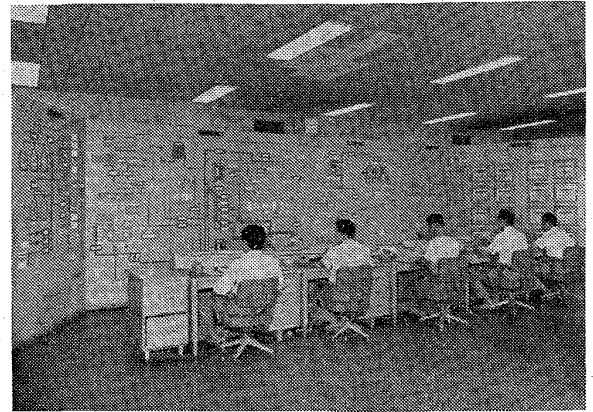


写真3 八幡戸畑エネルギーセンター

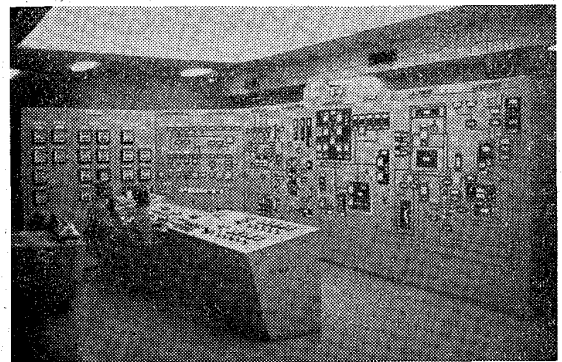


写真4 富士製鉄室蘭エネルギーセンター

整を行なうと同時に、設備を機械化集中化し要員の節減をはかる目的でのエネルギーセンターを設けている。

(写真3, 4 参照)

これら集中化とデーター処理による効果を一般的にいうと、

- (1) エネルギー配給の経済的運営が可能である。
- (2) 事故発生に対し迅速な処置が出来る。
- (3) データー処理が機械化され正確かつ能率的に処理出来る。
- (4) 点検要員、計算整理要員を節減出来る。
- (5) 従来の記録計、積算計を多量に節減出来、計装費が安くなる。

給水センターは八幡および富士鉄釜石で行なわれている。これは各井戸および給水ポンプをセンターより遠隔操作し、用水の配給管理するものである。これは各井戸レベルによりおのおの揚水量を決めると同時に、淡水、海水、戻り水の需要に対応した配分を行なうことで、従来は工場別、ポンプ別にばらばらに行なわれており、統制がとれなかったものを、集中化して統括管理するのが目的である。集中化により同時にポンプ運転員、点検員などが節減されている。

富士鉄釜石で行なわれている秤量センターは従来製鉄





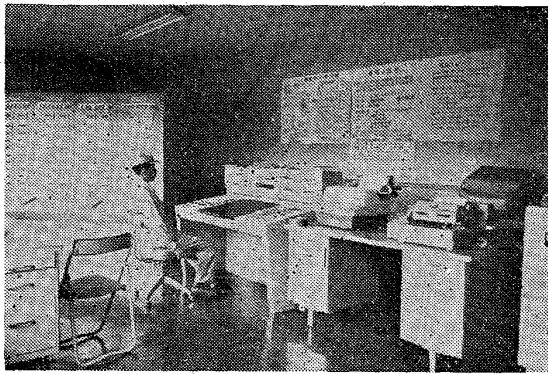


写真 5 富士製鉄釜石秤量センター

所には秤量所が散在していて、これで各種原料、製品の秤量を行なっているが、取扱う品種の多いことと運送と関連しているためデーターの取扱でも複雑で、各秤量所が3交代要員を持ち、全体として人員もかなり多数になるので、埠頭近傍の4個所の秤量を無人化し、データー処理を合理化したものである。秤量の対象は埠頭から荷上げされる原料炭、鉍石などの原料および船積みする鋼材が主体で、貨車秤量されるものである。従来は空車をまず走行させて、空体を測り、次に荷積貨車を走行させ空体重量を差引き、人が貨車番号、品名を読み取り記録を作っていた。集中化した方式では、予め貨車の空体を測りこれを車番と空車重量を計算機メモリーにストアーしておき、貨車が秤量所を通過する際、デジタル型車番検出器で車番を検出し、各貨車自動秤量後、計算機で差引計算して実貫を求め伝票にタイプアウトするようになっていた。4個所中、1秤量所に計算機および制御装置を設置し、各秤量所の制御およびデーターの集中を行ない、1日分の秤量データーを品種別、送先別にタイプし集計している。

