

討2 熱レベルモデルによる計算制御と炉頂ガス分析

日本鋼管 京浜製鉄所 前田 一徳 八浪 一温
 ○山本 倫久 小柳 弥夫

1. 緒言

高炉の炉内反応および炉内の挙動についてはいまだに解明されていない点が多い。しかし周囲の条件が安定している通常炉況においては、熱的な状況を安定させることによって操業を制御することが可能となり、いくつかの実施例も報告されている。しかし例外的には周囲の条件や炉内の物理的な性状が変化して異常炉況となることがあり、これの予知も重要な命題である。異常炉況を予知し事前に対策が打てるようになった段階では、周囲の条件や物理的な性状をチェックした上で熱的な制御を行えば、常に安定した操業となる筈である。これらを基にして工場全体を最適化するための制御システムへと発展させることができる。一方この熱的な制御を行なうためには精度の極めて良いガス分析が必要であり、数式モデルができてガス分析計が不十分のために操業にとり入れられないとの例も少なくない。また各種物理性状のチェックは適切な計測器が開発されているかどうかで大半が決まるのであって、計測さえできれば有効な情報として使えそうなテーマもあげられており、いくつかの有意義な試みが行われている。

2. 炉況の計算制御

2.1 通常炉況の制御：高炉のいわゆる“炉況”を制御するための数式モデルは種々提案されているが、いずれも炉内の状況をすべて表わしているものではない。そこで制御のための式であれば、周囲の条件を安定にし、変動要因を極力減らした上で、簡単なモデル式で制御するのが実用的であり望ましいと考える。このように通常炉況のための計算制御は当然適用範囲に限られるが、範囲外は別途に対策を考慮することとし、一方適用範囲外になるべく出ないように操業上で配慮をすべきである。具体的には炉内の反応を図1のように単純に考えて、装入物の条件および送風条件を極力安定化し—— ϕ 一定、コークス乾量補正、送風温度一定、吹込重油量一定——、炉下部熱レベルを一定に保つために送風湿分量を(1)式によって算出し、制御する。

$$M = \phi - C\alpha \quad (1)$$

但し M：調整すべき送風湿分量

α ：炉頂ガス成分などから求めた直接還元量

ϕ, C ：好炉況時の実績から求めた常数

(1)式が基本式であるが、装入物の条件その他の長周期変動によって(1)式に基づく操業結果に目標とのずれが生じ(1)式の常数

項 ϕ の値を変更する必要があることがある。そこで銑中 $S\%$ による自動修正方式を採用し、指数平滑化手法を応用した方式も提案されている。2) (1)式は直接還元量によってすべてが決められる。

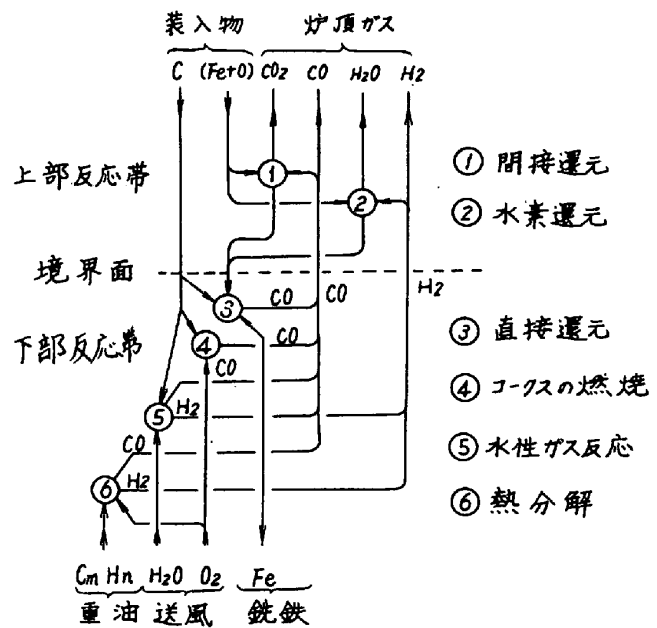


図1 高炉炉内冶金反応模型図

炉内反応の変化を早くキャッチするため、移動速度の速いガス側から算出することとし、直接還元量は炉頂ガス成分・吹込重油流量・送風流量・送風湿分から計算で求められる。ここでガス分析値の誤差による直接還元量の変化は、図2の通りであって、CO、CO₂に対しては厳しい精度が要求される。送風湿分の変化中から考えてCO、CO₂の許容誤差は0.1~0.2% vol.であるといえる。このような要求精度を満足させるために検討を行ない、次節に述べる如く実現することができた。以上の如く制御用数式モデルとガス分析計を中心とするハードウェアが完成したので、これを操業に用いたところ図3に示す如く、炉況制御の結果として銑中Si%のバラツキが減少した。

