

鉄鋼技術共同研究会報告

計測部会報告

送風湿度の制御

(高炉の計測制御)

桂 寛一郎*・磯部 孝**

Control of Blast Humidity.

(Measurement and control of blast furnaces)

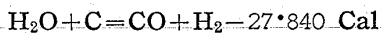
Kanichiro KATSURA and Takashi ISOBE

I. ま え が き

高炉の送風湿度制御は、送風空気の湿度を大気湿度の変動いかにかわらず、一定に維持する自動制御で、湿度計で送風空気の湿度を測定し、その結果にもとずいて、送風管中に水蒸気を、適当な量だけ添加する方式が普通採用されている。

水蒸気の吹込操業については、すでに 1940 年頃より試みられ、種々研究されてきた。一般に送風空気中の湿度を一定に保ち、変動をなくすと、高炉の炉況を、非常に安定させる効果があることが知られている。

水蒸気は、高炉内に入るとつぎのような反応にしたがつて、CO と H₂ に分解する。



これは吸熱反応であるから、それ自体は炉温を下げることになる。しかし、送風温度を上げるなどの手段で、炉熱を補なうことができれば、還元ガスの濃度が増すだけ炉内の還元状態がよくなり、コークスの節約、出銑量の増加などの効果となつて表われてくるのである。

また、送風空気中に酸素を吹込む、いわゆる酸素富加操業にこの湿度制御を併用すると、局所的な過熱を緩和し、炉況を良好に保つのにいちじるしく有効であるといわれている。湿度制御は、昭和30年頃から国内で、試験や基礎研究が活発になり、近年になつて本格的な装置を、ほとんど各社一斉に設備したといえる。

この報告は、ここ数年の間に鉄鋼技術共同研究会計測部会に提出された国内各社の報告、研究発表をもとにして、送風湿度制御の概要、装置の構造、実施上の問題点などを述べたものである。

II. 構 成

1. 湿度の測定法

- 1) 高炉送風湿度制御に利用される湿度計
- i) 乾湿球湿度計 (抵抗温度計式乾湿球湿度計)

[原理, 構造]

乾湿球湿度計については、下記のような Sprung の公式がある。

$$p = p_w - A \cdot P (t - t_w)$$

記号	p	空気中の水蒸気分圧	(mmHg)
	p_w	湿球温度 t_w に対する飽和水蒸気圧	(mmHg)
	P	気体の全圧	(mmHg)
	t	気 温	(°C)
	t_w	湿球温度	(°C)
	A	乾湿計定数	

なお、乾湿計定数 A は次式で与えられるが、一般に式中の h_c , h_r を無視できるような構造設計を行ない、また式中の第 2 項は温度、湿度がともに大きくなるにしたがつて大きくなるのでこれらの使用範囲を限定することにより、結局 A を使用状態に関係しない定数と仮定するのが通常である。

$$A = A_a \left(1 + \frac{h_r}{h_a} + \frac{h_c}{h_a} \right) - \frac{1}{h_a - t_w} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_w} \right) \frac{p}{P}$$

記号

- h_c 周囲空気から対流により湿球表面に伝達される熱量に関する係数。
- h_r 湿球保持部を伝導して湿球に伝わる熱量に関する係数。
- h_r 輻射により湿球表面に伝達される熱量に関する係数。
- ρ_a 乾球温度に対する空気の密度
- ρ_w 湿球温度に対する空気の密度
- A_a 乾湿計の大きさ・形状等に無関係な定数

* 鉄鋼技術共同研究会計測部会長

** 鉄鋼技術共同研究会計測部副会長

乾湿球湿度計の湿球および乾球の温度を電氣的に測る方法として、一般に熱電対によるものと、抵抗温度計によるものがある。しかし高炉送風湿度の測定には、使用温度および測定精度等の点から熱電対はほとんど使用されず、専ら抵抗温度計式を用いる。

乾湿球湿度計には相対湿度で目盛つたものと、絶対湿度で目盛つたものの2種あり、高炉送風湿度は通常50 g/Nm³以下の低湿度なので相対湿度計では誤差が大きくなり、したがって絶対湿度計を用いる。

Sprung の公式を変形すると次式を得る。

$$p = [p_w - A \cdot P(t_{ds} - t_w)] + A \cdot P(t_{ds} - t)$$

ただし、 t_{ds} は設計基準ガス温度 (°C)

上式で右辺第1項は湿球温度 (t_w)、第2項は乾球温度 (t)のみの函数であるが、この函数形が異なるので同じ1台の計器では p を求めることができない。したがって一般にはサンプルガスの温度 (乾球温度 t) を一定にしておいて湿球温度を測定し p を求めすなわち絶対湿度を知るのであるが、高炉送風は前述のごとく高温低湿であり、 $t - t_w$ の値が大きく、 t のわずかの変動で指示に誤差を生ずるから、まず乾湿球発信器にヒーターを設けサンプルガスの温度を一定にコントロールするとともに、乾球バルブによるサンプルガスの温度変化にもとづく指示誤差を補正する様に製作されている。

図1は乾球温度 t ・湿球温度 t_w をそれぞれ横軸および縦軸として絶対湿度すなわち p が一定の曲線を描いたものであるが、 t の狭い範囲では等湿曲線はほぼ直線となる。 $t = t_{ds}$ ならば t_w と p との関係は一定であるからこれにより計器を目盛ることができる。今、湿度が同じで t が t_{ds} から Δt_d だけ変化した場合を考えると、等湿曲線を直線で近似すれば、 Δt_w と Δt_d の比が一定と

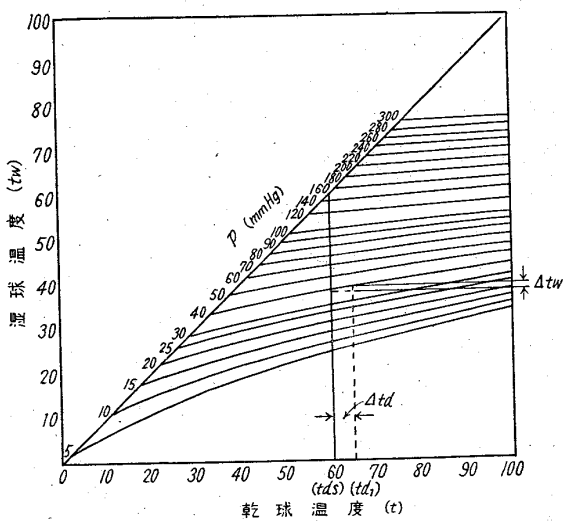


図1 等湿線図

なるから、 t を検出して Δt_w 分だけ補正してやれば、かなり正しい湿度を得ることができる。

上記方式による発信器構造を図2に、サンプルガス温度コントロール回路を図3に、電子管自動平衡計器の回路を図4に示す。

t および t_w の測定には純ニッケル線の抵抗体を用い、図4の回路図に示すようなブリッジを組んで、 t_w 側のスベリ抵抗 R_{S1} と t 側のスベリ抵抗 R_{S2} を連動させ、 R_{S2} を補正用を使用する。

Δt_d と Δt_w の比は絶対湿度の函数であるから t 側のブリッジ回路で $\Delta t_d \times dt_w / dt_d$ に相当する電圧を取り出し湿球温度に相当する電圧に加減して補正を行なう。発信器には図3のように接点付水銀温度計が取り付けられており、その on・off により発信器内温度を常に t_{ds} になるように保温等によりサンプルガスの温度変動を少なくしてあるので、乾球による温度補正範囲を ± 10 deg にとれば、その範囲では精度が十分得られる。

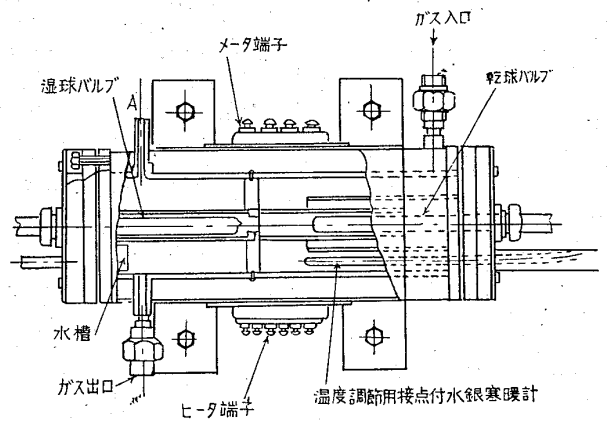
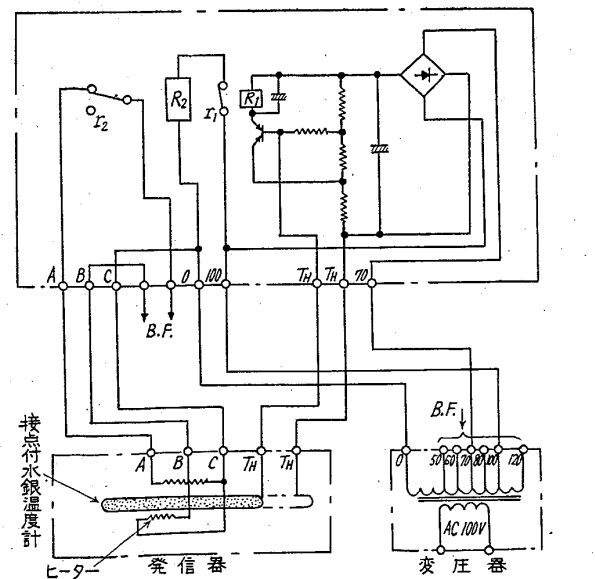


図2 発信器の構造



R₁: リドリレ, R₂: リドリレ-接点, R₃: マイクロスイッチレ, R₄: マイクロスイッチレ-接点

図3 サンプルガス温度コントロール回路

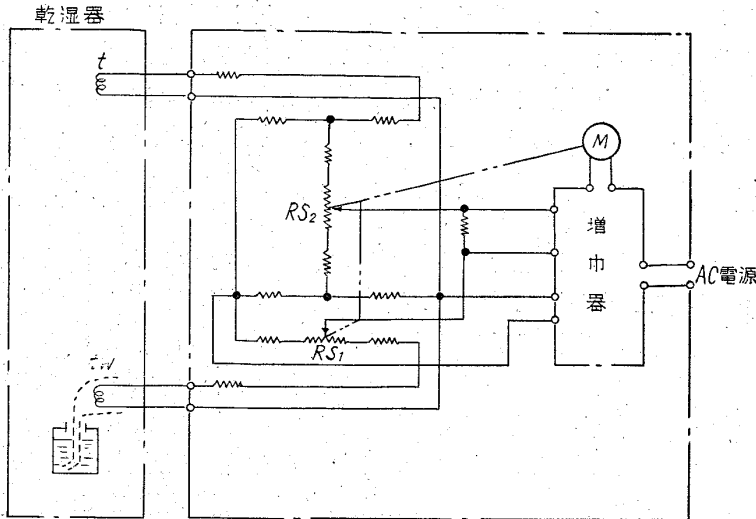


図4 絶対湿度計用電子管自動平衡計器結線図

[誤差についての注意および測定遅れ]

湿球には薄いガーゼをかぶせその端を水槽に浸してあり、水槽には給水器により常時水を補給する。発信器内を通るサンプルガスの風速は 3m/s 以上を必要とし、風速が十分でない誤差を生ずる。(一定以上の風速で湿球温度が最低値を示して一定となる。)したがって風速が得られない時はファンで吸引通風を行なう。また、発信器内サンプルガスはヒーターで加熱されているから、給水の補給や給水器レベルの調整に注意を要する。

この型の計器の測定遅れは、時定数30~50s、無駄時間10s程度である。

ii) 塩化リチウム溶液膜湿度計

[原理、構造]

水に不揮発性の塩類を溶かした溶液は、その組成と濃度に固有な一定の蒸気圧をもっていて、これに接する大気蒸気圧が溶液のその温度の飽和蒸気圧より高いときは溶液は大気中より吸湿し、反対に大気蒸気圧が溶液の飽和蒸気圧より低いときは溶液から水蒸気を発散する。

