

討 3

高炉の炉況に及ぼすガス分布の影響について

日本鋼管 福山製鉄所 樋口 正 昭

1. 緒 言

高炉内のガス分布は、現在、最もわかりにくく、且つ実操業上で最も重量な問題の1つである。特に、大型高炉では、炉口部での装入物分布が不均一となりやすいことや、ムーバブルアーマの最適使用方法の検討とも関連して、炉内ガス分布の問題は一層重要視される傾向にあると言えよう。

一般に、高炉内における理想的なガス分布を考える場合、以下の3点に留意する必要があるだろう。

- 1) 炉内通気性が確保され、ガスパスの変動が少ないこと。
- 2) 炉壁付近のガス流れが、炉体損傷或いは大巾な炉体熱損失を生じない水準にあること。
- 3) 還元ガスが、熱交換及び反応の両面で、有効に利用されること。

しかし上記 1)～3)は、相反する条件を含んでおり、実際面で、各項をそれぞれ最良とすることは困難である。それ故、最近の大型高炉に見られるような高速度操業下では、円滑な荷下りを維持するため、ある程度迄譲歩したガス分布を指向することも必要となり、又、燃料需給のタイトな条件下では、上記 3)に、やゝ重点をおいた分布を指向する場合もあるだろう。

いずれにしても、長期的に安定操業が可能となる範囲で、上記3点が満足されるような分布が、高炉における理想的なガス分布と言えよう。

しかしながら、炉内ガス分布と炉況との対応性、或いは、種々の分布調整アクションをとった場合にそれらが及ぼす具体的な効果については、必ずしも明確化されていない。

その理由として、第一に、炉内ガス分布を把握する各種センサーの開発が、炉内の高温や、ダストによる損傷等のため遅れていたこと、第二に、装入物分布実験等による場合、縮尺モデルはもちろんのこと、実炉スケールで実施した場合でも、実炉との対応をとりにくいことが挙げられよう。

NK福山では、上述の観点から、昭和42年ごろより、各種炉内センサーの開発に努め、炉況との対応を検討してきたが、最近では、その寿命、効果共々満足できる状況にあり、安定操業を遂行する上で重要な指針となっている。

本報告では、これらによって得られたデータをもとに、炉況とガス分布の関係について述べると共に、現状の問題点にふれることとする。

2. 炉内ガス分布の把握手段

福山の各炉では、炉口部に設置した赤外線 I T V により、装入物表面の温度分布を連続的に捕えている。

粉塵を伴う上昇ガス流によって温度パターンが不鮮明になることもあるが、この装置は同時に炉口部での装入物挙動を観察できる利点があり、分布調整アクションの効果把握にも応用している。今後の改善点としては、低温領域での測定精度アップ等が挙げられる。

一方、炉口部における水平ゾンデの開発を鋭意進め

てきた。当初は、可動式のものを 2 B F に設置したが、現在は、固定式のものに換え、各炉共 4 方向に設置している。図 1 に 5 B F の例を示すが、炉口断面上で計 20 点のガス温度及び組成を、連続的に測定

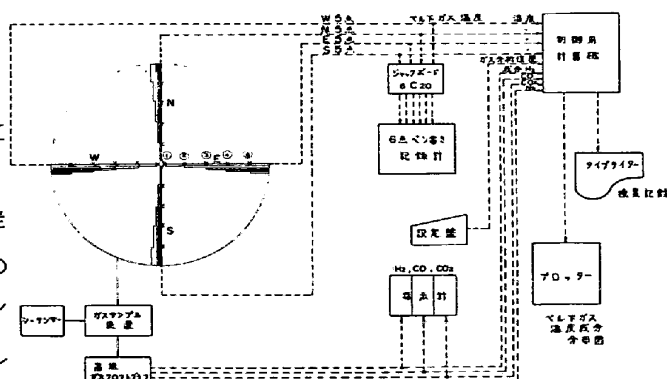


図 1 炉口水平ゾンデ測定システム (5 B F)

記録し得る。このゾンデの寿命は、現状で3～4か月である。しかし希に、ゾンデ先端部が垂れ下がり、データの信頼性を欠くことがあるため、現在、水冷式ゾンデを開発試用中であるが、その寿命は少なくとも一年程度と推定される。この他5BFでは、ストックライン下4.9mに可動式ゾンデを設置している。

このゾンデは、断続的な使用方法となるが、ガス分布の変化を明確に捕え得る利点があり、主に、中長期的な炉況管理に威力を発揮している。

炉壁温度は、炉体管理面のみならず、シャフト部のガス分布を捕える上で、最も有効な手段の一つであるから、福山では、事情の許す限り多点測定（例えば5BFのシャフト温度測定点は32か所）とする方針とし、その劣化等に対する管理も強化している。