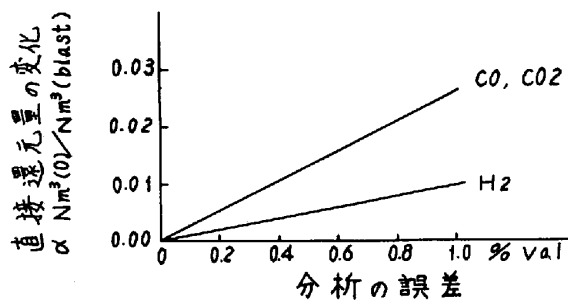


図2 ガス分析値の誤差による炉況変数の変化

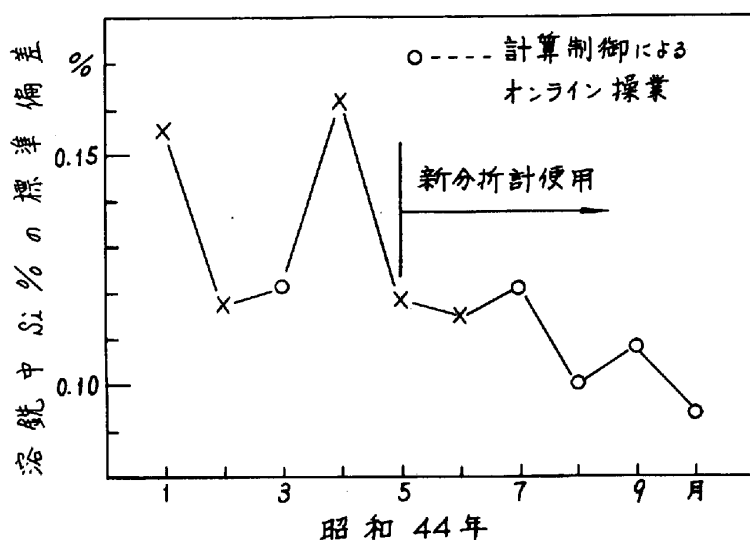


図3 熱レベルモデルによるオンライン操業実績

2.2 異常炉況の予知と対策: 熱レベル制御が適用できない場合—すなわち異常炉況—の予知と対策も高炉操業上重要な事項である。異常炉況の発生原因には、装入物の% C比、装入物の化学的組成 (Total Fe%など)、炉頂圧、吹込重油量など異常を把握することが従来の技術で比較的容易なもの、通気性を主とした炉内の物理的性状のように異常の把握が困難なものがあり、物理的性状に関する炉内状況の安定した計測が強く望まれる次才である。オ々章に述べる炉内状況のうち適切なものを測って物理的性状の異常を検知し、これを正常に保つように熱レベル制御とは独立にアクションをとることが望ましい方法であると考え。

3. 炉頂ガス分析

高炉計算制御のためには安定した性能の炉頂ガス分析装置が必要であり、しかも甚だしく高精度が要求されるので、この要求を満たすために精力的な検討を行なった。先ず機種については、赤外線式 (CO、CO₂) と熱伝導式 (H₂) の併用、あるいはガスクロマトグラフが代表的であり、性能はそれぞれ特長をもって甲乙つけ難い。ガスクロはN₂の分析も可能であることから全成分の分析をして100%となることをエックできるので安定性の面で優れているが、精度・安定性が同じならば連続測定可能な赤外線式が望ましい。そこで赤外線式を用いる場合についての検討結果を以下に述べる。

3.1 サンプリング: 極めて高精度でガス分析を行なうには、分析計本体の性能もさることながら、サンプルガスの予備処理と分析計の設置条件に多くの問題がある。赤外線式ガス分析計ではガスの温度・圧力が変わると赤外線が透過する試料セル中のガスの分子数が変わり誤差が生ずる。そこで我々はガス分析計を恒温槽に入れて試料ガスの温度を一定に保つと共に、検出器と電子部品の特性を安定化させている。一方ガス圧力については、分析計試料セル内のガス圧力はほとんど大気圧に近いので、別に大

