

(討 1) 広畑第1高炉解体調査結果からみた熔融帯の状況

新日本製鉄 神原 健二郎、萩原 友郎、○佐々木 稔
奥野 嘉雄、片山 力、吉沢 謙一

1. いきさつ

吹き止め直後に注水または窒素ガス吹込みによって急冷し、炉内容物を調べて高炉内の“生きた状態”を推定する方法は、実験高炉にはじまって実用高炉にまで適用されている。当社では、さきの東田5高炉¹⁾に引続き、昭和45年7月より約2年をついやして、炉容1407m³の広畑1高炉の解体調査を行なった。冷やされて“死んだ状態”から“生きた状態”を推定するためには、冷却途次に炉内に起こる変化を混同しないことが必要である。炉内容物試料の採取と調査結果の解析にあたっては、この点にたくに注意を払った。溶解帯の形成と構造に関しては、以下に述べるように、いくつかの新しい知見を得ることができた。

2. 調査結果ならびに考察

吹き止め前の操業状況を表1に示す。吹き止めて6時間後に上部より注水、冷却したが、炉底出鉄に加えて炉内容物の収縮が起こり、装入レベルは約4mの降下があった。

溶解帯における反応を考える上で重要なのは、融着層の生成である。1つ1つの鉱石層は炉中心側で還元熔融し、吹き止め後の状態では岩盤状になっていた。本調査ではこれを融着層と呼ぶことにした。

2.1 融着層の分布状況

分布の状況を、炉の縦割り断面で模式的に示すと、図1のごとくである。融着層の生成は、すでに装入レベル下約4mの位置の第3鉱石層で始まり(これをG-0とする)、3番目の融着層からは炉中心側が溶け落ちてコークスのみとなっている。融着層は立体的にはドーナツ状を呈し、そのドーナツはレベルが下がるにつれて環の径を広げている。融着層の厚みは、上方レベルでは400~500mm、最終レベルに近いところでは70~100mmであった。朝顔部より下では融着層は炉の中心方向に著しく傾いているが、これは炉底出鉄の結果中心部のコークス層が落ち込んだためと考えられる。

鉱石層が融着化する現象については、さきの東田5高炉の解体調査¹⁾においてはじめて見出されたものであり、また、窒素ガスを吹き込んで冷却し解体調査したソ連の報告²⁾でも触れられている。さらに、この現象は実験高炉でも見られ³⁾、⁴⁾日本鋼管の報告からは融着層の

表1. 吹き止め前操業
状況(45.7.22)

出鉄量, t/D	3289
出鉄比	2.34
送風量, Nm ³ /m	2300
送風温度, °C	941
富化O ₂ , %	0.96
炉頂圧, Kg/cm ²	0.90
コークス比	471
重油比	31
コークベース, 1/回	12.5
Ore/Coke	2.97
装入物割合(%)	
焼結鉱	47.7
ペレット	14.4
鉄鉱石	32.5
マンガン鉱	1.0
かんらん岩	1.7
石灰石	2.7

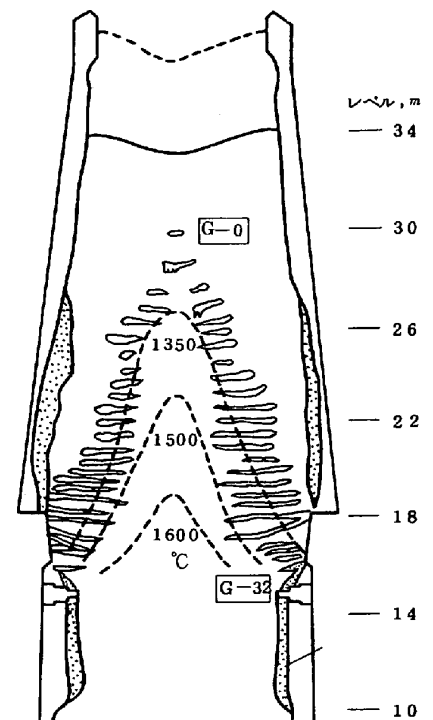


図1. 融着層形成状況(断面図)

秩序だった生成が推察される。このようにみてくると、
 実際高炉において融着層が形成するのはかなり一般性のあることと考えられる。溶融帯の形成も、この融着層と切り離すことができないと思われる。