今もし、溶液が水分を発散してゆく過程で溶液の温度を下げるような操作を加えると、ある温度まで下った時に水分蒸発が止り、さらに温度が下れば逆に溶液は吸湿をはじめ。また、吸湿をはじめたときに前と逆に温度を上昇させるような操作を加えると吸湿を止める方向に作用する。

このような現象は、大気中の水蒸気分圧と溶液の濃度と溶液の温度の三者で定る平衡点を持ち、その状態で大気~溶液間に吸湿も蒸発もない。したがってこの時の溶液温度を測定すれば大気中の水蒸気圧を知ることができ、すなわち露点温度ないし絶対湿度を求めることが

できる。

デュー・セルなど市販の湿度計で使っている塩は塩化リチウムで、電極の間に浸ませて電極間に交流電圧をかけておくと塩の濃度に応じた電流が流れ、この結果ジュール熱を発生して溶液の温度をあげる。溶液はしだいに乾燥し、電導性が下つて発熱量が下り、周囲大気の水蒸気分圧に溶液の飽和蒸気圧がほぼ等しくなる温度で平衡に達する。平衡温度以下では溶液が周囲から水分を吸収して温度が上り、平衡温度以上では水分を蒸発して塩の結晶に近づき不良導体となつて冷却する。

この溶液の平衡温度を测温抵抗体によつて測定する。

この型の湿度計の動作範囲は上に述べた原

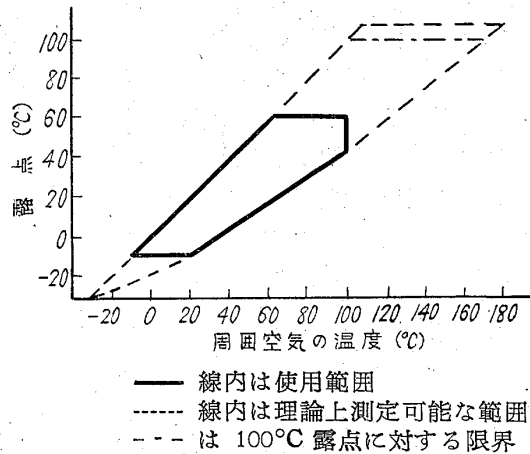


図5 LiCl湿度計使用限界特性

理上から、塩化リチウムの飽和蒸気圧曲線と水の飽和蒸気圧曲線の間の領域であり、結局周囲被測定気体の温度が上記の溶液の平衡温度以下であることを必要とし、図5に示した範囲となる。もしこの図の特性曲線より右側の温度であると、被測定気体の湿度に関係なくその気体の温度に到着してしまつて実際より高い指示を与え誤差となる。図5をさらに絶縁不良その他を考慮した上・下限を定めて相対湿度との関係に書き改めると図6のごとくなる。

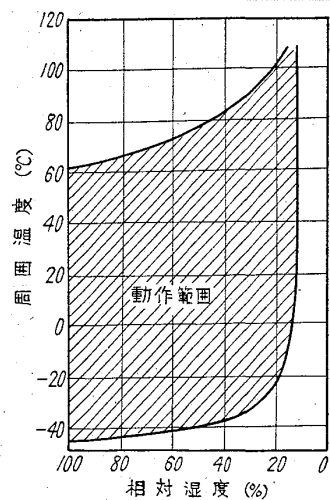


図6 LiCl湿度計動作範囲

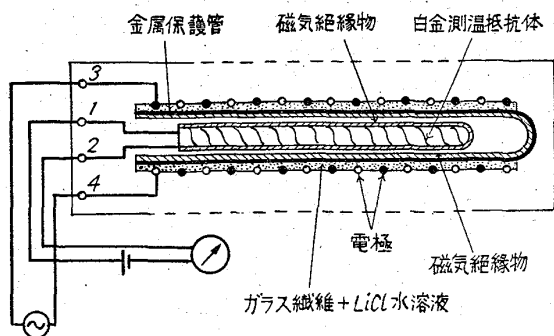


図7 発信器の構造模型

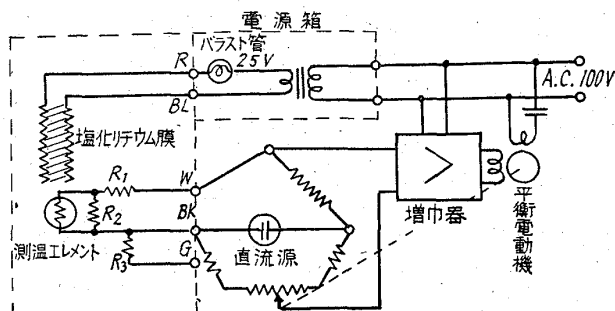


図8 測定回路

図7に実物構造の概略を示し、図8に測定回路を示す。

〔誤差についての注意および測定遅れ〕

一般に、天然ガス・プロパンガス・CO・CO₂・N₂・H₂・O₂等の気体中でも大気中と同様良好に動作するといわれており、H₂Sが混入していても100ppm以下なら良く、電極に24カラットの金線を使用すれば10%までのH₂Sに耐え得る。SO₂・SO₃・NH₃は感湿部の水分と化学反応して正常な動作を妨げたり、腐食したりするので誤差が大きい。塵埃の多い場所で使う時は感湿部のガーゼをナイロン布等で包むと動作が比較的良くなり保守も楽である。また、油を含む蒸気については塩化リチウムの蒸気圧降下(吸湿性)が非常に大きく、また逆に感湿部の平衡状態では塩化リチウムがほとんど乾いておりしたがつてそれより吸湿性の悪い汚染物質は完全に乾いて不良導体となつているから、比較的悪影響が少いとされているが、実際経験によると汚染物質が感湿部の表面を覆うことにより誤差、遅れや故障の頻度が増すため、各所ともその保守に苦心を払っている。(Ⅳ. 保守参照)

塩化リチウム湿度計は多相平衡が原理なので静止気体中で完全に動作し、通常0.5~0.8m/s以下の風速でなければならぬとされる。図9に風速の影響の一例を示す。

この型の市販湿度計について外気の安定が良い状態で

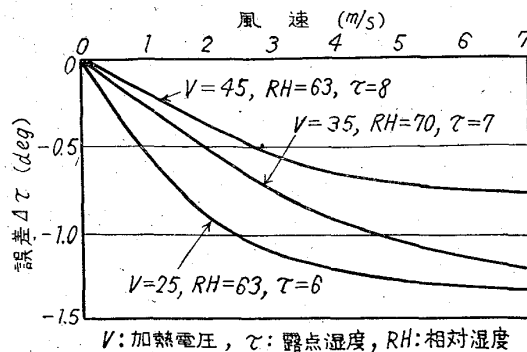


図9 素子の温度におよぼす測定気体の流速の影響

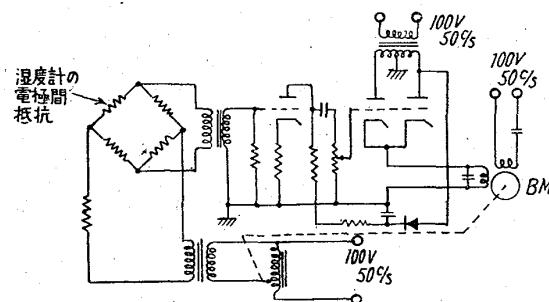
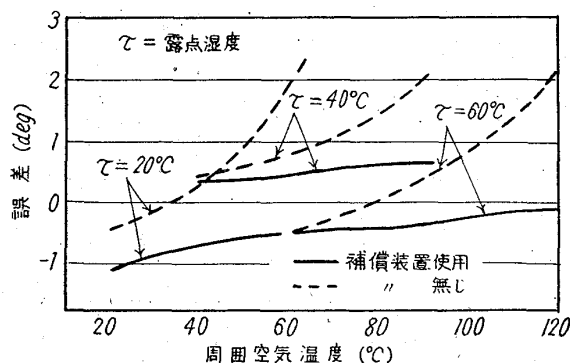


図10 誤差補償装置



(註) この図の誤差の絶対値については、かなりずしもこの通りでない。

図11 被測定気体の温度の影響と補償装置の効果

は、精度が露点で1~1.5°C以内に保たれるとされるが、実際はもう少し大きい模様である。誤差の原因について詳しい実験結果に基づき、「周囲気体の絶対湿度が不変でもその時の被測定気体の温度の変化過程やあるいは加熱電極間電圧等によつて感湿部電極間の抵抗値がわずかに変化することが認められた。」という新しい報告がある*。この報告によると、感湿部にあらわれる測定誤差は、外乱によつて本来感湿部が平衡状態において加熱電源から得ている熱エネルギーに過不足を生じ、このため電極間の抵抗がこれを補う方向に変化してこれがなら

* 塩化リチウム湿度計の誤差補償装置：今井，田村 富士時報，34 (1961) 11

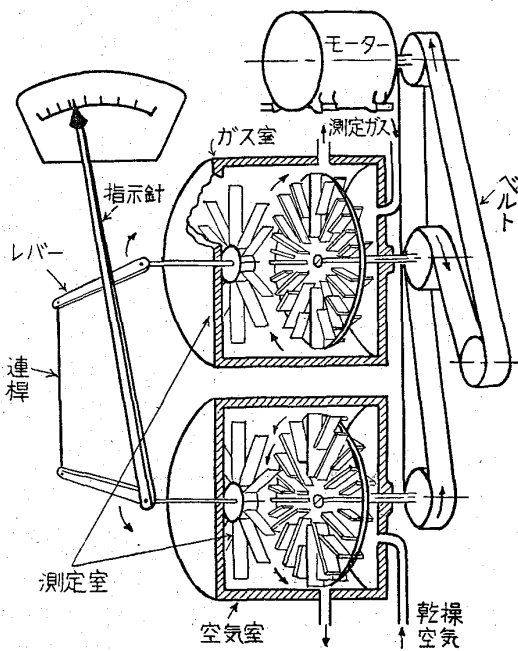


図12 密度比式湿度計構造図

かの理由で感湿部の温度に測定誤差となつてあらわれ、という説であり、例えば図10に示すようなブリツジを組んで電極間抵抗の変化を常に補償する装置をこしらえて実験した結果では、図11に見られるように明らかに誤差が減少している。

iii) 密度比式湿度計

[原理, 構造]

一般ガス分析計ないし密度計として汎用されている密度比式の計器をそのまま湿度計として応用したもので、図12に示すような構造の測定室をもち、測定中の上、下おのおの受動羽根車のトルクの比が次式で与えられるようにつくられている。

$$\frac{T_g}{T_a} = C \cdot \frac{\rho_g}{\rho_a}$$

ただし、

T_g : ガス室羽根車トルク ρ_g : 測定ガス密度

T_a : 空気室羽根車トルク ρ_a : 比較空気密度

したがって図のように適当なリンク機構を組合わせ、 T_g/T_a により目盛を付すと、指針は ρ_g/ρ_a を指し示すことができる。

例えば、測定空気の絶対湿度が $x \text{ vol} \% f$ である場合、上室に測定空気を、下室に乾燥空気を導入すれば、

$$\rho_{wet} = \rho_{dry} - (\rho_{dry} - \rho_{H_2O}) \cdot \frac{x}{100}$$

$$\rho_{wet}/\rho_{dry} = 1 - 0.00378 \cdot x$$

ただし、 ρ はいずれも空気に対する比重をあらわす。

すなわち、直接 $x \text{ vol} \% f$ で、あるいはその他の必

要な単位、 g/Nm^3 等で目盛ることができる。

[誤差についての注意および測定遅れ]

この種の湿度計の最大の欠陥は、機構上から、比重比 (ρ_{dry}/ρ_{wet}) が 1.03 以下となる含有率の気体に対しては著しく精度が劣ってくる点である。これは約 $60 g/Nm^3$ dry air に相当し、現在の高炉送風調湿が $15 \sim 50 g/Nm^3$ dry air の範囲で多く行なわれていることからこの用途に適しているとい難い。