気圧を測定して計算機で補正計算を行なっている。サンプルガスがダストを含まないようにフィルターを通すのは当然であるが、湿分にも問題がある。CO、CO₂の吸収波長と重なって水蒸気の吸収帯があり、テストによれば湿分9^g/m³の増加で+0.5%COおよび+0.3%CO₂の変化が認められているのでガス中の湿分を除去または一定にする必要がある。³⁾ 以上のことを考慮して実際的气体サンプリング装置を図4の系統図に従って設置した。ガス本管からのサンプリングは電気集塵機後の清浄ガス管から取ったので、ダスト用のフィルターはかなり負荷が軽減された。湿分除去にはガス冷却器を用い低い湿分に安定化させることとしている。

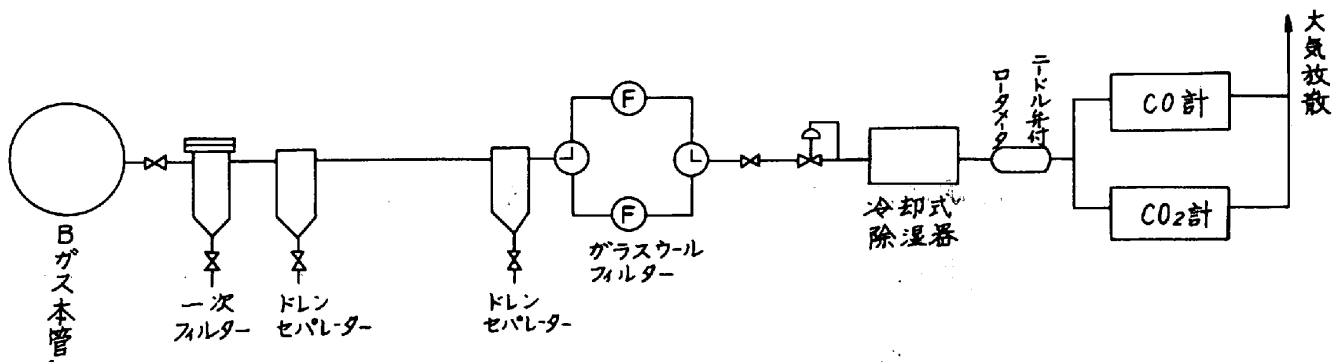


図4 高炉炉頂ガスサンプリング装置系統図

3・2 ガス分析計： 通常の赤外線式ガス分析計を用いた場合の精度は、測定範囲0～30%CO、CO₂の±3～5%として±0.9～1.5%CO、CO₂である。そこで種々検討の結果表1に示す仕様によって製作を依頼した。この分析計は一定強度の二つの光源を持ち、測定セルと比較セルを通過した赤外線をダイアフラムコンデンサー式検出器で受け、これの容量変化を交流増中して偏差を指示する構造である。全体を収納するケースの内部はヒーターのON-OFFによって恒温に保たれているが、検出器

表1 高炉炉頂ガス用赤外線式ガス分析計の仕様

型式	赤外線吸収式、ポジティブ型
測定範囲CO用	21～26 vol%
CO ₂ 用	16～21
測定精度	フルスケールの±3%
感度	フルスケールの±1%
ゼロドリフト	フルスケールの±2%以下/w
スバンドリフト	〃

の温度による特性変化が問題となるので特に温度特性の良い検出器を選び、また検出器部分の温度制御について若干の改善を行なって極めて安定した性能を得ることができ、表1の仕様を充足している。

3・3 使用実績： 炉頂ガス分析装置全体として非常に順調に稼働しており、このため計算制御の信頼性も向上した。ガス分析装置の較正は標準ガスを1回/週流して行なっている。試験のためほぼ1回/日標準ガスを流して精度の推移を調べたところ図5の結果が得られ、±0.15%の精度が確保されていることが確認された。赤外線式ガス分析計にドリフトが生ずることを恐れて、3時間毎に平均サンプルを手手によってヘンペル法で分析しその平均値によって赤外線式の平均値を自動修正する方式⁴⁾を実施しているが、赤外線式の長期安定性が実証されれば標準ガスによる較正のみで操業可能となろう。

4. 炉内状況の計測

通気性を主体とした炉内状況の計測は、通気抵抗の大きさに関する問題と、ガスの流れの不均一さに関する問題とに分けることができる。通気抵抗の大きさに関する問題の主体となる事項は、文献⁵⁾でまとめられているように高炉の高温帯における棚吊りをFlooding現象によるものと仮定して、圧力損失