一方、炉下部においては、羽口径や、燃料吹込量の偏りによって、円周方向に不均一を生じさせないように、羽口毎に送風流量計を設置し、衝風の配分状況を常時監視している。（図2に、3BFにおける測定例を示した。）この他、炉口部におけるガス流速分布を捕える計測装置が望まれるが、現状では、その耐久度の面で問題が残されている。径方向の還元ガス量の分布を知ることは、操業への応用はもちろん、炉内現象の解明に大きな手がかりとなるだけに、今後の研究が待たれるところである。

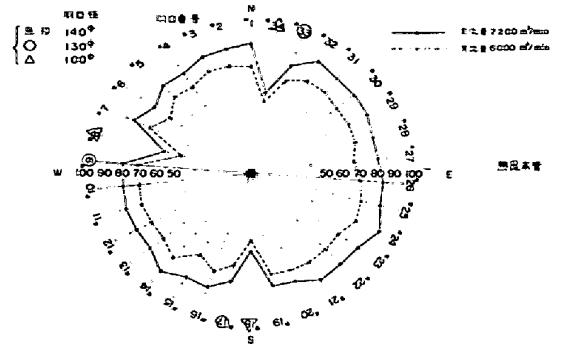


図2 羽口送風流量計による測定例（3BF）

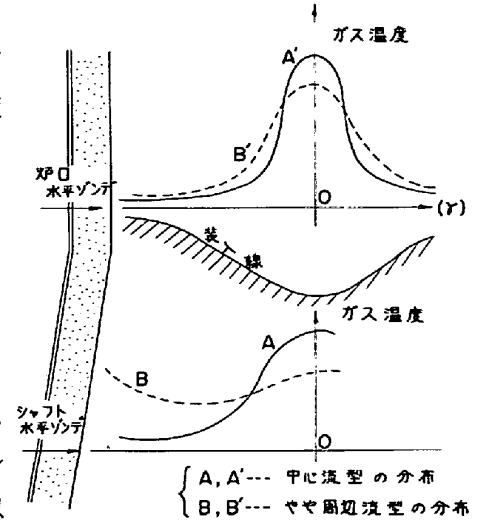


図3 中心流操業と周辺流操業

3. 炉内ガス分布と炉況

3-1 中心流操業と周辺流操業

中心流操業、周辺流操業の定義は、必ずしも明確でないが、ガス流速分布を捕えることが困難なため、実際面では、炉壁温度レベルや、炉内温度分布等で判断されているように思われる。それ故、以下では、温度分布によってガス分布を論じることとしたい。

大型高炉では、ベル径の拡大に伴いベルクリアランスが相対的に減少しているため、V型の装入物分布となり、結果的に中心流型のガス分布となりやすいように思われる。実際に福山の各炉共、アーマー等による特別な操作をしない限り、概ね、中心流型の分布となっている。図3は、5BFの炉口部及びシャフト部の各水平ゾンデによって得られる温度パターン例を示すものである。シャフト部の温度パターンには、周辺流が助長されるケースが見られるが、その場合、炉口部の分布はやゝブロードなものとなる。従って、炉口径方向各点の測定値を次式によって近似し、中央突起部のシャープさの度合を示す C_2 をガス分布指数（G指数）として扱うことにより、ガス分布を定量化し、その変化を連続的に追跡できるように思われる。1)

$$Tr = C_1 \exp(-r^2/2C_2^2) + C_3,$$

(Tr ; 径方向任意の位置における温度、 r ; 炉中心からの距離、

C_1, C_2, C_3 ; ガス分布によって決まる定数)

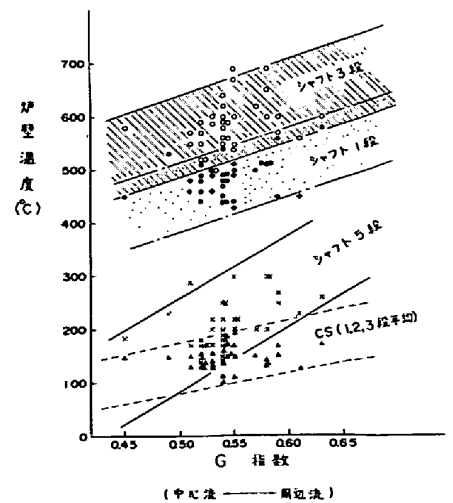


図4 炉体温度とガス分布

図4に示す5BFの炉体各部の温度との関係は、ガス分布状況が、炉口部の温度パターンによって、捕えることを示唆するものであり、以下では、この指数を用いて炉況との関連を述べる。