その他、高炉送風などのように測定気体の露点温度が常温よりかなり高く、保温の状態での測定を必要とする場合に、上・下両測定室を同一温度に加温保持することが比較的困難で、電気ヒーターをバイメタルと水銀リレーなどで制御する方法では両室の間に $3 \sim 4 \text{ deg}$ の温度差 ($70^\circ C$ 位に制御の場合) を免れず指示値に対してこれだけで 2% 近くの誤差を生じてしまう。また、羽根車駆動用ベルトの持続性・稼働休止中の測定室内の残存水分の除去など、実用にあつて種々の工夫を必要とする。

この型の計器の測定遅れは時定数 $20 \sim 25 \text{ s}$ 、無駄時間 $20 \sim 25 \text{ s}$ 程度である。

2) サンプリング系統の問題

各湿度計検出端の温度を感湿部動作範囲内に設定する問題・配管の保温・風速の影響の除去・含有汚染物質に対する対策・遅れの問題などはサンプリング方法に付随する問題で各社とも苦心を払い改善を重ねているところであるが、第3章に詳述してあるので、省略する。

2. 制御システム

1) プロセスの特性

i) 湿度制御の必要性

送風湿度を制御する必要性はまえがきでも述べたようにつぎの2つの点にある。その1つは季節などによつて大気中に含まれる湿分(絶対湿度)が大幅に変動するため、高炉炉内における湿分による吸熱反応の起る度合いが異り、炉況が変動することを防ぐためであつて、このためには、夏の大气中湿度と同等の値の常に制御すればよい。

他の1つは大气中の年間最高湿度よりもさらに高い湿度にした送風を吹込むことによつて、湿分による吸熱反応を利用し羽口先での局所的な高温帯の生じるのを緩和して炉況の改善をはかろうとするものである。

さらに以上の炉況の安定ならびに改善のみでなく、送風湿度を変更することによつて棚吊りの排除や反応状況の調整など積極的に炉況に対するアクションの手段として用いられるようになり、高炉を制御するための重要な変数の1つになつて来ている。

ii) 加湿の方法

高炉への送風の湿度を制御するには送風中に湿分を添加する必要がある。そのために一般に用いられているのは蒸気の吹込みである。送風機で昇圧した空気に熱風炉前で蒸気を吹込むのが普通である(図13参照)

湿度の設定をはなはだしく変えるのであれば送風流量測定用のオリフイスの前で加湿するのが好ましいと思われる。蒸気吹込みのノズルは送風管の中心1カ所に設けたり、4本前後で旋回させるようにしたり種々の方法が採られており、送風管内でドレンとならずによく混合するように考慮されている。送風の上流に向かって逆に吹込むのも1つの方法である。

蒸気の吹込みの代わりにコスト引下げのために水を spray した例もある。水圧を上げノズル形状の改良によつて気化率(sprayした水の量の内水蒸気として送風に含まれて持去られる有効量の割合)は上げられるが、試験結果では約19~46%年平均30~35%である。したがつて残りの水量はドレンとなつて排

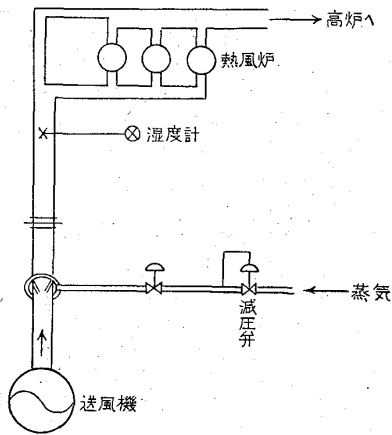


図13 送風中への蒸気吹込み系統図

出されることになり、排出水の循環を行なうのが望ましい。(図14参照)なおこの装置は八幡製鉄から昭和34年に特許が出願されている。また詳細は製鉄部会資料(鉄15-1-4)を参照されたい。

iii) 外乱(変動要因)

送風湿度制御系の変動要因としては湿度設定値の変更の他に主としてつぎのような外乱が考えられる。

大気湿度, 送風流量, 蒸気圧力

大気湿度は夏期 24 g/Nm³, 冬期 4 g/Nm³ と大巾に変化するが, 変化速度は遅く 1 h に 1 g/Nm³ 変ることとはほとんどない。大体数時間における変動は ±1 g/Nm³ 以内であり, 日内変動は ±3 g/Nm³ 以下である。したがつて丹念に調整することが可能でさえあれば手動による蒸気量の調整でも制御精度は自動に比べてそれほど劣らないということもできる。

送風流量が変化すれば蒸気量一定では送風湿度が変ることになるが, 多くの場合送風流量は一定に制御されており, 設定値を変更した際と熱風炉切替の際の乱れだけと考えられる。

蒸気圧力は他工場の影響も受けるので, ランダムに変わるものと考えられる。したがつて圧力調節弁を上流に設けていない場合には, ランダムな外乱が加わることになる。しかし工場によつて外乱の入り方はいちじるしく異なるので一般的には論じ難い。

2) 制御系統

i) 湿度制御系には大きく分けるとつぎの4種類がある。(図15参照)

I 湿度計を見ながら蒸気流量を手動制御

II 湿度調節計(MRC)からの信号で直接蒸気流量調節弁を動作させる直接制御

III 湿度調節計(MRC)から蒸気流量調節計(FRC)へのカスケード制御

IV 蒸気流量は送風流量との比率制御としさらに湿度で比率をカスケード制御する比率カスケード制御

手動制御(I)は微細調整はできないが, 蒸気圧力の変動さえ抑えてあれば可能である。設備費は安価と

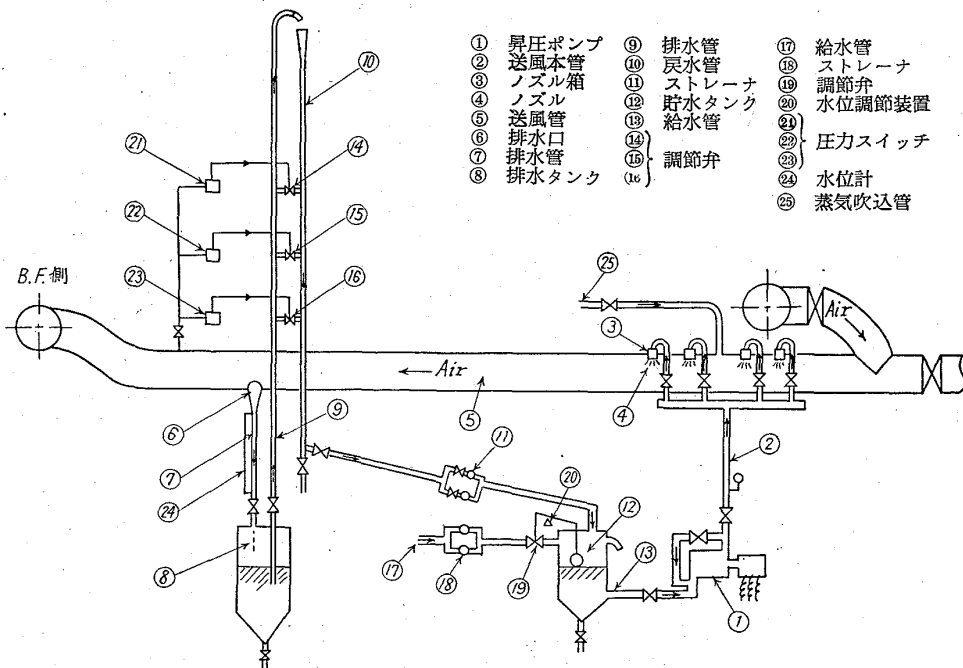


図14 送風管水吹込設備予定図(鉄15-1-4より)

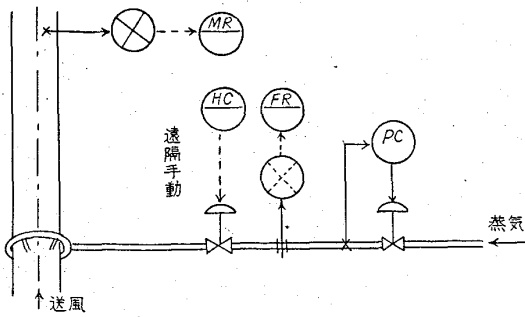


図15 手動制御系統図

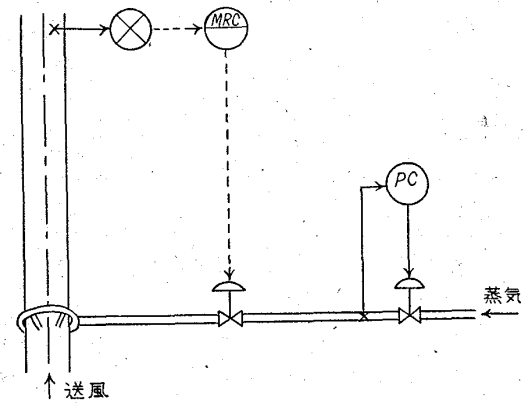


図16 直接制御系統図

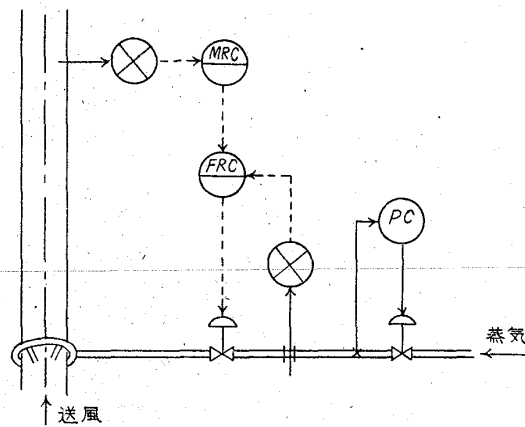


図17 カスケード制御系統図

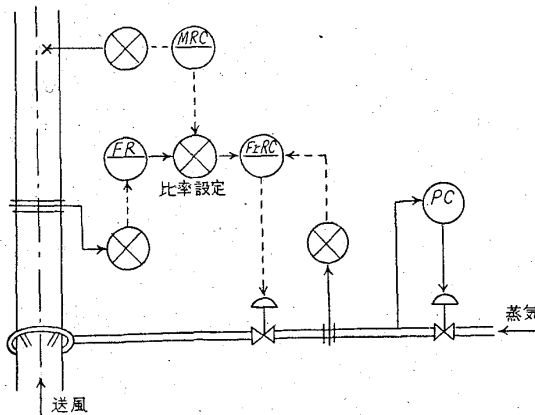


図18 比率カスケード制御系統図

なるけれども作業員の作業量がかなり増すので、作業の状況によつては困難となる。

直接制御 (I) は蒸気圧力さえ前段で制御してあれば制御系の特性から見れば良好な制御を行なうことができる。しかし故障の際の手動操作などを考慮すると必ずしも好ましい系統ではない。

カスケード制御 (II) は良好な制御結果が得られるもので標準の系と考えてよからう。

比率カスケード制御 (IV) は送風量変更の際の応答が良好であるから、送風量の変動が作業上頻繁に行なわれる高炉においては意味がある。

ii) また前段の制御としての蒸気圧力制御については

a) 蒸気圧力制御のない場合 工場における蒸気の圧力変動状況は、工場ごとに非常にまちまちであるので一概にはいえないが、調湿用蒸気圧力の変動が非常に少いかまたは非常にゆつくりであるという特殊の場合には前段の圧力制御は不要となる。またカスケード制御で蒸気流量制御が特性良く行なわれている時には、必ずしも前段の圧力制御を必要としない。

b) 蒸気圧力制御のある場合 蒸気の圧力変動がはなはだしい場合には圧力制御は行なつた方が望ましい。手動制御と直接制御の場合には必要不可欠ともいえよう。カスケード制御で流量制御系を持つ場合でも前段の圧力制御を行なうと流量調節の特性が良くなるので好ましいことである。

3) 酸素富加

i) プロセスの概要

高炉送風への酸素富加は出鉄量増加などのための手段として最近実用化されるにいたつた方式であつて、昭和36年現在で設備されている事業所は全体の約半数である。また使用を開始したばかりであつて、十分な検討が行なわれているとはいえないが、現状について若干の紹介を試みよう。

酸素は冷風本管または混合冷風管に吹込まれる。吹込みに当つては良く混合するように考慮するのは当然であるが、蒸気のようにドレンが生ずるなどの心配はないので、高炉までの距離が短い場合の熱風管への吹込みでなければ、あまり問題とする必要はない。