この種の秤量センターは、貨車の輸送計画と一緒にし配車計画と組合せるとさらに合理的な計画が出来るであろう。

集中管理はデーターロガーや電子計算機の利用で著しく進歩しつつあるが、これらの設置状況を第4表に示した。現在は試験的段階ともいえるが効果が確認されるにともない、設置台数も今後ますます増加して行くものと考えられる。

第4表 国内におけるデーターロガー、プロセス用コンピューター設置状況

焼	結	4	エネルギーセンター	3
高	炉	4	ガス・センター	2
転	塊	5	給水・センター	2
分	延	1	秤量・センター	1
熱	延	2	酸素工場	2
冷		3	発電所	3

### 5. 新しい計測、制御技術

計測器工業における最近の進歩は、第一にエレクトロニクスの積極的な採用により小型化され、基準化された電気信号で信号の授受されるいわゆる電子式計器に端的にみられる。これらの計器は、プロセスの集中制御のための諸機能、構成機器の互換性、ユニット化による保守の簡易化、データロガーや電子計算機によるデーター処理との結合などの要求を満すべく進歩してきたもので石油、化学工業などで積極的にとり入れられてきた。鉄鋼プロセスにおいても、最近これらの長所を生かした適用が次々と開発され、運転・管理の両面で一層の集中化が進められている。

たとえば、均熱炉、加熱炉などは従来の炉1基ごとの操炉に代って、数基、十数基の炉の監視用計器、調節器が一つの管理室にまとめられて小人数のオペレーターで操炉が行なわれ、またガス、蒸気、酸素などの配給管理にはデーターロガーの採用などと相まってより合理的な集中管理システムが構成されている。この種計器の融通性に富む機能によって流量の圧力、温度の自動補正や、計測値の演算なども容易であり、より正確な制御、管理が行なえるようになり、制御のシステムも複雑な高度な機能を比較的簡単に実現でき、操業目的により直結した制御が数多くみられるようになってきた。

第二にはデーターロガー、電子計算機に代表されるデジタル技術の発展があげられる。その応用開発はおそらくこれからの中心課題になるであろう。

自動制御の実用面でもいわゆるPID調節計とは異ったサンプル値制御など新しい考えにたった制御がいくつか試みられている。たとえば焼結プラントで焼結原料の水分制御を行なうのに、制御対象が大きい無駄時間をもっているため、これを安定に制御するためサンプル値制御が行なわれ、また、ベル型熱処理炉12基について、36カ所の温度を順次スキミングしながらオンオフ制御を行なう多点温度制御など適切な例がみられる。

以上は変換器、表示計器、調節器といった工業計器一般の最近の動向であるが、計測技術の最も基本的な問題である検出方法の開発研究もメーカーとユーザーの密接な協力によって次々と改良を重ねられまた新しく測定が可能となった例も数多く見受けられる。

次にその2、3の例を示す。

溶鋼温度の測定は従来より黒鉛スリーブ型イマージョンパイロメーターが使用されているが、測温と保守の簡易化をはかるため数年前より消耗型イマージョンパイロメーターが主に米国で開発された。これは熱電対を細い

短いPR素線(0.2mmφ×40mm位)で作成し、クラフト紙製スリーブを用い測定し、1回ごとにスリーブ、熱電対を取替えて使用する。黒鉛スリーブ型に比べ測定、保守が容易で、また応答速度が速いなどの長所をもっておりその国産化が進められ、実用化試験が行なわれている。現在の難点はまだ測定1回当りのコストが黒鉛スリーブ型より高いこと、精度の保証、構造上製作の欠陥などによるトラブルが多いなどが見受けられ、広く普及するにはいたっていない。

