

# (討 2) 高炉の溶融帯における装入物の挙動について

日本鋼管 京浜製鉄所 梶川脩二 隅田 昇

技術研究所 吉越英文 福島 勲 鴨志田友男 福山辰夫

## 1. 緒 言

高炉の溶融帯における装入物の構成状況および反応は、高炉の特性を決める重要な因子であると思われるが、わが国ではこれらの調査例が少なく今後共研究を進めて行くべき問題である。

当社においては試験高炉を解体して溶融帯における諸反応の調査を進め、炉内状況をかかり明確にして来たが、実炉との関係ではまだ不明な点が残っていた。一昨年川崎4高炉の休止に伴い、炉内の全面調査を目的として通常配合で吹止め、シャフト部については全量掻出しを行い、切立以下出鉄孔レベルまでボーリングにより柱状試料を採取して、実炉での炉内調査を実施した。本報告では今回の川崎4高炉の解体調査を中心に、当社試験高炉での調査も参考にして、炉下部の状況を報告したい。

## 2. 調査方法

### 1) 吹き止め前の操業推移

図1に川崎4高炉の操業推移を示す。焼結鉄配合率は70%で44年12月に焼結鉄炉前篩を設置した後、特に通気性が改善され45年3月には燃料比が47%まで下り、この間一年以上棚卸りのない順調な炉況を続け高炉である。46年4月から生産調整を行い、さらに減産が強化されたために、46年11月30日に吹止めを行った。操業上の特徴としては、中心ガス流を抑えてガス分布を均一にするために、補助分配板の使用、ならびに、埋戻操業を採用した。図2に炉頂温度分布の一例を示すが装入線を上げることによって、径方向の炉頂温度分布はほとんどフラットになっている。

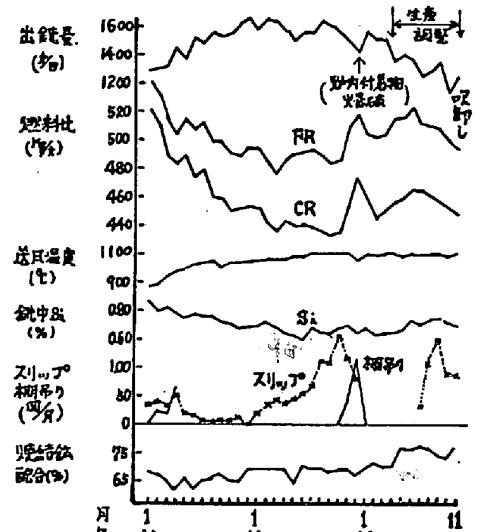


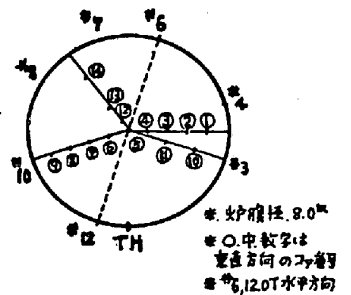
図-1 川崎4BF吹止め前の操業推移

### 2) 吹き止め方法

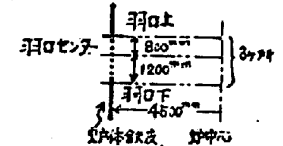
後日炉内調査を行うため、平常配合のまま吹止めを行った。また冷却は注水冷却により行い、吹止めの10時間後から3050<sup>1</sup>/<sub>2</sub>mmの冷却水を使用した。吹止時の原料配合は、焼結鉄79%、その他は生鉄石である。

### 3) 試料の採取方法

切立から出鉄孔レベルまでを、図3に示すようにボーリングによって、垂直方向に14本、水平方向に5本の柱状試料を採取した。垂直方向では羽口と炉の中心を結ぶ半径上(羽口上ライン)、羽口と羽口間と炉の中心部を結ぶ半径上(羽口間ライン)、水平方向では羽口レベルとその上下の各レベルで炉の中心点までをボーリングした。分析および諸測定用の試料はこの柱状試料から炉内位置を確認して採取した。



(1) 炉頂部ボーリング位置



(2) 水平方向(羽口レベル)ボーリング位置

図-3 炉頂部以下のボーリング位置

## 3. 調査結果と考察

### 3.1 炉内装入物の構成状況

#### 3.1.1 炉内状況のマクロ観察結果

図4にボーリングで得られた柱状試料から

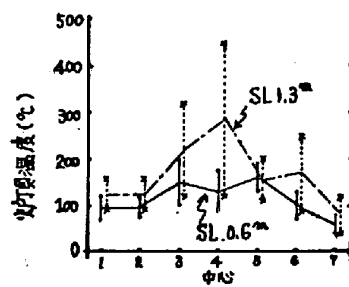


図-2 スリップラインと炉頂温度分布のバリエーション

観察された炉内の状況図を示す。この図は各ボーリング試料について柱状図を作成し、この柱状図を相互の位置関係が合うように並べ、これから得られた概念図である。採取した試料の内眼観察より炉内状況について次のことがわかった。