3-2 炉内通気性とガス分布

装入物の分布形態によって差異はあると思われるが、福山では、図5に示すように周辺流傾向になると通気性が低下する傾向があり、風圧変動も多くなるようである。又この時、図6に示めすように、ダスト発生量が増加する。これは、粉の割合の多い周辺部のガス流速が上昇するためと思われるが、周辺流ぎみの時のダスト中Feが多くなっている現象も見られ(図7)、焼結鉱の還元粉化が生じやすい条件下にさらされることも考えられるので、さらに検討を進めて行きたい。

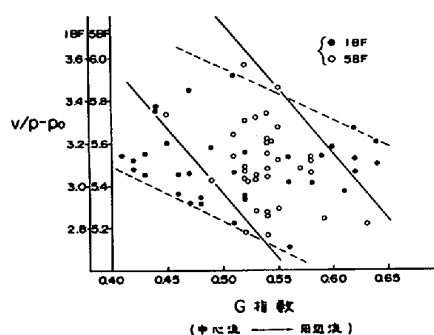


図5 炉内通気性とガス分布

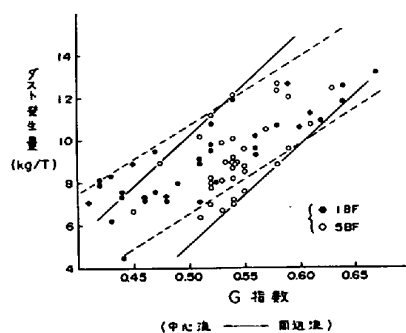


図6 ダスト発生量とガス分布

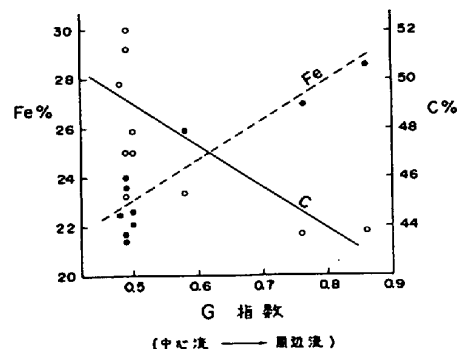


図7 ダスト成分とガス分布

3-3 燃料比とガス分布

福山1BF及び5BFについて、補正燃料比とガス分布の関係を図8に示めした。この図から、燃料比を最少とする最適ガス分布の存在することがうかがえる。

図9、10は、それぞれシャフト効率とガス分布、炉体熱損失とガス分布の関係を示めすものである。シャフト効率についてみると、ある程度迄、周辺流型とした方が、高い値を示めすようである。なお、G指数の大きいところで横ばいとなっているのは、炉周辺部のO/Cの高い部分での通過ガス量が増して、温度が上昇し、ソリューションロス有助長する雰囲気になるためと思われる。一方、炉体熱損失についてみると、周辺流になるほど増大しており、両者の相対的な関係によって、燃料比を最少とする分布が存在するように思われる。

3-4 羽口破損とガス分布

羽口破損は、ガス分布の他に、種々の要因が作用して生ずるものであり、一概に論ずることはできないが、福山では、幸いに、5本の高炉共、同一の原料条件で稼動しており、原料性状等が変化した場合には、各炉共通の現象として現われるため、ガス分布の変化による影響は、比較的把握しやすいといえる。

即ち、これまでの操業データを検討した結果、周辺流がある限界以上に達した場合、破損頻度のふえることが確認されており、前項で述べた低燃料比型の分布をねらう場合にも、十分な配慮をする必要がある。