高温測定は鉄鋼プロセスの計測にとって最も重要なものであり、温度計も徐々にではあるが、新しいものが生み出され、現場試験が絶えず行なわれている。1, 2例をあげると従来より光高温計、放射温度計、光電管高温計などの放射を利用した温度計はいろいろの生産工程で数多く使用されてきているが、新しい温度計としてPbS光電導セルを用いた放射温度計が国内、外で製作されている。測定範囲が100°C位の低温領域まで可能なこと、感度がよいため狭視野のものが製作でき、小物体の温度が測定できること、応答が速いこと、放射率の変化による誤差が小さいことなどの特長が認められている。もう一つの例は色温度計である。溶鋼などの色温度は真温度に近いといわれているが測定の際のむづかしさが難点となっていた。近年測定機構が自動化され、改良が重ねられており、今後の活用が期待されている。

プロセスコントロールの高度化推進に重要な役割を果たしているものにプロセス用自動分析機器があげられなければならない。鉄鋼プロセスでは燃焼制御の監視にガス分析計が用いられていたにすぎなかったが、最近ではこれら自動分析機器の利用によって、より品質と直結した制御が行なわれている例も多く、また計算機制御の開発には不可欠のものとなりつつある。

ガス分析計に関してはプロセス用ガスクロマトグラフの実用化がすすめられ、特に高炉ガスのオンライン分析に利用され高炉計算機制御開発の重要な手段となっている。

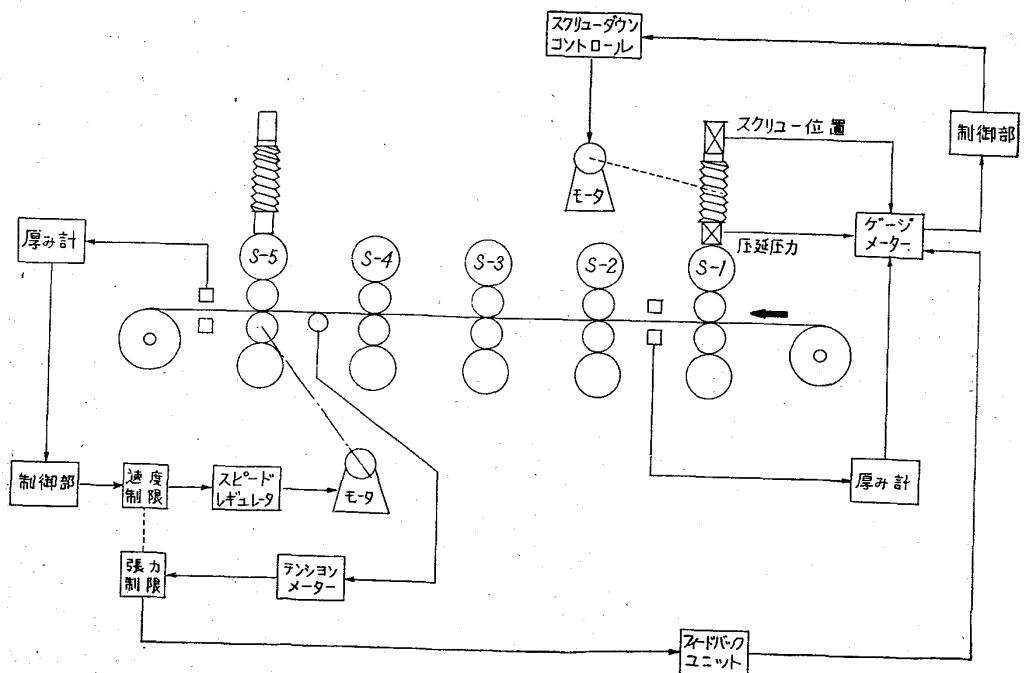
同じく高炉や焼結での原料の水分測定に中性子

水分計が実用化され、焼結原料の水分制御、高炉の装入コークス水分の連続測定などが行なわれている。中性子水分計は中性子線の水素原子による減速を利用したもので、速い中性子線源としてRa-Beを用い減速された中性子線をBF<sub>3</sub>カウンターで検出する。精度は計器単体で±0.01kg/l程度で、コークスをホッパーで計測したときの精度は0.54水分%であった。