酸素は酸素発生装置から供給され、圧力は 8~10 kg/cm² の場合が多い。これは高炉送風への吹込みの必要圧力よりかなり高いので、調節弁を2段に設けている場合が多いようである。

ii) 制御系統

熱風中の酸素%を一定に保つ必要があるので、送風流量(温度圧力補正付)と酸素流量の比率制御が行なわれて

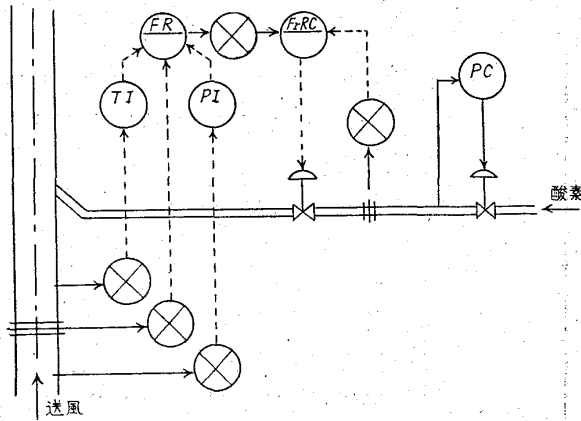


図19 酸素富加制御系統図代表例

いる。送風流量の変更が頻繁に行なわれなければ、酸素流量の定値制御で手動によって設定を変える方式でも酸素%一定の制御は可能ではあるが、現在のところその例はない。代表的な制御系統を図19に示す。

酸素流量制御の上流に酸素圧力制御を設けた例と設けない例とがある。圧力制御は流量調節弁の流量特性の向上と減圧に役立つので、本管圧力の変動がはなはだしければ設けた方が望ましい。またそうでなくても、先に述べたごとく酸素本管圧力が必要以上に高い場合には、調節弁1段では弁座部の流速が臨界速度に達することにもなるので、寿命その他の面で好ましくないとすれば、圧力調節弁を設けて弁を2段にすることは意味があるといえよう。

3. 制御系の特性

送風湿度制御系は、系を構成する要素の中で遅れについて支配的な影響をおよぼすものが湿度の検出装置であるという大きな特徴を持つ。したがって、ここでは、制御系の特性を湿度検出装置にしばり、デューセルと乾湿球式に分けて述べる。

1) 塩化リチウム式湿度計を使用するもの

i) 過渡応答 (13-11, 16-21, 18-5)*

蒸気流量調節弁への信号を、ステップ状に変えた時の蒸気流量と湿度の過渡応答の代表的なものを図19および図21に示す。図20に示された2つの例は配管の径の差があるにもかかわらず同じ傾向を示しているが、図21の例では全く違う特性を示し、しかも蒸気を増加する場合と減少する場合とでいちじるしく様子が異なっている。

このうち、図21の湿度上昇の場合以外については、表20のようにまとめることができる。

* ()内数字は該当する計測部会資料の番号を示す。巻末の付録参照

表1 湿度制御系の動特性 (塩化リチウム)

時定数	55 s
むだ時間	30 s

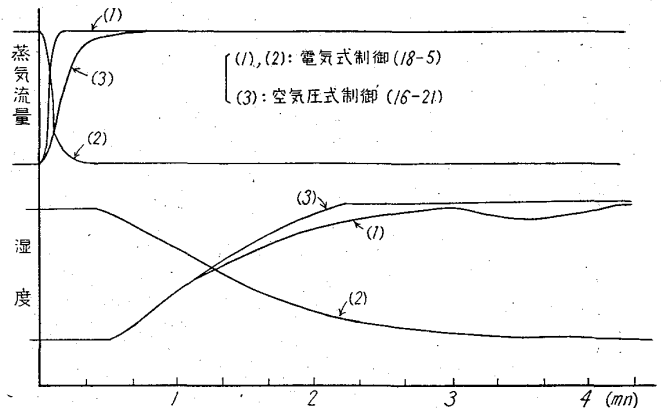


図20 湿度制御系の過渡応答(1) 塩化リチウム

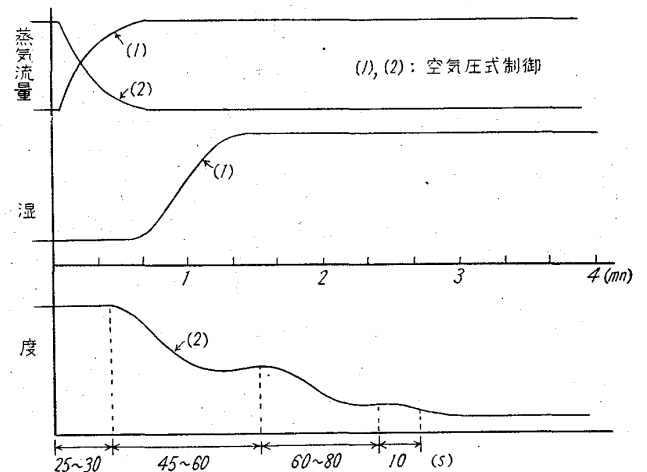


図21 湿度制御系の過渡応答(2) 塩化リチウム

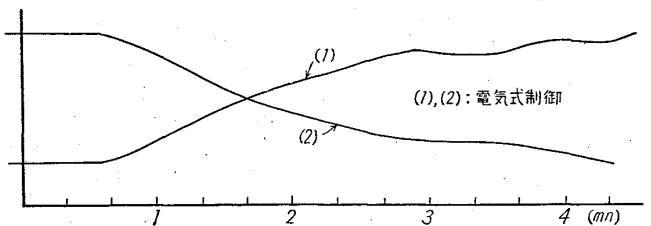


図22 湿度制御系(カスケード)の過渡応答 (塩化リチウム)

なお、湿度→蒸気流量のカスケード制御系について流量調節計の設定を変えた時の湿度の過渡応答を図22に示す。

ii) 周波数応答 (18-5)

蒸気流量調節弁への信号を正弦波状に変えた時の蒸気流量、湿度の周波数応答を図23に示す。この結果より伝

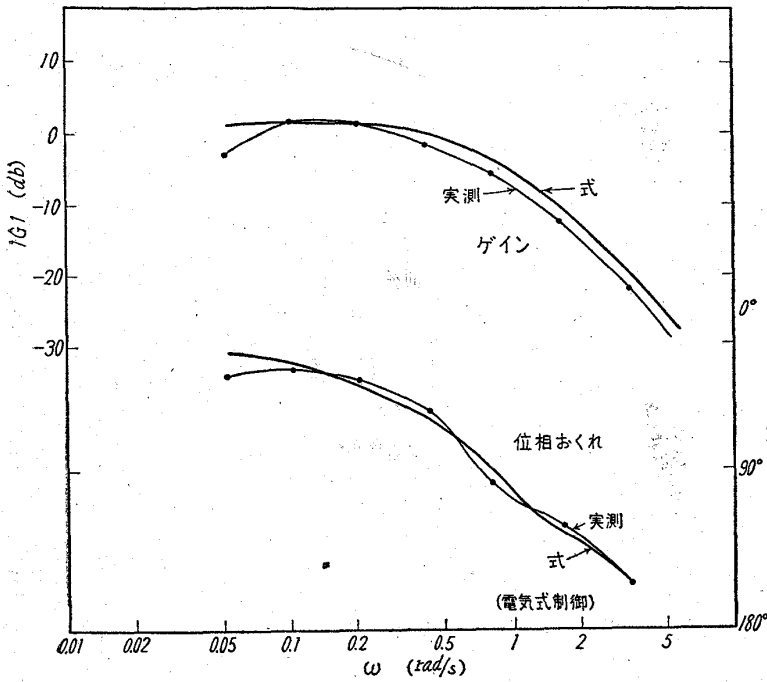


図23(A) 蒸気流量制御系の周波数応答 (塩化リチウム)

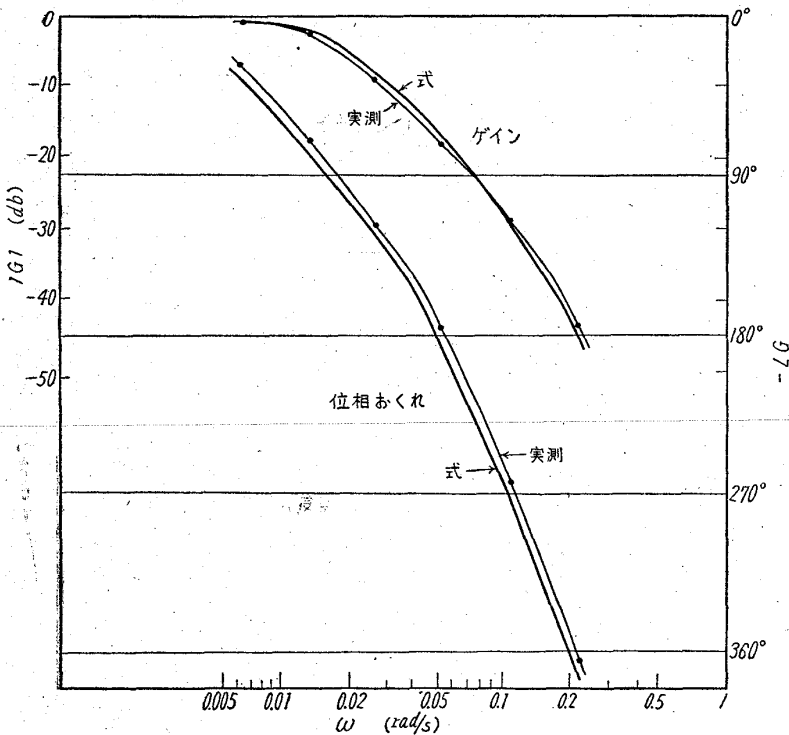


図23(B) 蒸気流量→湿度系の周波数応答 (塩化リチウム)

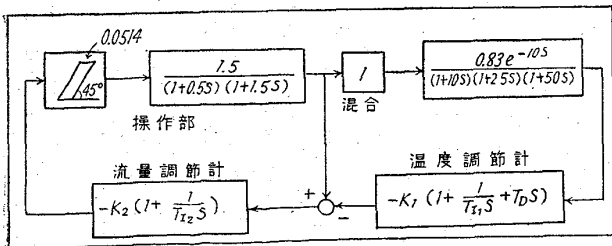


図24 湿度制御系のブロック線図 (塩化リチウム, 電気式制御)

達函数をあてはめて図24のブロック線図を得る。

塩化リチウム発信器のみの伝達函数は図24の右上のブロックより配管のむだ時間3sを除いて

$$Gd = \frac{K e^{-2S}}{(1+10S)(1+25S)(1+50S)}$$

となる。

2) 乾湿球式湿度計を使用するもの

i) 過渡応答 (14-21, 17-4, 19-1-5)

Aと同様の方法で行なつた過渡応答を図25に示す。図に表われている時定数の差はサンプル空気の風速による乾湿球表面の熱伝達率の差によるものと思われる。過渡応答から求めた時定数とむだ時間を表2に示す。

湿度→蒸気流量のカスケード制御系について流量調節計の設定を変えた時の湿度の過渡応答を図26に示す。

ii) 周波数応答 (14-21)

乾湿球式湿度計を使用した系の周波数応答を図27に示す。この結果より伝達函数をあてはめて図28のブロック線図を得る。

乾湿球のみの伝達函数は、図28の右上のブロックより配管のむだ時間1.5Sを除いて

$$Gd' = \frac{e^{-4S}}{1+28S}$$

となる。

3) アナログ計算機によるシミュレーション (18-5)

図24のブロック線図について、調節計の最適調整を行なうために、アナログ計算機より制御系をシミュレートした。アナログ計算機の結線図を図31に、ステップ外乱に対する応答 (最適調整を行なつた場合) を図26に示す。

調節計の調整について、過渡応答の結果からの Ziegler-Nichals の制御面積最小法、アナログ計算機のシミュレーションによる値、それまで現場で採

表 2 温度制御系の動特性 (乾 湿 球)