なお、図1に示した温度分布は、コークスの黒鉛化度が保持温度で決まるという性質を利用して測定した結果である。黒鉛化が平衡に近く達するためには2~3時間の保持を必要とするので、この推定温度は吹き止め直前のガス温度を正確に表わしてはいないが、コークスが加熱された温度に近いものは示していると思われる。

2.2 融着層の構造と組成

融着層は、ドーナツ状環の内側が半溶融状、外側が半融着状態になっていて、後者は塊状の鉍石層につながっている。しかしながら、それぞれの境目は明瞭ではなく解体作業時の機械的衝撃に対する強さから推定したもの

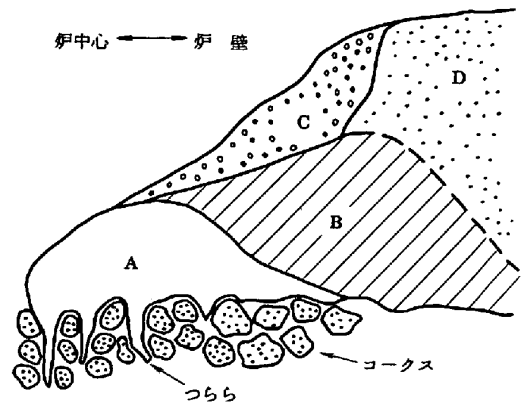
にすぎない。上方レベルにある融着層の構造を概念的に示したのが図2である。A部は金属鉄でかなりち密化しており、半溶融状態でスラグを分離したものと考えられる。残存するスラグのFeをX線マイクロアナライザーで分析したところ、FeOに換算して2%から20%までの値を示し、場所によって大きな差のあることがわかった。A部の下方ではコークス層の間隙に金属鉄が中空の“つらら”のようにのびており、“つらら”の内外壁表面には小さな筒状のスラグが残っていた。B部では、焼結鉍、塊鉍石、ペレットの還元率は70%前後を示し、鉍石の種類に関係なく一様に融着、結合している。その結合は、鉍石表面に生成した金属鉄あるいは内部からしみだしてきたスラグによって行なわれている。C部は同程度の還元を受けた鉍石が融着せずに塊状で存在している。これは層の上側では熱の効きが弱いと思われる。融着層各部は、層の降下とともに状態を変え、半溶融部は溶け落ちて消失し、融着部は半溶融状態となり、塊状鉍石層は融着状態に移行すると考えられる。

下方レベルでは、融着層の厚みが減ずる代わりに幅が広がっている。上述のC部に相当するものではなく、“つらら”は短い。そして融着部と塊状鉍石層はともに40%程度の還元率を示している。熱の強く効く範囲が広いので、半還元鉍石の融着化する幅が広がったものと考えられる。

ここで、もし溶融帯の形を表わそうとするならば、融着層の内縁に接するような円錐形になり、断面で考えれば切り立った逆V形となる。しかしながら、融着層の上述の構造からして、軟化、溶融は1つの鉍石層に急速に連続して起こる現象であり、巨視的な見方と同時に、やや微視的にとらえることも必要ではないかと思われる。

2.3 融着層からの溶鉄、溶滓の分離

炉中心側から融着層が溶け落ちて行く過程を把握するためには、まず半溶融部分と“つらら”の組成変化を知る必要がある。表3に示したように、半溶融部分の結合炭素量は下側で0.数%程度であり、また本調査にあわせて開発した非水溶液電解抽出法によって分析した合金化Siも0.01%以下である。この炭素量から金属鉄が単独で溶融滴下する温度を推定すると、1500℃前後になる。下方レベルでは、



A:半溶融部、B:融着部、C、D:塊状部

図2. 融着層の構造 (G-5)

表2 融着物の還元進行度 (%)

部分	焼結鉍	塊鉍石	ペレット
B	65.6	65.0	79.3
C	72.8	68.2	81.2
D	11.5	12.3	14.6

表3 融着層のメタル組成 (%)

位	置	結合C	合金化Si
半溶融部	G-8 上部	0.16	<0.01
	下部	0.35	
融着部	G-25 上部	0.22	<0.01
	下部	0.57	
つらら	G-2	0.34	
	G-12	0.87	
	G-25	0.67	