分光分析装置は鉄鋼の迅速分析に多く使用されているが、検量線による成分%の換算は人手により行なわれていた。最近小型の電子計算機を分光分析装置と直結し、各成分スペクトルを自動的に読取り、検量線と比較、演算を行ない各成分%を表示あるいは印字作表する方式が実用化された。この分析操作の全自動化により一層分析の迅速化が行なわれ、特に製鋼工場での鉄鋼分析に威力を発揮している。この分析値は分析室から炉前に電送、直接表示することも容易であり、また転炉の制御用計算機にも入れられる。

鉄鋼プロセスの自動制御の一分野として圧延機の自動制御があげられる。圧延機での最も重要な制御対象は製品の寸法で、ホットおよびコールドストリップミルでの自動板厚制御(AGC)はわが国においてもすでに数基の実施例がみられる。AGCのシステムは主に米国(GE, Westinghonsなど)英国(BISRA)などにおいて開発され、わが国での設備例もほとんど輸入機器によっているが、国内電機メーカーもこれらの技術を積極的に吸収し独自のシステムを含んだ実施例もみられる。

圧延機制御用機器としては特に厚み計、圧延圧力計、



第5図 AGC システム

ストリップ張力計，ホットミルにおける巾計などの検出機器の国産化推進と信頼性，精度の向上が当面の課題であり，また板厚制御系の解析や計算機制御の基礎となる圧延理論の発展が望まれている。

AGCの一例を第5図によって説明すると，これはタンデムコールドミルの制御例で，第1スタンドでは母板の板厚の変動を除くための粗い制御を，また最終の第5スタンドでは製品仕様厚みに精確にコントロールする細かい制御を行なっている。

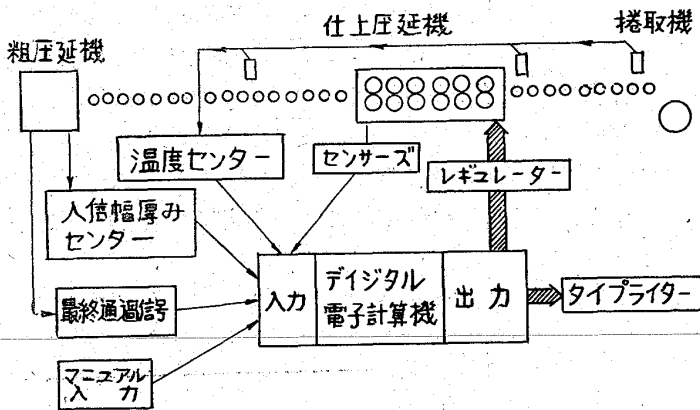
第1スタンドでは板厚をゲージメーター方式で検出している。これは圧延機の圧延圧力による弾性変形を利用して圧延圧力と圧下スクリーウの位置からロール間隙，すなわち板厚を自動的に計算して求めるもので，ゲージメーターのドリフトなどによる誤差は，1スタンド後に設置した放射線厚み計によって自動的に修正される。厚み計の信号を直接制御に用いるとロールを出た板厚が厚み計で検出されるまでに遅れがあり，この遅れは圧延速度で変り制御系が不安定になるので，ゲージメーターによりロールで圧下されている板の部分の板厚を測定し，