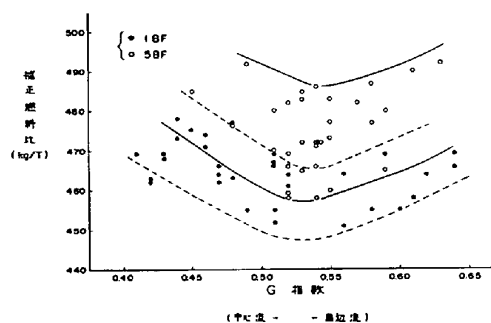


図8 補正燃料比とガス分布

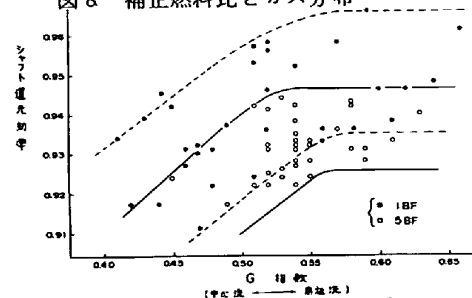


図9 シャフト効率とガス分布

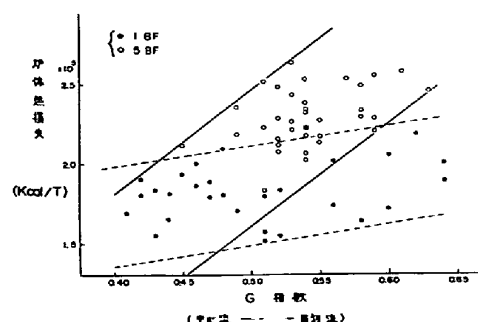


図10 炉体熱損失とガス分布

4. 炉内ガス分布のコントロール

4-1 炉口装入物分布の変更

炉口径の拡大が進むにつれて、例えば装入線とか、層厚の変更による場合には、有効な効果を得るためのアクション量が、従来に比して大巾となるため、組み合わせによる効果をねらうのが得策のように思われる。一方、ムーバブルアーマーは、アクション巾を任意に選べる点で、大きな利点をもつ。運用面では、主にコークスチャージで使用するか、鉾石チャージで使用するかに大別されるが、炉口径や、大ベルとの位置関係、使用する装入物の種類によって、アーマーの使用法は選択される。

いずれにしても、炉内装入物分布（特に上昇ガス流を伴う場合の）状況に関する基礎的データの不足がネックとなっており、今後の研究に待つところが多い。

4-2 炉内各部のガス速度の変更

ガス分布を是正するために、炉頂圧や、羽口径を変更して、炉内各部のガス速度を調整することは、図11の例に示めすように効果がある。特に、減産時等、ボッシュガス量を下げざるを得ない場合には有効な手段となろう。

4-3 福山5BFにおけるガス分布改善の効果

高炉の大型化に伴って、炉内圧損の上昇してくることが言われており、²⁾ガス流れの変動

も多くなるように思われる。これは、炉床径の拡大に伴って、単位送風量当りのレースウェイ面積が減少し、ボッシュ周辺部のガス流速が増大することによると考えられ、結果的に、ガス流変動を生じやすくなるものと思われる。福山5BFの立上り過程では、ガスパスの変動が多く見られたが、順次ムーバブルアーマーによる稿正を実施し、ガス分布の改善をはかった。即ち、図12に示めすように、鉾石のみにアーマーを使用し、2チャージを一組とする方針で、第一チャージは、炉壁部へ装入して、周辺流の抑制をはかり、第二チャージは、炉中心寄りに装入してシャフト効率の向上をはかった結果、大巾な改善効果を得ている。

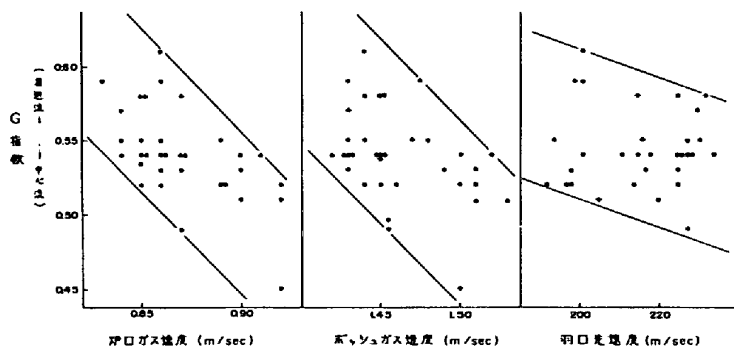


図11 炉内ガス速度とガス分布

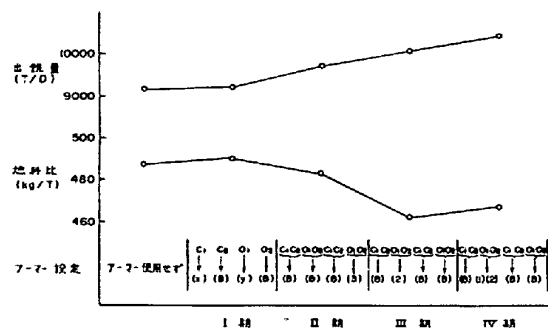


図12 福山5BFにおけるガス分布改善の効果

5. 結 言

以上述べたように、福山では、各種の炉内センサーを駆使して、ガス分布の定量化に努め、且つ炉毎に適正分布を設定して、ある程度迄、ガス分布をコントロールし得る状況にある。しかしながら、現状では、主に、炉口部や、炉壁部の温度によってガス分布を推定している段階であり、今後、(1)炉口部のガス流速計、(2)より内部での情報をもたらし計測装置の開発によって、ガス分布の実態が明らかにされ、さらに、(3)羽口毎の流量コントロール法が開発されれば、一層、進んだ操業が可能となり、低燃料比操業、無事故操業、又、計算制御による操業法の確立に寄与するであろうし、壁付の生成に及ぼすガス分布の影響等も解明されるのではなかろうか。