時 定 数	30~50 s
む だ 時 間	10 s

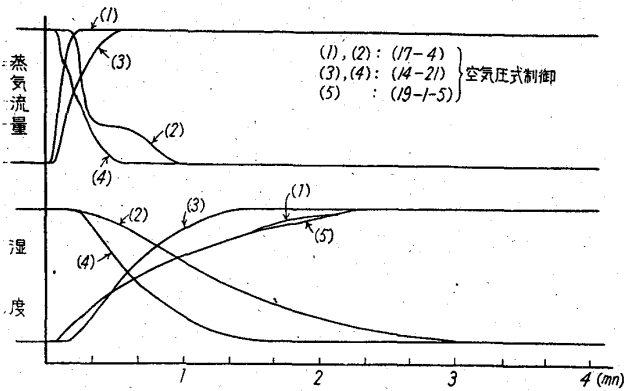


図25 湿度制御系の過渡応答(3) 乾湿球

用していた値をまとめて、表3に示す。調節計常数をシミュレーションにより求めた値に変更することにより、制御系の動特性がいちじるしく改善された。

III. 実施例

1. あらまし

国内各社実施例を総合すると、約半分が検出した湿度から蒸気流量調節計へのカスケード制御方式をとっている。すなわち、高炉別で18例がカスケード制御、直接制御が11例、手動制御が2例となっている。また湿度検出にはデューセルなど塩化リチウム式発信器を使ったもの24例、乾湿球式5例、密度比式2例で塩化リチウム式が圧倒的に多い。図31から図36につぎの3例を示す。

- i) カスケード制御、塩化リチウム式、酸素富加—鋼管川崎
- ii) 直接制御、乾湿球式—富士釜石
- iii) 手動制御、塩化リチウム式—中山製鋼

なお表4に各社の湿度制御の状況を示す。

2. 実例

1) 鋼管川崎の例

送風管中の湿度を蒸気吹込管の蒸気流量にカスケードした例である。これを図31および図32に示す。

これからの問題としては、サ

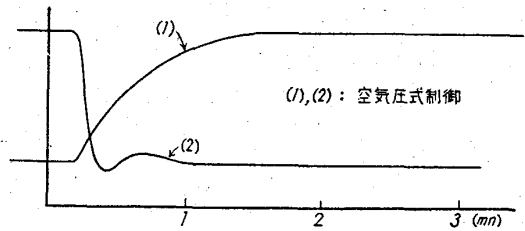


図26 湿度制御系(カスケード)の過渡応答(乾湿球)

ンプリングチャンバの温度を一定にすることで、現在は季節的にサンプル量の調節を行なっている。

図31および図32は制御系統図とサンプリング方法説明図であるが、前者には主要部分の距離を示してある。

なお酸素富加は温度、圧力の補正をした送風流量に対して酸素流量を比率制御している。表31に使用計器の略仕様を示す。

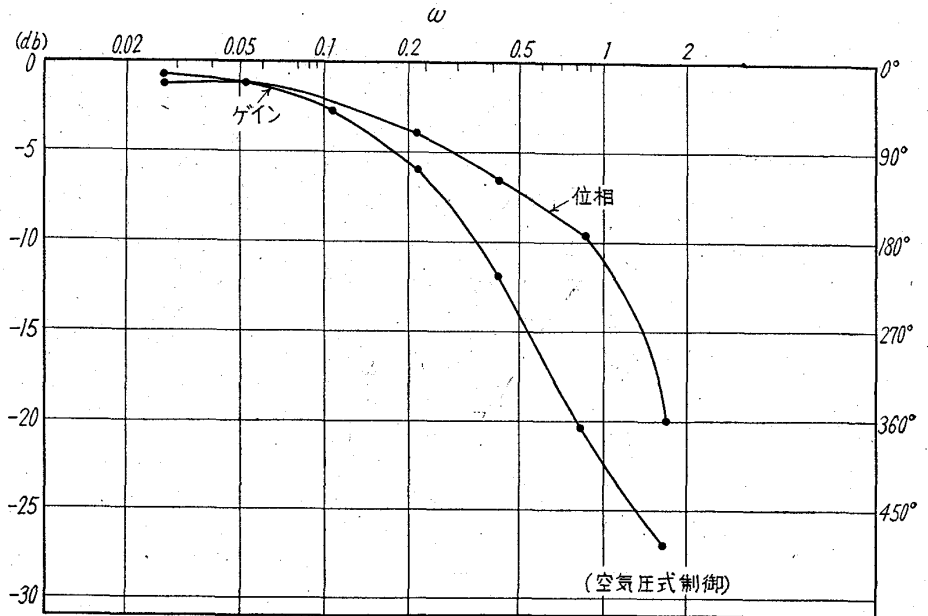


図27(A) 蒸気流量制御系の周波数応答(乾湿球)

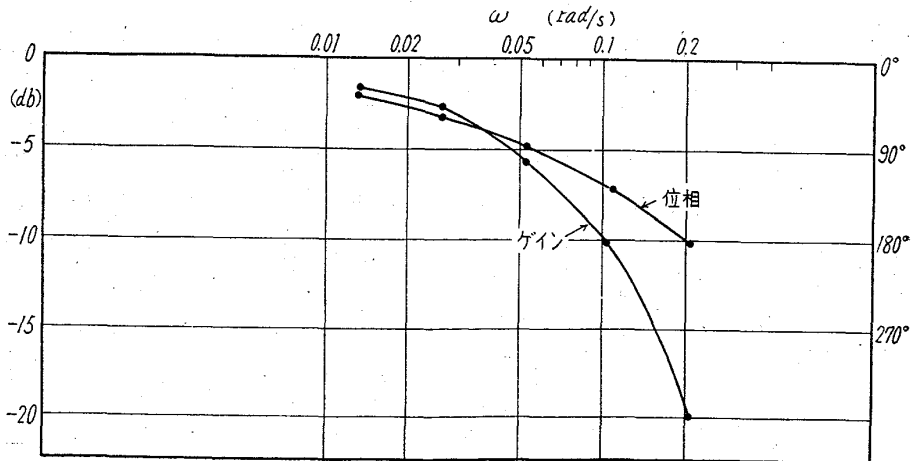


図27(B) 蒸気流量→湿度系の周波数応答(乾湿球)

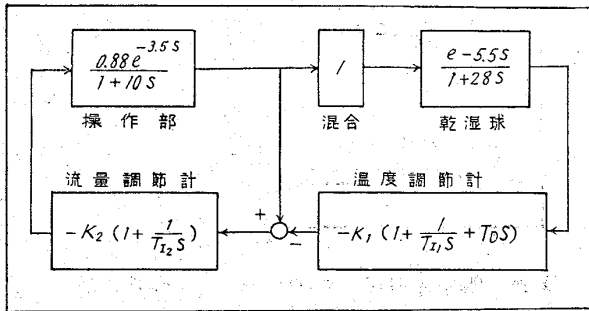


図28 温度制御系のブロック線図
(乾湿球, 空気圧式制御)

表 3 調節計の調整 (図28の場合)

		Z-N法	アナログ 計算機	現場の設定
流量 調節計	比例 帯 積分時間	105% 5 s	50% 5 s	160% 16.6 s
温 度 調節計	比例 帯 積分時間 微分時間	55% 60 s 15 s	50% 50 s 40 s	100% 5 mn 6 s

2) 富士釜石の例

空気圧式による直接制御方式の例である。これを図33および34に示す。

ここでは乾湿球式を用いているが、その値は分析値とかなり良く合っており、問題なく稼働している。

調節弁前に蒸気減圧弁を使用しているのは、蒸気圧力

変動を小さくし、蒸気流量のU字管式差圧発信器の水銀の逆流を防止するためと、調節弁の口径が大きすぎたためである。使用計器の略仕様を表6に示す。

乾湿球式発信器でオーバーフロー式タンクを採用して水の調整を簡単にしたり、水アカによる吸湿不良を防止するため水質を吟味するなどの改善を行なった。

3) 中山製鋼の例

空気圧式による手動制御の例である。これを図35および図36に示す。

発信器は塩化リチウム式である。使用計器の略仕様を表7に示す。

抵抗体で検出箱の風温を測定して、夏期はサンプリンパイプを冷却、冬期は蒸気で保温している。また風圧の変動により箱内の流体速度の変化が露点温度に影響するので、圧力調節弁を設置した。これらにより露点温度で大体 ±1 deg の範囲に湿度が保たれている。

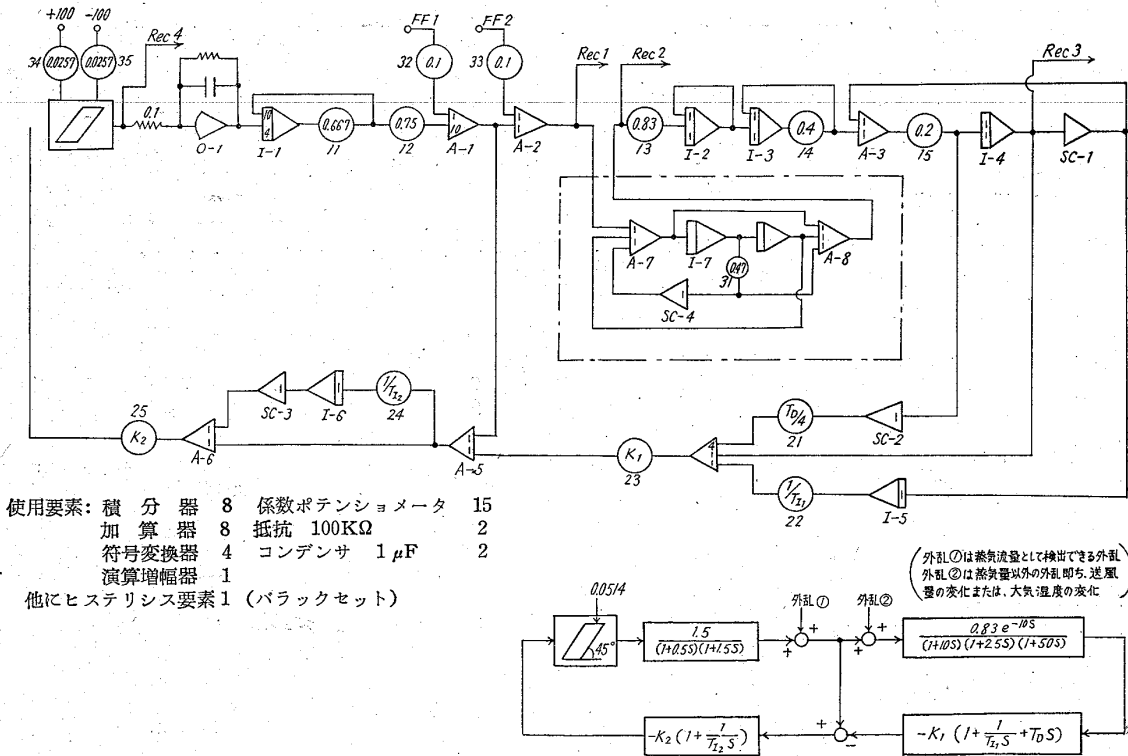
3. サンプル採取, 測定上の問題点の改善例

ここで各社の個々の実施例を問題点別にあげてみる。

1) サンプルの採取という見地から

サンプルの採取位置が蒸気吹込み点に近い場合、冷風管の中の湿度の均一性が良くないと、誤った測定をする恐れがある。このためつぎのような考慮が払われている。(図37参照)

- 1) ノズルの形状……神鋼, 住金小倉
- 2) ノズルの向きおよび形状……鋼管, 川崎, 鋼管鶴見



- 使用要素: 積分器 8 係数ポテンショメータ 15
 加算器 8 抵抗 100KΩ 2
 符号変換器 4 コンデンサ 1 μF 2
 演算増幅器 1
 他にヒステリシス要素1 (バラックセット)

(外乱①は蒸気流量として検出できる外乱
 外乱②は蒸気量以外外乱即ち送風量の変化または、大気温度の変化)