低速より高速まで安定に制御を行なっている。制御装置は板厚の偏差に応じて圧下スクリーウを上下に調節し板厚を一定に制御する。

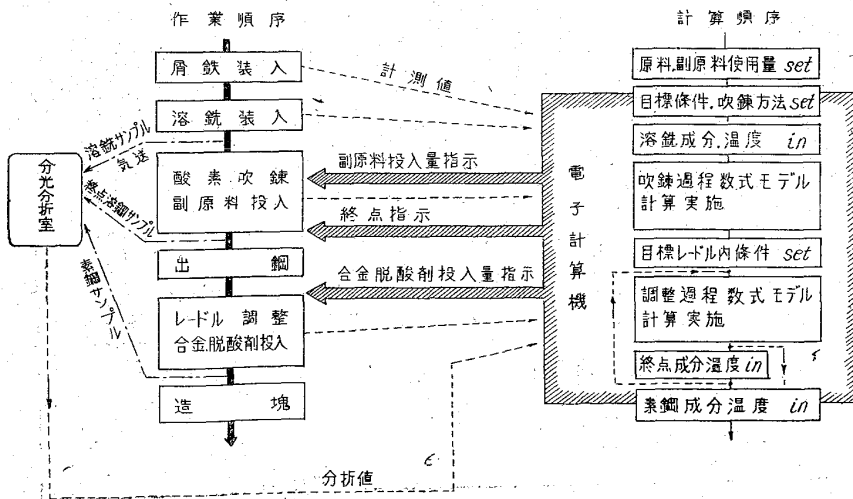
第5スタンドでは板の速度はかなり速くなっているののでX線厚み計の検出信号を直接制御装置に入れ，厚みの偏差に応じてロール速度を調節し，目標の板厚に制御する。すなわち，ロール速度をかえることによって，ストリップに加わる張力が変り板厚が制御される。張力による板厚の制御はドライブモーターの負荷，板に加わる張力などいろいろの運転条件上の制限を受け，板厚の調節量は範囲が限られる。そのため5スタンドの制御系がこれらの限界に達すると1スタンドのAGCにフィードバックしてその板厚目標値を自動的に修正し，5スタンドで目標板厚が得られるように制御される。この自動板厚制御によって，板厚変動の少ない均一な製品が得られることはもちろんであるが，ストリップの先端，溶接個所，後端で生ずるオフゲージ量も減少させることができる。

このような自動板厚制御は，アナログ計算機構による自動制御システムであるということもできる。これをさらに発展させると電子計算機を利用して各スタンドの圧延荷重を均等化しつつ，所定の寸法の圧延を合理的に行なうような，いわゆる計算機制御になる。第6図はホットストリップの仕上圧延機に適用した計算制御の系統図である。計算制御適用の範囲は次第に拡大してホットストリップミル全体を最適な状態に運営するオートメーションにまで発展しつつある。

そして圧延工場ばかりでなく，高炉，焼結，転炉，平炉にそれぞれの事情に応じた計算制御が研究計画されているのが現状である。第7図はLD転炉の操業に計算制御をとり入れた日本鋼管川崎の例で，吹錬作業の進行にあわせ，電子計算機が，つぎつぎとタイミングよく作業指令を出してゆく仕組みのものである。



第6図 熱延仕上圧延機の計算制御システム



第7図 転炉計算制御システム

### 6. 実際の計測上の問題

日進月歩留ることを知らない新技術の展開は必ずしも従来からの計測技術の完璧の上に行なわれているわけではなく，日常の保守上には依然としていろいろの未解決の問題が山積している。

ここではこれら計測管理の実際上の問題について部会で話題になったいくつかの例をトピック的に述べることにする。

### 6.1 高炉炉壁温度測定の問題点

高炉の炉壁温度を測定することは炉況判断、炉体侵食状況の把握の上に必要とされ、ことに将来の計算制御の導入に際してますます重要性が増すと考えられるが、各社ともこの温度検出には未解決の問題をかかえており満足な計測値を得ていない現状である。

最も問題とされているのは炉体が古くなるにしたがって測温体の溶着や溶損がおこり補修を行なっても規定挿入深度が保てずその結果測定値に信頼性がなくなるという点である。この対策として各社とも検出端取付構造にいろいろの考慮を払っており、その最も一般的なものは測定用煉瓦孔に鋼管をはめ込んでこれを鉄皮に溶接し、その中に測温体を挿入する方法であるが、この他、保護管のまわりにトロをつめる方法、保護管外管に溶銲を鑄込んで鉄管を設ける方法など、苦肉の策が講ぜられている。

また検出端の保守方法としては溶着測定孔のつまりなどで補修が困難な場合酸素で開孔して新しく入れ替える所もあるが一般的に以上のような努力にもかかわらず炉体が古くなるにつれて挿入深度は浅くなり測定の意味が薄れてくる状況である。これらの問題解決の糸口として保護管材質の向上について研究が進められている。

