

討 4

高炉内における装入物の挙動と反応

日本鋼管技術研究所

福島 勤

1. 緒 言:

高炉は固体装入物と気体の向流充填層である。羽口先より炉頂に向け上昇するガスは、熱の輸送媒体と鉄酸石を還元する還元剤である他に、炉下部の高温域において、ガス化した物質の輸送媒体でもある。したがって、炉内におけるガス流れは最も重要な問題の一つで、本討論会においてもテーマとして採用⁽¹⁾されている。最近の吹止め高炉の解体調査から、上記の番目のガス化物質の輸送媒体としての役目もかなり重要であることが、わかって来た⁽²⁾。

すなわち、高炉内の反応を考える場合、装入物の挙動とガスの流れの関連を十分に把握しておく必要がある。筆者らは、この観点から、装入物の分布と炉下部の溶融帯の構造⁽³⁾、炉下部のガスの流れと造率状況などの関係について調査研究を行って来た。本稿においては、これら急冷高炉の炉内調査の結果をベースに、実験室的な結果を加えて炉下部の反応とガス流れの関連について考察する。

2. 炉内調査よりの知見:

高炉内における装入物の動きすなわち降下については、一連の解体調査結果から、層状に装入された層状分布は、特に壁付きなどの影響がなければ多少の角度の変化はあるがほぼその状態を保って朝顔付近まで降下する。この付近で、羽口先レースウェイへの装入物の流れ込みにより、降下の様相が変わる。この降下するレースウェイへの装入物の流れ込みの角度は、ガス流れのない一般の充填層内で出来る角度よりかなりゆるやかな、いわゆる自由表面の安息角に近いものであると推察された。これは、ガス流れによる浮力がかなり大きく、粉体圧が非常に小さくなるものと考えられる。(図1. 参照)

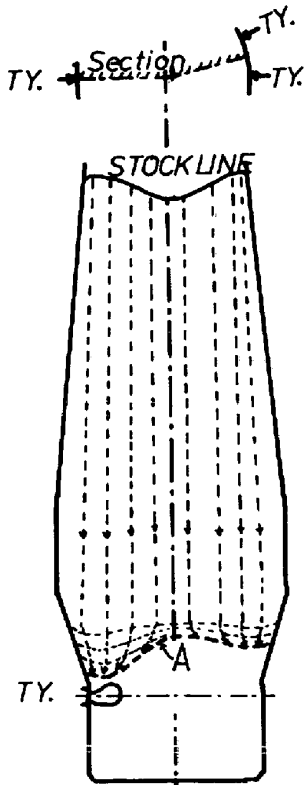


図1 装入物降下の基本概念図

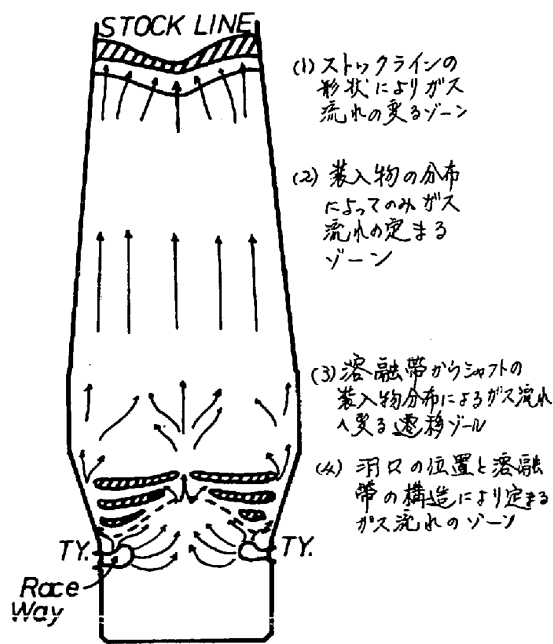


図2. ガス流れの分類図

一方、高炉の燃料比を大きく左右する磁石の還元について考えるならば、シャフト部での同様還元に関するガスの利用率を理想状態にすることが望ましく、それは炉内径方向に対し $Fe/(CO+CO_2)$ 比を等しくすることである。しかし、この $Fe/(CO+CO_2)$ を均一に保つようには、磁石/コークスの分布を等しくすることになる。しかし、筆者らの解体調査の結果では、このように磁石/コークスの比を均一にすると、図-1の装入物の流れる線(A)のレベルにまで中心付近の磁石層が上り、しかも、粘着性をおびたブロック状になっていて、正常な装入物の動きを乱すことがわかった。(3)(4)したがって、ある程度高い操業度を保ち、正常な状態を保つには炉内径方向にある程度のガス流束の分布のあることは必然的であると、考えられる。以上から、炉内の装入物の状態および炉の構造と、ガスの流束の関係は図-2に示すように区別出来る。