図29 アナログ計算機結線図

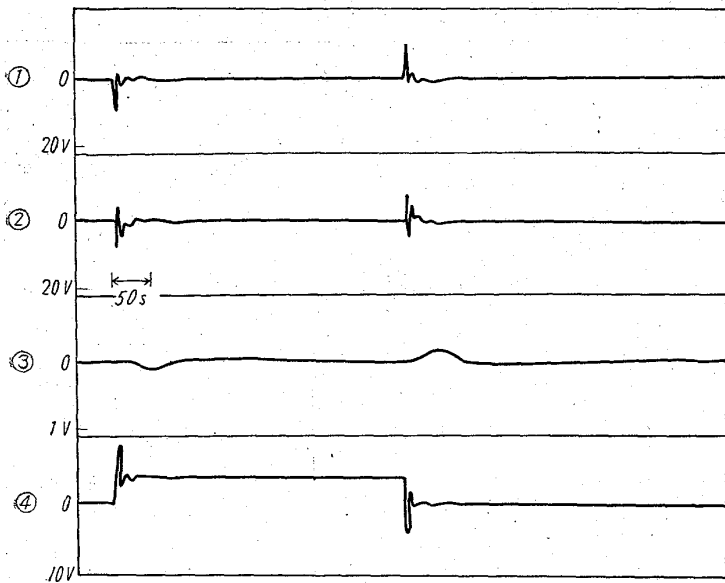


図30(A) 外乱①に対する応答

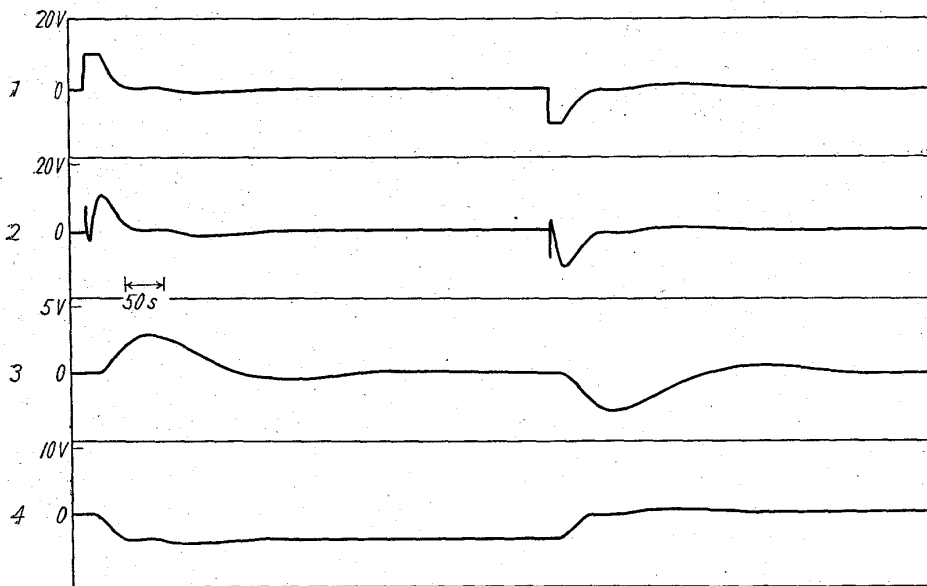


図30(B) 外乱②に対する応答

2) 採取したサンプルの湿度の変化を防ぐという見地から

サンプリング方法は各社とも最も苦心するところで、サンプリング管およびサンプリング箱内の保温を完全にすることが、ドレン化を防止するのに必要である。

以下に具体例を示す。

i) サンプリング導管の保温

- 導管保温の電熱制御……住金和歌山, 神鋼
- 蒸気管抱合せ保温……八幡洞岡, 鋼管鶴見
- 恒温槽を通す……八幡戸畑 (図42参照)

ii) サンプリングチャンバの保温

(i) 塩化リチウム式

- バイパスした送風でチャンバを包む……八幡東田 (図38参照)
- サーモスタット付温湯槽……川鉄千葉 (図39参照)

参照)

- チャンバ内蛇管に蒸気を通す……富士広畑(図40参照)
- チャンバ内蛇管にバイパスした送風を送る……鋼管川崎 (図32参照)
- チャンバ外部より電熱制御……鋼管鶴見 (図41参照)
- 保温材で保温……八幡戸畑 (図42参照)

なお塩化リチウム式では他の方法と違ってサンプル温度がある程度以上になると指示の狂いがあるので、夏期には特に冷却をすることが必要である。

(ii) 乾湿球式

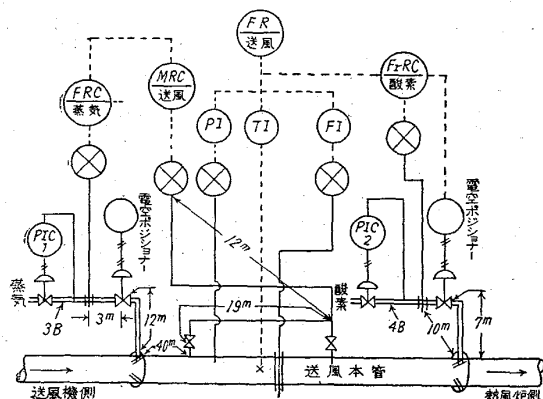


図31 高炉送風湿度制御系統図 (鋼管川崎)

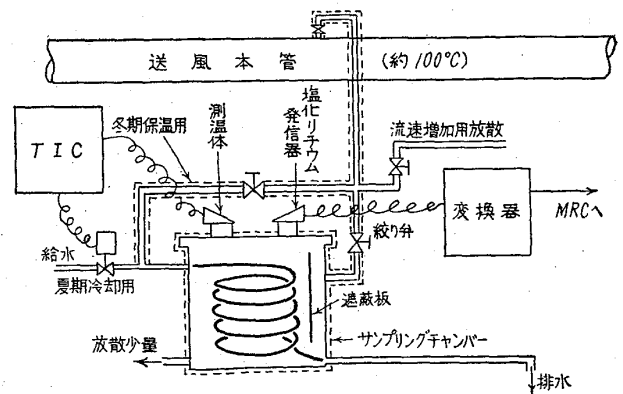


図32 サンプリング方法説明図 (鋼管川崎)

表 4 湿 度 制 御 の 状 況

高 炉 の 名 称	酸素富加している高炉	湿 度 計	
		発 信 器	計器の目盛範囲
八幡東田 3, 4, 5, 6 B.F.		塩化リチウム式	-10°~50°C (湿度に換算)
洞岡 2 B.F.		密 度 比 式	0~50 g/Nm ³
戸畑 1, 2 B.F.		塩化リチウム式	" "
富士室蘭 1, 2, 3 B.F.		"	5~40 "
" 4 B.F.		"	" "
釜石 1 B.F.		乾 湿 球 式	0~35 "
広畑 1 B.F.		塩化リチウム式	0~40 "
" 2 B.F.		"	0~60 "
" 3 B.F.	3 B.F.	"	0~40 "
" 3 B.F.	3 B.F.	"	0~60 "
鋼管川崎 2, 3, 4, 5 B.F.	4 B.F.	"	5~55 "
鶴見 1 B.F.		"	10~50 "
" 2 B.F.	2 B.F.	乾 湿 球 式	" "
川鉄千葉 2, 3 B.F.		塩化リチウム式	5~55 "
住金小倉 2 B.F.	2 B.F.	乾 湿 球 式	0~50 "
和歌山 1 B.F.		"	0~40 "
神 鋼 1 B.F.		"	10~50 "
尼 鉄 1 B.F.		塩化リチウム式	2~60 "
" 2 B.F.		"	" "
中山製鋼 1 B.F.		"	-30~40°C (露点温度)
" 2 B.F.		"	" "
大阪製鋼 1 B.F.	1 B.F.	密 度 比 式	0~80 g/Nm ³

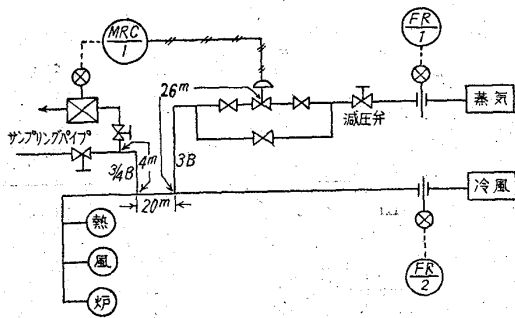


図33 高炉送風湿度制御系統図 (富士釜石)

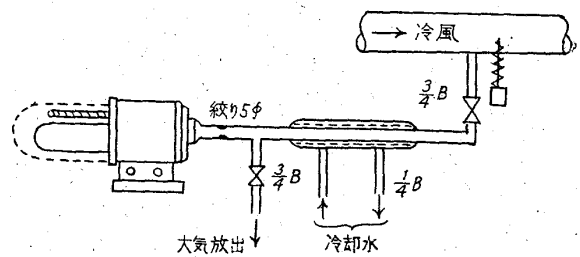


図34 サンプルング方法説明図 (富士釜石)

の 仕 様	制 御 状 況	
	設 定 値	制 御 精 度
電気式, 1台の露点記録計と三位置調節計, ロッキングリレーによる蒸気流量をモーターバルブにて制御		
空気圧式, 蒸気流量を制御 (PI)		
電気式, 断続パルスによるPI動作によりモーターバルブ開度を変え蒸気流量制御		
電子式, 送風蒸気流量比率調節計へのカスケード制御		
〃, 蒸気流量調節計へのカスケード制御		
空気圧式, 蒸気流量を制御	15~20 g/Nm ³	±0.1~0.25 g/Nm ³
〃, 蒸気流量調節計へのカスケード制御	25 〃	±0.5 〃
〃, 〃 〃	25 〃	±0.2 〃
電油式, 〃 〃	30 〃	±0.5 〃
電子式(PI D)蒸気流量調節計(電空PI)へのカスケード制御	25~35 〃	±1.5 〃
電空式, 蒸気流量調節計へのカスケード制御	25 〃	±1 〃
空気圧式, 〃 〃	25 〃	±1 〃
電子式, 〃 〃(操作端ダイヤフラムバルブ)	20 〃	設定値の±2~5 〃
空気圧式, 〃 〃	25~30 〃	〃 ±0.5 〃
電気式, 〃 〃(操作端は空気圧)	25 〃	〃 ±0.3 〃
空気圧式, 〃 〃	25 〃	〃 ±1 〃
〃	25 〃	±2 〃
〃	23 〃	±2 〃
〃, 手動遠隔制御	28 〃	設定値の±1 〃
〃, 〃	26 〃	〃 ±1 〃
〃	15 〃	〃 ±2 〃

表5. 使用計器略仕様

	計器名称	発信方法	測定位置	目盛範囲	設定値	備考
FRC	蒸気流量記録調節計	オリフイス	蒸気吹込管	0~30×100 kg/h	0~30×100 kg/h	電空式
MRC	湿度記録調節計	塩化リチウム式	サンプリングパイプ	5~55 g/Nm ³	25~35 g/Nm ³	電気式
FR	送風流量記録計	オリフイス	送風本管	0~1600 Nm ³ /mn	1300~1600 Nm ³ /mn	〃
Fr RC	酸素流量比率記録調節計	〃	酸素吹込管	0~32 Nm ³ /mn	送風に対し 2%	電空式
PIC ₁	蒸気圧力指示調節計		蒸気 〃	0~20 kg/cm ²	10 kg/cm ²	空気圧式
PIC ₂	酸素 〃		酸素 〃	0~20 kg/cm ²	〃	〃

表 6 使用計器略仕様

計測器名称	発信方法	測定位置	
FR 1	蒸気流量記録計	オリフィス	蒸気吹込管
FR 2	冷風 " "	" "	冷風本管
MRC 1	湿度記録調節計	乾湿球式	サンプリングパイプ

目盛範囲	設定値	備考
0~2,000 kg/h	1,100~1,200 kg/h	電気式
0~1,800 Nm ³ /mn	1,400~1,600Nm ³ /mn	"
0~35 g/Nm ³	15~20 g/Nm ³	空気圧式