### 6.2 熱風炉炉頂温度測定の問題点

熱風炉 ACG の検出端として熱風炉炉頂温度が測定されているが燃焼時に最高 1100~1200°C にもなるこの温度を連続的に検出するにはいろいろの困難がある。

最も問題点になっているのは測温体保護管の材質の耐用性であって、各社ともその改良について苦心している。

大部分が2重保護管で、内管は磁性管が多いが外管は磁性管やカーボランダムのようなセラミックの系統のものと高Ni-Cr系耐熱合金鋼系統のものにわけられる。

前者は耐熱の点では問題ないが、実際には急熱急冷や機械的衝撃で破損しやすく、十分な耐久性は得られていない。後者も耐久度は2カ月から1年くらいで、十分満足出来るものではなさそうである。したがってこの保護管にはまだ定説がなく、各社の研究課題となっている。

現在までの改良過程からみると、

磁性カーボランダム→サントピッグ P 4 →  
(25 Cr 鋼)

ファイヤードホワイト  
(80Ni 20Cr)

というように次第に高級な保護管を採用し、すこしでも耐用度を高めようとしている傾向がある。保護管の耐用度を定める因子として別に炉内への挿入深さがある。各社のデータによると挿入深さをマイナス、すなわち炉

内煉瓦面より少しでも内側にすることによって寿命は~10倍にも延長されることがわかるが、煉瓦の内側を測ることと保護管を煉瓦面より突出して測ることで本質的に測温の意味が異なり、少しでも真の温度に近い値を得ようとするれば、保護管の挿入を深くすることになり、したがって寿命が短くなり寿命を延ばそうとして保護管を引込めればその温度が測れないということになって、結局冒頭の保護管材質の改良が先決問題となってくる。この他高圧操業に伴う漏風防止シールの方法、保護管取付方法などについても問題にされており、また将来の高温化の傾向に対して輻射温度計の採用についても検討されている。

### 6.3 輻射温度計による鋼材温度計測における問題点

鋼材の温度計測に輻射温度計が広く用いられているが鋼材の真温度を把えるには多くの問題点がある。製品の品質に対する要求がますます厳しくなりつつある今日、鋼材の品質に重大な影響をおよぼす鋼材温度の精度高い計測が望まれるのも当然のことであるが、一方工場においては特殊な環境条件による制約の下に機器の耐久性、保守の簡便さを要求すること、さらに経済性をも考慮しなければならないことなどがからみあっている問題を生じている。

炉内の鋼材温度を輻射温度計により計測する機会が多いが、これに使用する覗管の問題は重要である。この覗管は多くの場合、タンマン管が使用されているのであるが、タンマン管は破損しやすく、寿命も3~6カ月の場合が多い。鋼材温度を正確に計測するためには覗管は出来るだけ長く炉内に挿入して鋼材に接近させ、フレームの影響を除くのが望ましいのであるが、一方こうすることにより破損の機会が多くなって寿命を短くし、経済上の問題にも関連してくる。

この点から覗管の材質向上、さらに適した材質の開発が必要となってくる。材質向上については SiC 80% のものを 90% に、純度を上げることにより Thermal Shock による事故が絶無になったことが報告されている。

鋼材の真温度を計測する上において、炉内のフレームとスケールによる影響は大きな障害となっている。スケールの発生しない加熱方法は一般に困難であり、また発信器が直接鋼材表面に対している場合、フレームの影響を無くするにはいろいろの制約がある。このため閉端型覗管が使用される場合があるが、これは炉内の雰囲気温度を計測することになって鋼材温度ではなく、そして閉端型は寿命保守においても難点がある。閉端型覗管を使用する場合において最も重要な問題は、鋼材温度と雰囲気温度との相関性を考慮した上で最適の測温点を求める

ことであり相互の関連を明確に把握することであるが、その決定的な方法は未だ確立されていない。また保守上の問題点として塵埃の付着が大きな影響をおよぼす。そのためレンズ拭きをかなりの頻度で行なわねばならない。さらに周囲温度の上昇、電源電圧の変動による影響も無視できない。