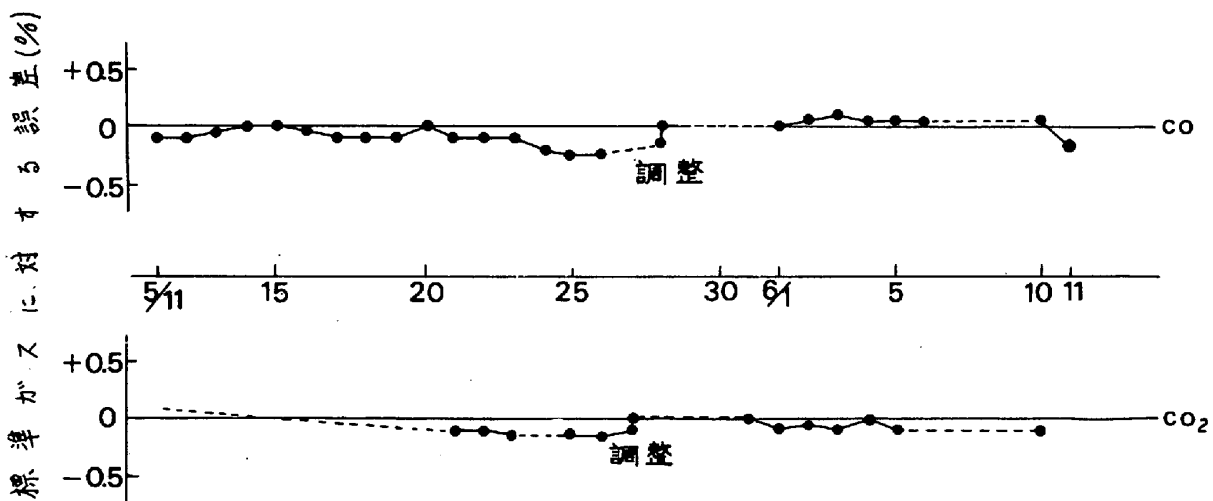


図5 高炉炉頂ガス分析計精度推移(標準ガスによるチェック) 45.5.11~6.11

とガス流速の関係から安定操業の限界を見つけようとするものであって、送風圧力・炉頂圧力・送風流量の測定には特別の問題はないが、判定基準を確立するためには今後研究を続けなければならない。ガスの流れの不均一さに関する問題は、吹抜けの現象や壁付きなどによる炉内の不均一さを何等かの計測手段によって把握し、アクションに結びつけようとするものである。かなり以前から試験的に用いられている測定器として、ガス温度分布およびガス成分分布を測るためのゾンデがあり、炉内の垂直分布および水平分布について報告が出されているが、操業上異常の検出に用いるためにはゾンデおよびその周辺装置について若干の改良を加える必要があると思われる。また炉体のシャフトに垂直方向数ヶ所に設けた炉内圧力計は、部分的な圧力損失の状況を示し棚吊りなどを的確に検出することができるので、操業上有用な情報を提供するであろう。一方炉頂の状況を監視する装置として、ストックラインのプロファイルを光学的に測定する装置⁶⁾ およびストックライン部の温度パターンを赤外線ITVによって測定する装置⁷⁾ が報告されており、炉頂部の性状から装入物分布および炉内ガスの流れを推定できるようになった。これらを操業に結びつけるためには、さらに多くの検討を加える必要がある。

5. 結 言

高炉の通常炉況についての熱レベル制御はほぼ完成の域に達しており、このために必要な高精度の炉頂ガス分析計も実用可能の状態になっている。しかし通常炉況制御をバックアップする異常炉況の予知と対策については、基本となる計測技術もまた試験の段階であり、利用技術も含めて今後の開発にまつところが多い。

文献 1) Fujii, et.: AIME Ironmaking Proc. (1967)

- 2) 前田, 外: 鉄鋼国際会議(昭45)1-6-3 3) 武内, 外: 日本鋼管技報, 38(昭41)1
 4) 山本, 外: SICE 連合講演会(昭43) 5) 館: 学振54委化学工学小委(昭42)化工-5
 6) Noël: Inter. Conf. Auto. I.S.(1965) B-108
 7) 下間, 外: 鉄鋼協会講演大会(昭45)