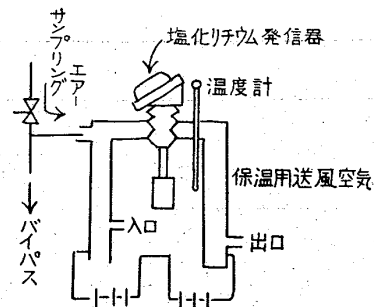


図38 八幡東田

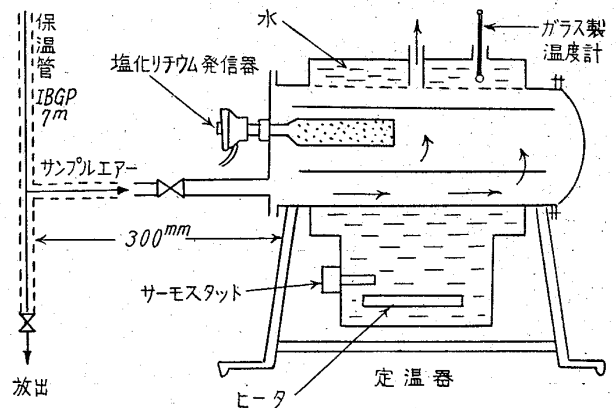


図39 川鉄千葉

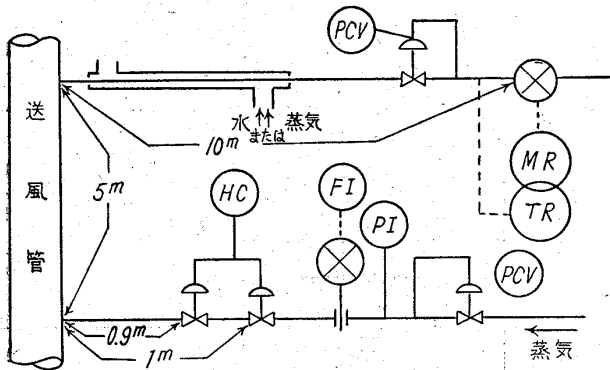


図35 高炉送風湿度制御系統図 (中山製鋼)

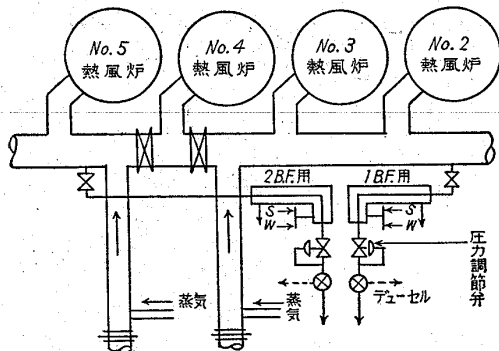


図36 サンプリング方法説明図 (中山製鋼)

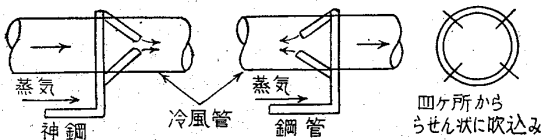


図37 蒸気吹込み方法

○導管とともにチャンバを電熱で 60°C に制御……住金和歌山 (図43参照)

(iii) 密度比式

○チャンバ全体を保温…八幡洞岡 (図44参照)

○チャンバ電熱保温…大阪製鋼 (図45参照)

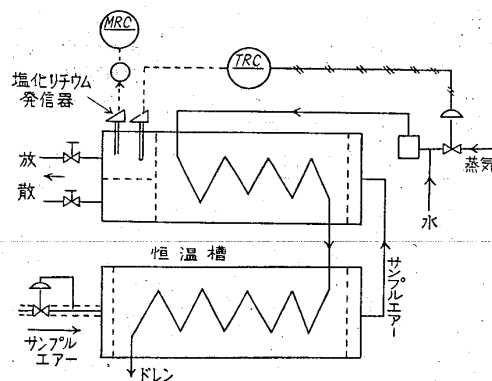


図40 富士広畑

なおあまり保温のため温度を上げ過ぎると、機械的な損傷が早いようである。(八幡洞岡)

3) 温度計自体の測定誤差を小さくしようとの見地から

i) 塩化リチウム式

チャンバ内のサンプルガスの流れが速いと湿度の測定値の誤差が大きくなるため流速をおとしている。その具体例をつぎに示す。

○チャンバ内に遮蔽板取付……尼鉄 (図46参照) 鋼管川崎 (図32参照) 川鉄千葉 (図39参照)

○チャンバ内を 2mn (保温効果をもねらつて) …富士広畑 (図40参照)

表7 使用計器略仕様

計器名称	発信方法	測定位置	目盛範囲	設定値	備考	
MR	露点記録計	塩化リチウム式	サンプリングパイプ	-30°~40°C	No.1B.F. 28 g/Nm ³ No.2B.F. 26 "	電気式
FI	蒸気流量指示計	オリフィス	蒸気吹込管	0~1600 kg/h 0~800 "	可 変	"
TR	温度記録計	抵抗式	サンプリングパイプ	-30°~+40°C	40°C 以下	"
PI	圧力指示計	ブルドン管	冷風本管	0~20 kg/cm ²	10 kg/cm ²	直接式

○2個の恒温槽……八幡戸畑 (図42参照)

ii) 乾湿球式

サンプルガスの流速を調整することおよび湿球の水を

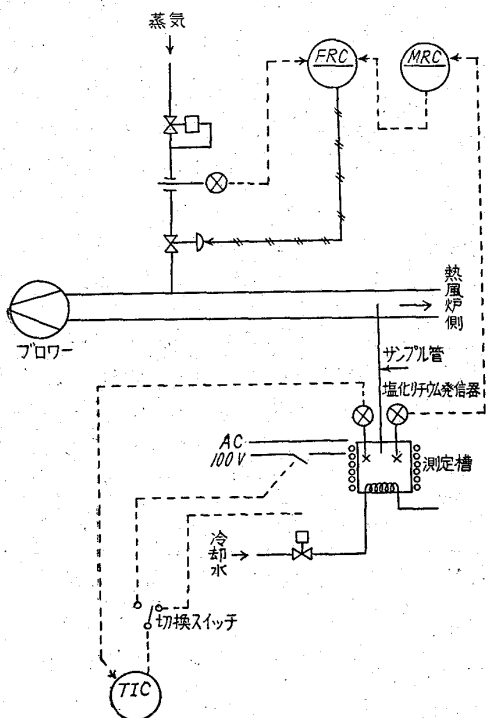


図41 鋼管鶴見

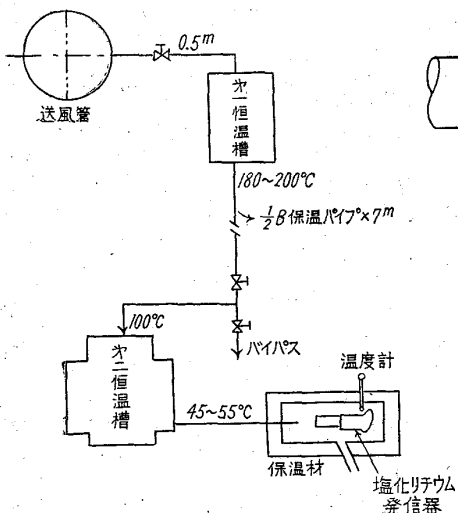


図42 八幡戸畑

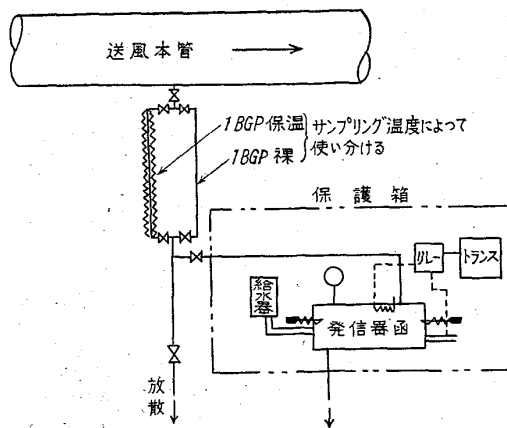


図43 住金和歌山

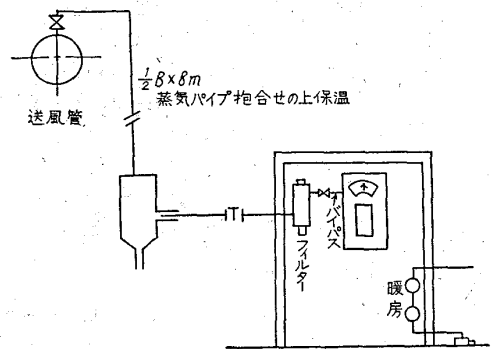


図44 八幡洞岡

十分補充することが必要である。

○弁で減圧、マンメータで測定……住金小倉 (図47参照)

○サンプルエアを湿球の尻側から当てる (ガーゼへのダスト付着が少い) ……鋼管鶴見

○水の自然吸上式を滴下式に改造……神鋼

○ガーゼの袋を湿球の先端に深くはめこむ……住金小倉

iii) 密度比式

○サンプルガス圧力を大気圧位まで下げたのち、モータで 3 l/mn を吸引……大阪製鋼

○翼車のベアリング保護のため温度を 40°C まで下げた……八幡洞岡

4) 測定のおくれを小さくするという見地から

測定のおくれをできるだけ小さくするためおよび温度降下を少くするため、流速を大きくするように各社ともページ管を使用している。

4. 効果

以上に述べた制御を行なつてどのような効果が表われているかについて見ると次のごとくで

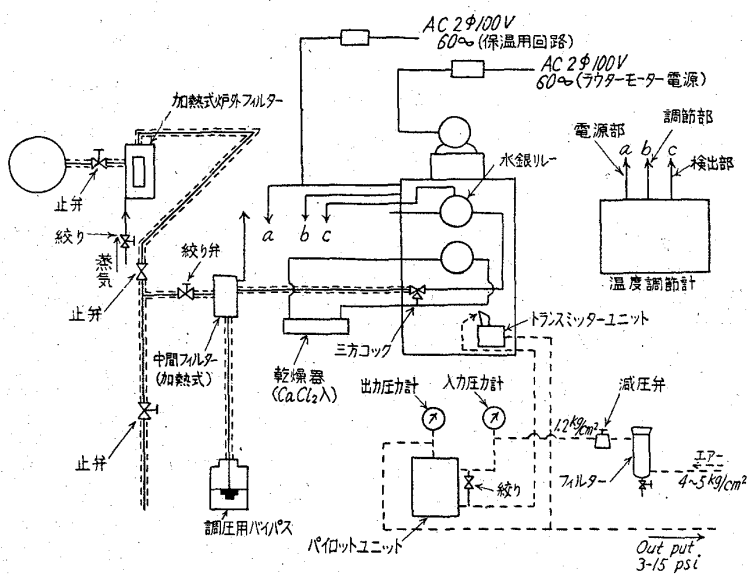


図45 大阪製鋼

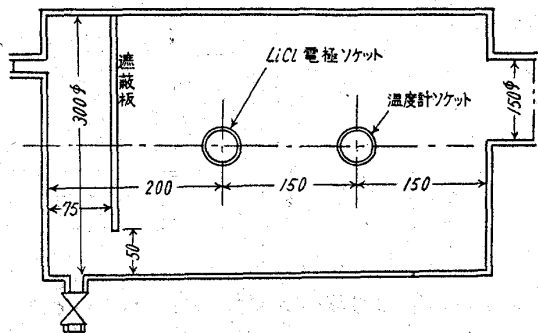


図46 尼鉄

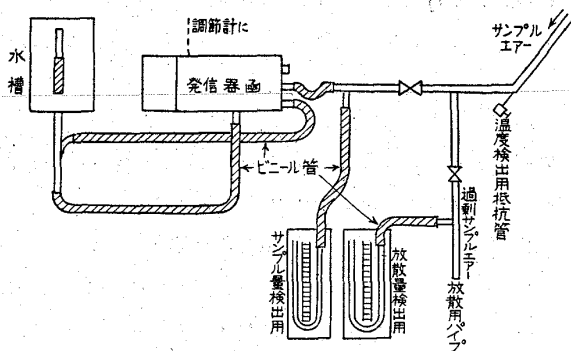


図47 住金小倉

ある。

1) 出鉄量の増加

1g/Nm³ の添加により 2.5 t/d の増加が見られた(住金小倉) 数量的には掴めないが増加の傾向にある(川鉄千葉, 尼鉄, 神鋼). 湿分 15~25g/Nm³ の間で 10g/Nm³ の増加に対し, 出鉄量は 5% 増加した。(鋼管鶴見).