注) 合金化Siは非水溶液電解抽出法による。

融着層半熔融部付近のコークスの黒鉛化度から推定される温度にほぼ近い。しかし、上方の融着層にあっては、推定温度と100°C近い差がある。推定温度が実際よりも低目に出ている可能性もあるが、上方の融着層からは長い“つらら”が生成していることから、金属鉄粒がスラグ融液に包まれて分離する過程も考えられる。融着層の形成過程とあわせて、金属鉄の溶融、分離過程の完全な解明のためには、なお今後の基礎的研究が必要と思われる。

一方、スラグの分離過程については、“つらら”中に残存するスラグ粒、および融着層間のコークス層内にあった滴状スラグの調査によってほぼ明らかとなった。融着層から分離する直前のスラグは

表 4. 滴下過程におけるスラグの組成変化(%)

位 置	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	C/S
"つらら" G-8	内部	3.53	34.85	1.26	40.0	2.3	1.45	1.15
	先端	2.37	30.80	1.02	35.3	2.2	0.68	1.15
G-25	内部	1.20	34.75	14.7	41.2	4.8	0.46	1.19
	先端	0.57	36.60	11.7	40.0	6.4	0.83	1.09
滴下物	G-10~11間	1.70	35.15	12.9	39.5	3.9	0.33	1.12
	G-25~26間	0.65	36.45	11.6	39.3	7.0	0.17	1.08

FeO含有量が2~3%にすぎず、半熔融部に部分的にあった高FeOスラグも分離するまでには還元されてしまうことを表わしている。試料スラグのCaO/SiO₂は、使用した焼結鉍、ペレット、鉄鉍石をあわせて考えたCaOとSiO₂の量比にほぼ一致しており、融着層内で進行する滓化過程に石灰石は参加していないと考えられる。同時に装入されたかんらん岩も、かなり下方レベルの滴下物においても未滓化のままであった。

なお、Sについてはいくつかの融着層の半熔融部で調べたが、磁着分では0.0数%、非磁着分では0.1%から1%程度であった。

2.4 滴下物の組成変化

解体時に採取される滴下物は、吹き止めたあと冷却されるまでに組成を変えている可能性がある。また、どの融着層から分離してきたかがわかるのは、2つの融着層にはさまれたコークス層中にある滴下物だけである。滴下物試料の分析値から炉の高さ方向での滴下物の組成変化を議論する場合には、これらの点を考慮に入れておかなければならない。