炉内のガス流束と反応の関係を考察に当り、一応この図-2をベースにしてみよう。

2. アルカリの挙動について:

炉内におけるアルカリの挙動は、ガス化 ⇌ 凝縮の繰り返りによる循環の現象が良く知られており、その量的関係は、新日鉄広畑1B下の解体調査結果(5)で詳細に検討されている。また、熱力学的検討も近年良く行われている。(6) また、筆者が行った試験高炉内のアルカリの分布は図-3に示す通りで、全般的に実炉のそれと比べアルカリの濃度は低く、操業期間が短かく蓄積量が少いためと考えられる。

2-1. 実験室的検討

アルカリの挙動として、主にコークス中のアルカリに着目し、このガス化と凝縮について、その速度的特性を検討した。検討方法は図-4、a、bに示すようにして、コークス中アルカリの変化を測定した。結果は、図-5、6に示す通り、

- (1) 凝縮、ガス化双方とも、その速度はほぼコークス粒径に反比例している。
- (2) ガス化速度は、コークス中濃度が0.9~1.3%までは、その濃度に関係なく一定の速度を示しているが、0.1~0.3%までは約0.8乗に比例する傾向にあるが、0.3~0.2%以下はガス化が非常に遅い
- (3) 凝縮速度は、その飽和蒸気圧との差にほぼ比例するようであるが、かなりバラツキが多かった。

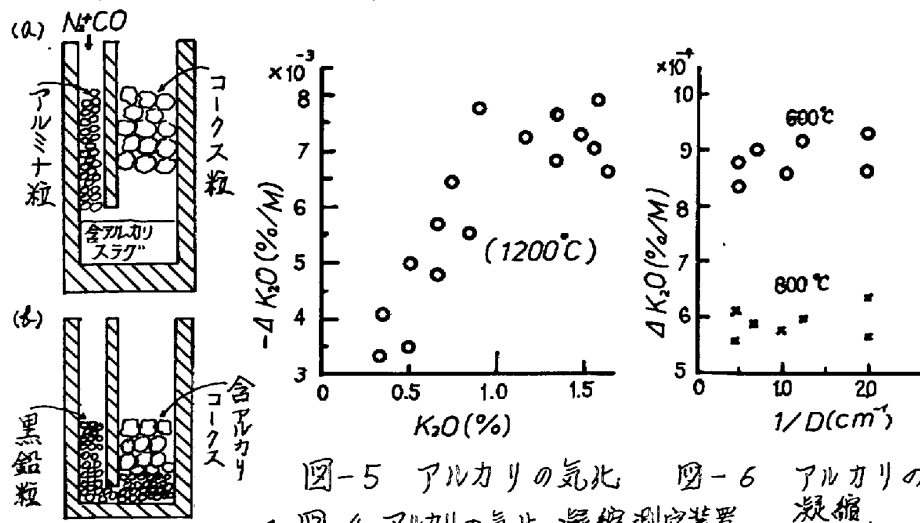


図-5 アルカリの気化 図-6 アルカリの凝縮
 ← 図-4 アルカリの気化、凝縮測定装置

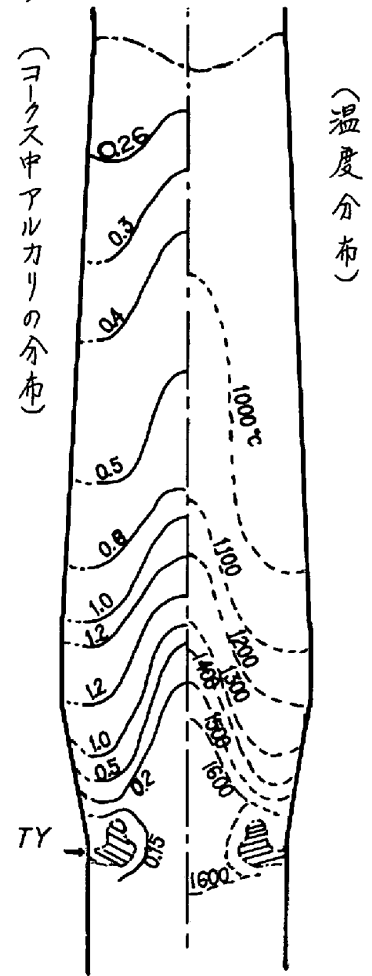


図-3 試験高炉のアルカリの分布

9-2. 高炉内の挙動の検討.