2) 炉況の安定

炉況は安定した(住金小倉, 鋼管鶴見). 炉況の調整に効果があつた(八幡). 棚吊りなどを生じた場合, 従来

のごとく減圧送風せずに蒸気多量吹込みで安定させ得た(富士釜石). 棚吊り, スリップがなくなり, 安定した(尼鉄, 鋼管川崎).

3) コークス低下

1 kg / pig t の低下があつた(住金小倉). コークス燃焼速度が速くなり, コークス比は 0.7 から 0.55 位になつた(尼鉄). 数量的には確認されていないが低下した(富士釜石, 鋼管川崎). 1.5%低下した(鋼管鶴見).

4) 熱的バランス

自動化のため, 従来のように送風量の増減にもなつた絶対湿度量の変化と, それに応じた送風温度および吹込蒸気量の増減の手数がはぶけた(富士広畑). 熱変動が減少した(鋼管川崎).

水蒸気添加を均一に保持して, 円滑な操作が可能となつた(神鋼). 送風温度が送風中湿分 10g/Nm³ の増加に対して, 平均 82°C の上昇となつた(鋼管鶴見). 送風温度が 800°C から 1,000°C に上げられた(尼鉄). Si の変動がなくなり, 溶融帯の温度が安定した(尼鉄).

5) その他

鉄鉄成分の変動が減少した(鋼管川崎, 鶴見). 高炉ガス中の H₂ 成分が 0.2~0.4% 程度多くなつた(尼鉄). 以上に見るごとく制御の効果は大體 5 つに大別されている。

IV. 保 守

自動制御にとって保守作業が特に重要であるのは, 今さらいうまでもないが, 特に湿度制御の場合は検出の精度への影響が大きいのでその重要性も高い. 保守作業のやり方, 頻度によつて検出の精度が大きく変わる. それだけにこの場合は保守の基準を確立しておくことが重要になるわけである.

一般的な保守基準をきめる際に問題となるのは保守の頻度である. 装置, サンプルガスの温度制御のやり方などによつて保守の頻度が異つてくる. そのため各社の実状をアンケートから集計してみたが, 実際は各社とも大同小異であり, 一つの標準的な線があるようなのでこれに基いて頻度を決定してみた.

また記述は, 使用台数の多い塩化リチウム式と乾湿球式について行ない, 密度比式については使用台数が少ないので(1基のみ使用, 1基が計画中)省略した. また記録計, 調節計, 調節弁などの一般的な保守についても省略し, 湿度計に特有な面だけに限定した.

頻度の表現については, たとえば 1カ月に 1回の場合

は 1/m, 同様に 1日に 1回の場合は 1/d, 1週に 1回の場合は 1/w という表示方法を取った。

1. 塩化リチウム式

1) 保守の頻度

各社の実績に基いた標準の頻度は表 8 の通りである。

表 8 保守の頻度 (塩化リチウム式)

保守作業の内容		頻度
検出部	塩化リチウム溶液の塗り変え サンプルガス温度の点検 サンプルガス流量の点検	1/m 1/d ~ 3/d 1/d ~ 3/d
受信部	指示値の点検	1/w
	計器の作動状況の点検	1/d

2) 塩化リチウム溶液の塗り変え

塩化リチウムの塗り変えは通常は 1/m で十分であるが、特に送風中に油分が多い場合はさらに回数を多くする必要がある。発信器の表面が油の薄膜で覆われると応答が遅くなるので塗り直す必要が生ずるからである。

塗り直しの際には、まず発信器を測定槽からはずし金属性のガードをはずす。むき出しになった電極に静かに流水をかけて古い薬品を洗い流すが、流水としては水道の蛇口から静かに流れ出す水を利用するのが簡便であり、良いようである。この時水流があまり強いと電極線の配列を乱すので注意する必要がある。

洗浄が終わったら埃がつかないように注意しながら乾燥させ、スポイトで塩化リチウムの飽和溶液を電極に注ぎガラス繊維に十分浸みこませる。これにガードをつければ塗り変えが完了する。

塗り直しの際に、特に注意することは (1) 電極に直接指をふれないようにすること。(2) 電極に内蔵された測温抵抗体のリード線をねじらないことなどである。

3) サンプルガスの点検

サンプルガスの温度が露点以下に低下するとサンプルガス中の湿分がドレンになるので、サンプルガスの湿度が被測定空気の湿度を代表しなくなる。このためサンプル採取配管中で最も低温になる部分でもその時の露点以上の温度に保たなければならない。また発信器部分での温度は発信器が動作範囲に入るように保つ必要がある。メーカーから出されている動作範囲は図 6 のとおりであるが、この図の相対湿度を湿分 (g/Nm³) に書き直すと図 48 のようになる。

この図からわかるように湿度の変動が小さい場合はサンプルガスの温度を比較的広い巾にわたって変えることができるが、湿度の広い範囲にわたって使用する場合は

サンプルガスの温度に許される変化の中は小さいので、かなり高い精度で制御する必要がある。

サンプルガスの流量については、電極が 0.25m/s 以上の風速にさらされると誤差が生ずるので、風速を下げるか、電極に遮蔽を設ける必要がある。また配管長さによるムダ

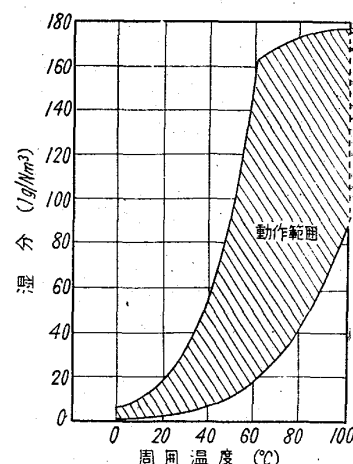


図 48 周囲温度と湿分

時間を小さくするため、測定槽に入る前でサンプルガスの一部をパージしておくといよい。

2. 乾湿球式

1) 保守の頻度

標準の頻度を表 9 に示した。

表 9 保守の頻度 (乾湿球式)

保守作業の内容		頻度
検出部	ガーゼの交換 給水の点検 サンプルガス温度の点検 サンプルガス流量の点検	1/w 1/d ~ 3/d 1/d ~ 3/d 1/d ~ 3/d
受信部	指示値の点検	1/W
	計器の作動状況の点検	1/D

2) ガーゼの交換

ガーゼが汚れてくると、表面からの水の蒸発が妨げられるため指示値に誤差が生ずる。また油の付着は発信器の応答速度を遅くするので、周期的にガーゼを交換する必要がある。ガーゼは測温抵抗体に密着するようにきつちりした寸法で袋状に縫っておく。ガーゼの厚さは 2 枚 ~ 3 枚程度が良い。

3) 給水の点検

水槽への給水は水道水を用いる。工業用水では水あかなどがたまり、ガーゼの汚れをひどくする恐れがある。蒸留水を使っている例もあるが水道水で十分である。発信器に内蔵されている水槽はオーバーフロー式になっているが、常にわずかづつオーバーフローする程度にしておく。

4) サンプルガスの点検

サンプルガスの温度が低下して露点以下になるとドレンになるので誤差を生ずる。これはデューセル式の場合

と同様であつて、配管各部がいずれも露点以上になるよう保温を行なう必要がある。

通常、乾湿球式の記録計は乾球湿球の温度から、湿度の演算を行なわせる型式なので、サンプルガス温度が変動しても指定温度 ± 10 度の範囲内では精度が保たれる。

サンプルガスの流量については、塩化リチウム式とは逆に測温管部分の風速が 3m/s 以上あることが必要である。また配管のムダ時間を小さくするため測定槽の入口でサンプルガスの一部をパージしておくといふ。

3. 校正

現在のところ、標準湿度を簡便に作る方法がほとんどないので、発信器の絶対検定は難しい。そのため発信器の校正は比較検定によるのが簡単である。比較の標準に用いるものとしては、(1) 乾湿球、(2) 露点計、(3) 吸収式などがあるが、取扱いの簡便さから考えてアスマン乾湿球湿度計が適当である。アスマン湿度計を用いて、測定槽の手前でパージしているサンプルの湿度を測定し、被検定計器の指示値と比較する。

もう一つの方法は、送風湿度を送風流量、送風添加蒸気流量、大気湿度から計算で求め、指示値と比較するやり方である。この場合にも大気湿度の測定にアスマン湿度計を用いるが、送風および蒸気の流量測定の誤差が入るので前者の方法より精度は悪いが簡便に行ない得る利点がある。

記録計のみの検定は、規定の抵抗値を栓型抵抗器で与えて行なえばよい。

V. 今後の問題点

1. サンプルング方法に関して

実施例の項で述べたごとく、サンプルングエアの導管およびチャンバ内での保温が、やはり大きな問題点である(各社)。その他送風々圧の変動によるチャンバ内風速の影響の除去(尼鉄、川鉄千葉)や、サンプルの採取位置(住金小倉)、およびサンプルング装置の標準化(富士室蘭)などがある。

2. 湿度の測定方法に関して

湿度指示の信頼性(住金小倉)、塩化リチウム式の精度維持(川鉄千葉)、塩化リチウム電極の径年変化による感度低下(尼鉄)、乾湿球式で供給水の不純によるガーゼの汚れが早く、蒸留水を使用するには量が多すぎるために純水対策が必要である(住金和歌山)、給水を必要としない発信器、ただし流速に制約されず、ミストダストの影響の少ない発信器の開発(神鋼)、さらに信頼度の高い検出端の開発(鋼管鶴見)、湿度指示の校正を何で行なう

か(鋼管鶴見)などが問題である。

3. 制御全般に関して

出銑減圧の際蒸気吹込みを停止するが、カスケード制御のため再び自動に復帰させるのが多少煩雑である(川鉄千葉)、送風量のレベル変更時の追従性の良否(住金和歌山)、蒸気吹込み点と塩化リチウム発信器間の距離および塩化リチウム検出部に当る風速が小さいため(サンプル採取に最小限の流速は必要である)時間遅れが大きい(富士広畑)、蒸気吹込点を検出端に近づける(コンデンスする)ことおよび蒸気圧力の変動(八幡戸畑)、周波数応答試験では湿度制御系は安定で、蒸気流量とカスケード制御する必要はないが、湿度検出部の不安定さのためカスケードにしている。いかにして安定性を実現するか(鋼管鶴見)などの問題があげられている。

以上、問題点を列挙したが、総じていうとサンプルングに関する種々の課題が中心であつて、これらが解決できれば、大部分の問題が解消するといつても過言ではないであろうと思われる。

(付録) 計測部会提出資料一覧表

資料番号	資料名称	提出会社
計分13-9	高炉酸素富化操業における計測について	鋼管鶴見
計分13-10	熔鋸炉吹込空気の湿度自動調節について	神 鋼
計分13-11	高炉送風に関する制御	富士広畑
計分14-21	高炉送風湿度制御系の動特性	鋼管技研鶴見
計分16-4	高炉酸素富化操業に伴う計装について	鋼管川崎
計分16-21	Dew-cel 型湿度調節計の特性試験について	尼 鉄
計分17-2	広畑第3高炉の計装	富士広畑
計分17-4	高炉送風湿度の制御について	住金小倉
計 18-5	高炉送風湿度の制御について	鋼管技研
計19-1-3	高炉計測設備について	住金和歌山
計19-1-5	高炉送風湿度制御について	富士釜石
計19-1-6	高炉送風湿度調整装置について	中山製鋼
執筆担当者		
1. まえがき	日本鋼管(株)本社	中村 昌平
2. 構成	川崎	坪井 邦夫
	水江	山本 倫久
	技研	田島 治
3. 実施例	川崎	朽木 浩蔵
	〃	市野瀬博美
	〃	小柳 弥夫
4. 保守	鶴見	大西 英明
5. 今後の問題点	川崎	朽木 浩蔵