#### 6.4 熱処理炉の計測制御上の問題点

熱処理炉の最大の目的は鋼材を一定の heat pattern にしたがって加熱冷却することである。この heat pattern を実現するためにプログラム制御、シーケンス制御などの諸方式が応用されているのであるが、熱処理技術の進歩にともなっていますますます高度の計測技術制御技術が要求されているのが現況である。熱処理炉の計測制御における最大の問題は温度の検出方法であって、温度の検出は一般に熱電対が使用されているが、これは鋼材温度を示すものではなく炉内雰囲気温度であり、この計器指示をもって鋼材の温度を知るには雰囲気と鋼材との間の伝熱状況をとらえておかねばならない。もちろん鋼材の温度を直接測定する方法を採用するのが望ましいのであるが、保守の簡便なことなどから熱電対により雰囲気温度を検出し、これによる制御を行なうのが現状である。熱電対の位置を定めるのは重要な問題で、次のような点について十分考慮を払う必要がある。

1) 台車式熱処理炉などの場合炉内温度分布が均一であることが望ましい。したがって当然発生し得る温度差に対し有効な制御を行ない得る検出端位置、制御方式が経済性をも考慮された上で必要となってくる。炉内の主要な Zone を温度制御し、他の Zone は主 Zone との温度差によって温度差制御を行なうのは温度分布を均一にするためである。

2) 位置によって異なる温度はその位置の温度が熱処理作業のプログラムといかなる関係にあるかを把握して測定されることが重要で、特に連続熱処理炉ではこの考慮が必要となってくる。温度が空間的に分布してそれを測定せんとする場合、制御上の立場から分布の代表値(平均値など)を知りたい場合と特殊な値(最大値、最小値、異常値)を知りたい場合の二つがある。連続熱処理炉などでは昇熱時における過熱、あるいは昇熱不足を防止するため、また過冷却を防止するため温度分布の最大最小値などの特殊な温度に着眼した検出位置が重要となってくる。

3) 一般的に言って炉内温度はなるだけ鋼材温度に近く測定されることが大切で、そのためには炉装入鋼材の表面近くへ熱電対を設けなければならない。炉内に対流が存在している場合には、高温部と低温部間の対流に

より温度測定の誤差を伴うことがあるので注意を要する。

以上のような点に考慮が払われたとしても鋼材の温度は直接には計測されないものであり、それは炉内温度から相対的に求められる。鋼材温度は炉内温度変化に対し時間遅れをもち鋼材そのものに heat pattern を実現させるためには炉内温度制御プログラムを鋼材の heat pattern そのものにすることはなく、鋼材への伝熱条件を考慮して書きなおす必要がある。熱処理条件がますますきびしく要求されつつある現在ではこの方法は次第に容易なものになってきている。したがって鋼材自体の温度を測定する方法の確立が強くなるのぞまれている。

#### 6.5 計測器保全作業定員の問題

計測器保全担当部署における作業員の定員の合理的な算定が常に問題となる。これは計測器保全経費の大部分が人件費によって占められ、この保全経費が保全によって得る merit いいかえれば保全を行なわなかった時の損害額を上回ってはならないという原則に立ち、しかも保全効果を金額的に把握することが極めて困難であるという点によるものである。一般に計測器の保全作業はプラント操業に必要な計測精度の維持、故障の予防ならびに修理、購入品の受入検査および予備品管理であるが、これらの業務をどの程度厳密に行なうかによって所要人員は大きく変わってくる。ことに故障の予防および修理に関してはその不定期性のために特に作業量の把握がむづかしい、定員を決める最も合理的な方法は過去の点検修理などの実績を解析する方法であるが、最近の鉄鋼業における設備拡張がめざましく、また工業計器の発達が著しいため過去のデータによって信頼性ある結論を出すにはいたらない。

これに代るものとして従業員数や計器台数との比率によって割出す方法についても論議されているが、プラントの自動化の程度、計測器の規模保全員の技術レベル、工場の立地条件、計測器の老朽の程度、設備環境などいろいろの要因によって影響をうけ一義的に算定するには問題がある。

以上のように各社とも必要にして最少の保全作業者の人員を算定する問題についていろいろの角度から模索している現状である。

## 7. 結 言

計測技術の発展にともなって、計測部会も回を逐うごととにさかんになり、議題も豊富になりつつある。最近はまだ、共同研究をいっそう強力に推しすすめるためのテーマの検討を行なっている。

鉄鋼技術全体の向上にとっても、当部会の使命はますます重要なものになるに違いない。各位のご支援とご協力をおねがいして報告とするしだいである。