試験高炉内のコークス中アルカリの分布は図-5に示した通りであるが、炉内でのガス流れとの関係を見るために、溶融帯付近のガス流れについて、ほぼ同様の模型をつくり測定した。その結果とアルカリの挙動を示すと図-7の通りで、羽口先レースウェイ直上の最終溶融層により、ガス流れが大きくなる見られる。炉壁に近い外周部から降下してくるコークス中のアルカリ分は最終濃度より高く、この見より下でもアルカリのガス化が進んでいると考えられるが、中心部からのコークスはほぼ最終濃度に近い。この外周部より降下して来たコークス中のアルカリは、この見より下でガス化分離し、一部ガスの流れに乗って炉中心部の方へ流れることが予想される。この量を含めて、コークス中のアルカリ分が増加から減少へ変わる見でのコークスからのガス化アルカリの流量を推算すると図-7に示す値となり、中心部の方が大きくなり、中心部の循環量が多くなるものと考えられる。一方、これより上部の、いわゆるアルカリ分のコークスへの凝縮については、外周部のコークス中アルカリ分の上昇が、ストックライン(S.L.)より約45cm から始まっているのに対し、中心部ではS.L.より約15cm 下からすでにアルカリ分の上昇が開始している。すなわち、中心部のガス相中のアルカリ分はかなりの量が凝縮せずに炉頂に排出されているものと推察され、このために、中心部のアルカリ分が顕著に外周部に比べ高くないものと考えられる。

この地、コークス中アルカリ分の変化について、前項で述べたと同様に検討すると、

- (1) ガス化速度は、コークス中アルカリ分濃度に無関係で、温度のみに依存するとして計算すると、図-8に示す結果となり、約1%までは実験的に測定した結果と勾配は同じで、速度そのものは約1.4倍になっている。
- (2) レースウェイ中のコークスを除き、アルカリ分の減少が急に遅くなる最低濃度は、実験的に測定した場合より高い。これは、コークス中灰分も高いので、灰分と化合物あるいは溶融物を形成して、安定化しているためと考えられる。

以上より、コークス中のアルカリ分は、平均濃度として約1%以上については、表層部に単体として存在し、そのガス化あるいは凝縮はその飽和蒸気圧との関係で検討しても大きな誤りは生じないようである。又、灰分量により異なるが、約0.5%以下は非常にガス化は遅く、高炉内では、ほとんどガス化しないと考えるも良い。

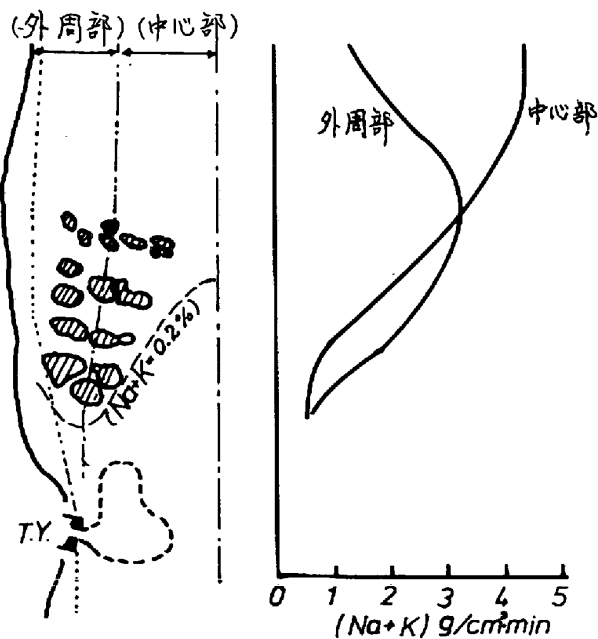


図-7 試験高炉におけるアルカリの流れ

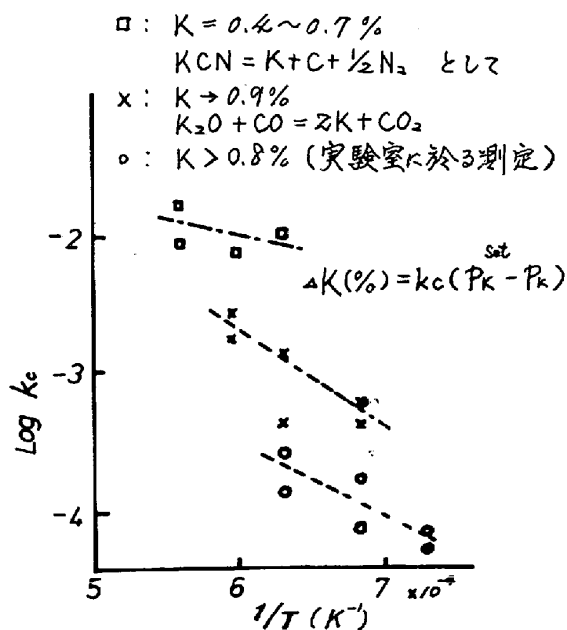
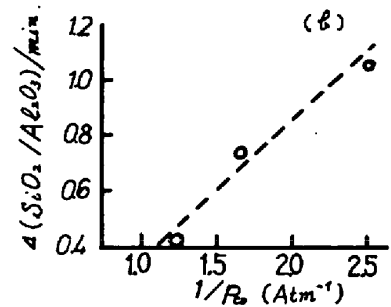
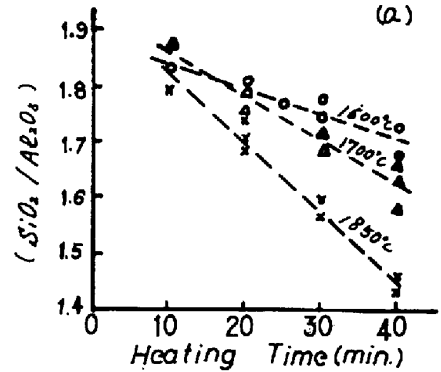