採取した滴下物は、全部が完全な滴状金属あるいは滴状スラグになっているわけではなく、金属

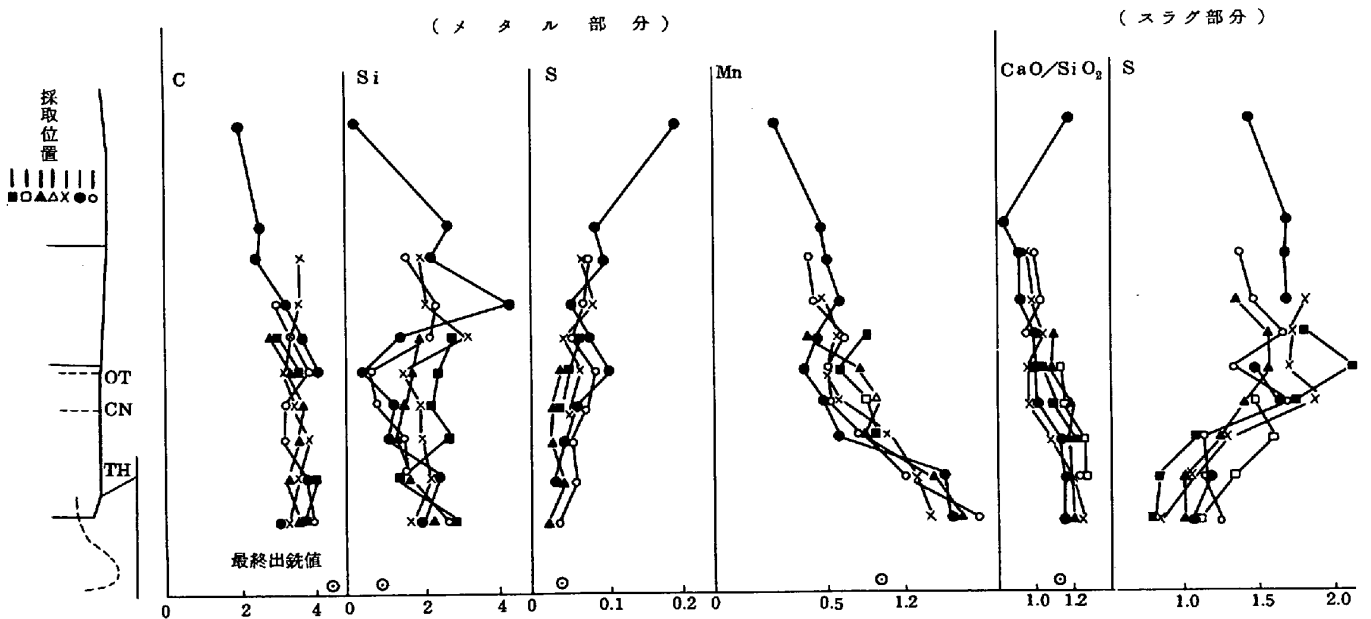


図 3. 滴下物の組成変化(%)

とスラグが混合しているものが多い。そこで各位置の滴下物試料は粉碎、磁選してメタル分とスラグ分にわけ、主要成分を分析した。結果を図3に示す。まずメタル中Cの変化を見てみると、融着層の半溶融部や“つらら”では0.数%から1%弱にすぎなかったものが、滴下してただちに2%を越え、朝顔部では4%近くになっている。一方、Siは融着層半溶融部で0.01%以下であったものが、滴下直後のシャフト下部試料では0.2%になり、炉腹部から朝顔部にかけては2%前後と急激に増えて、最終出銑値の0.85%をはるかに越えている。Sは滴下後しだいに減少し、一方Mnは漸増し、いずれも前回調査の東田5高炉の場合と同じ傾向を示す。

つぎにスラグ部分の組成を見ると、CaO/SiO₂は朝顔部まで融着層中残留スラグと同じであるが、羽口部の近くでやや増えているので、石灰の滓化の進んだことが推定される。Sは滴下後急激に増加して朝顔部では1.5%前後であるが、羽口部付近で減少して出滓値に近い値になっている。この傾向は従来と同様で、やはり上昇ガス気流からのS吸収によると考えられる。

さて、吹き止めたあととコークス層中にある滴下物は冷却されるまでに組成を変える可能性があるため、各種成分の中でメタル中Siに着目し、机上実験によってその変化の可能性を検討した。製鋼用銑鉄を粉碎して高炉スラグと混合し、15~20mmの塊コークスの充てん層間隙につめて加熱したところ、1400~1500°Cでは約4時間で銑鉄中Siが2%を越えた。冷却のための注水が始まるまでに、高温域のコークス層中にあるメタル粒は、共存するスラグあるいは加熱コークスから発生するSiO₂ガスとの接触によって、Si含有量が増加することは十分にあり得る。したがって、滴下過程での各種成分の変化を定量的に把握するためには、やはり“生きた状態”にある高炉の調査技術の開発をまつしかないように思われる。

2.5 滴下スラグの粘性

滴下スラグの粘度を測定した結果、採取位置によって大きな差は見られず、平均的な値としては1400°C:7.0ポアズ(以下同)、1450:5.0、1500:3.5、1550:2.5、1600:2.0が得られた。1500°C以上では、炉底で採取されたスラグとほとんど同じ値を示した。また、スラグの見かけの粘度を高める混入微粉コークスを調べたが、粘度に影響するほどのコークスの混入はなかった。

3 むすび

1) いわゆる溶融帯は、これまで一般に考えられているように一定のレベルにあるのではなく、半径方向で大きく違っている。溶融帯は“融着層分布”との関連においてとらえるべきであり、これは高炉操業の今後重要な意味をもつのではないと思われる。

2) 同時に、鉍石層の融着化する過程が溶融帯形成の上で重要な位置をしめることは、鉄鉍石類の炉内性状評価に新たな問題を提起している。

3) 溶鉄、溶滓の分離過程は本調査の中で明らかにすることができた。しかし、分離したあとの滴下メタル、スラグは吹き止め後に組成が変化した可能性があり、滴下過程での諸成分の真の変化を知るためには、調査技術の進歩が必要と思われる。

文 献

- 1) 児玉、橋本：Proceedings of ICSTIS (Tokyo, 1970), Part 1, P.112
- 2) I.Z.Bulkan et al. : Stal in English, (1970)3, P.183
- 3) 安藤、宮下、下間、鎗木、山田：日本鋼管技報、54(1971)、P.1
- 4) 東大生産：学振54委、1227(1972)