図-8 アルカリの気化速度の検討

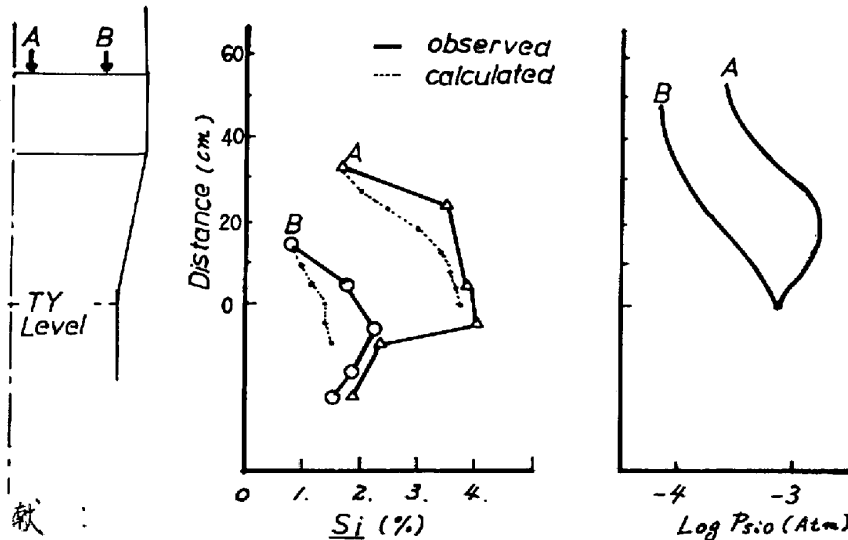
4. シリコンの挙動について.

高炉内のシリコンの挙動、特に溶鉄へのシリコンの移行について、 SiO のガス相を介しての反応が重要であると考えるが、それを裏付ける現象として解体高炉の調査結果で、羽口レベル付近で最終 $Si\%$ より高い濃度が多く観察されている。一方、操業中の採取試料、解体調査の一部からは、最終 $Si\%$ よりかなり低い濃度も確認され、吹上げ後の影響について考慮する必要があることが述べられている。しかし、いずれにせよ SiO のガス相を介しての反応はかなり起きているものと考えられる。そこで、 SiO の発生について、最も可能性の高いコークス中炭分からの生成を実験的に測定した。結果は一部すでに報告しているが、図-9-a, -bの通りである。これを用いて、高炉高炉内の温度分布から SiO の生成量を推定すると、11~16 kg/ton Hot Metal となり、十分鉄鋼中 Si を供給する量に匹敵する。しかし、その量はけつして多くはなく、この SiO が全量鉄鋼に移行するとは考えられない。したがって、他の Si の移行過程を考える必要がある。同時に、 SiO の生成計算は1800℃以上については外挿なので、多少誤差を伴っている危険性がある。

一応これらの危険性を無視して、上記の SiO の生成と植谷らの SiO の鉄鋼への移行に関する研究結果を用いて試験高炉の場合の SiO の移行量について概略計算すると図-10の如くとなり、計算結果と調査結果とは絶対値の上でかなり異なるが、羽口よりの経方向の変化の傾向はほぼ一致している。これらの検討には、溶融鉄鋼のコークス層中降下速度と滞留現象について研究が必要である。その結果と解体調査により採取する鉄鋼粒の履歴について知見がまたれるところである。



↑ 図-9 コークス中の SiO_2 ガス化の検討結果一例



← 図-10 試験高炉における Si の移行についての検討

文献:

1) 鉄鋼協会第90回講演大会討論会, 2) 鉄鋼協会第91回講演大会, 古川ら, 3) 鉄鋼協会第90回講演大会, 伊沢ら, 4) 鉄鋼協会第98回講演大会討論会, 梶川ら, 5) 下村ら; 鉄と鋼, 62(1976) P. 547 6) W-R. Lu; "Alkalies in Blast Furnace", P. 2-1 1973, McMaster Univ. Hamilton