- 1) 切立部には融着物はほとんど見られず、シャフト部と同様にコークスと鉱石が層状を保っている。
- 2) 朝顔部から融着が始まり、融着から溶融に到るいわゆる溶融帯が認められた。採取された試料の形態よりこの溶融帯の部分を半溶融ブロックと称すると、この半溶融ブロックの分布は次のようになっている。

2-1) 羽口上ラインと羽口周ラインを比較すると、羽口上ラインの方が半溶融ブロックの生成するレベルが上にあり、前者は朝顔部上段、後者は朝顔中段以下となっている。

2-2) 炉の半径方向では周辺部が高く、炉の中心部に行くにつ

れ低くなっている。  
2-3) 羽口レベルおよびそれ以下では羽口先端から1.5~2.0mのところ半溶融ブロックが存在し、一部試料が硬くて採取できなかったものがあつたが、羽口レベルよりかなり下までこの半溶融ブロックが存在しているものと推定される。

2-4) 周辺部の半溶融ブロックの下に、0.3~0.6mの高さの空洞部が見られた。この部分でメタルとスラグの分離、溶落ちが起り、この部分のコークスはレースウェイに下つたものと思われる。

3) 炉の中心部からは半溶融ブロックはほとんど採取されず、羽口レベルより約1m以上下まで大半が未溶融の鉱石で、残りはコークスであつた。

4) 湯溜部の周辺部は炉底までコークスが詰まり、その間にドロップ状の銑鉄が存在し、最終スラグはほとんど存在しなかつた。

### 3.1.2 考察

以上切立から炉底までのボーリングにより得られた試料から、炉内状況を観察した結果を述べたが、従来の報告<sup>2)</sup>と異なる点は、1) 炉の周辺部の方が中心部より同一レベルでは高温であり、また2) 従来のコークスのみが存在していると云われている炉芯部の温度が低く、未溶融の鉱石によって占められ、コークスが少かつた点である。なお中心部の温度が低い状態にあることは、図5に示すようにコークスのLc(結晶子)の測定結果からも推定できる。以下これらの現象について考察を行つてみた。

1) 炉の周辺部の方が中心部より高温で溶融帯が上にあるのは、前述のように補助分配板の使用、埋尺操業により炉頂部の装入分布を変え、周辺のガス流を強くしたことによるものと思われる。

2) 炉芯部の形態に関しても、従来の報告と異なり多量の未融着物が存在したのは、1) で述べたように装入分布の改善により中心部のO/Cokeが周辺部のそれより高くなつたことによるものと考えられる。すなわちシャフト部の装入分布、温度分布が炉下部の溶融帯、炉芯の形態に影響をおよぼしていると考ええてよいだろう。しかしこのような炉芯部の低温化を否定する考え方として、サラマnder板きにより上部の未融着物が流れ込んだのではないかという考え方もあるが、操業中の炉芯部の形態に関しては、シャフト部での装入物分布、ガス分布、さらに炉下部の熱レベルをも合わせて今後検討されるべき問題

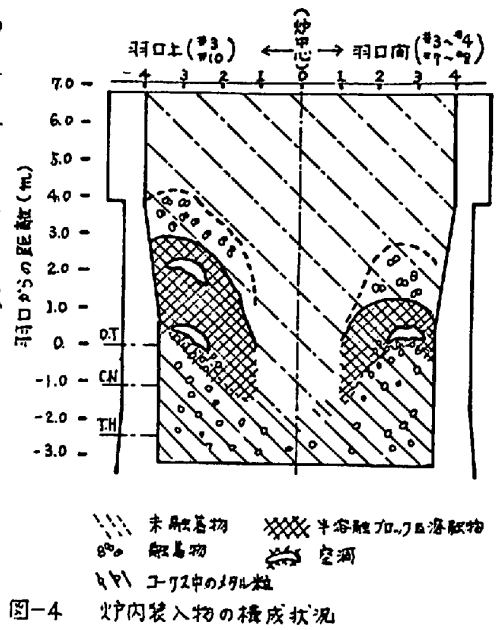


図-4 炉内装入物の構成状況

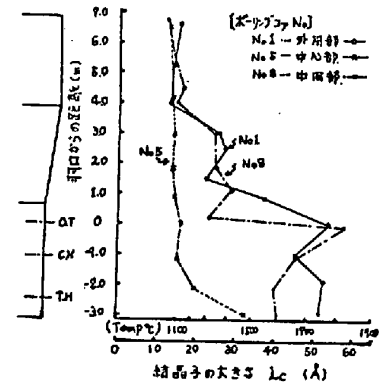


図-5 炉内コークスの結晶子(Lc)の大きさの変化

である。

### 3.2 造薄 溶融過程

#### 3.2.1 調査方法

上述した如く、炉下部からボーリングにて採取した内容物を形態別に、1) 未融着の鉱石類、2) 融着した鉱石類、3) 半溶融ブロック、4) メタル粒および、5) コークスと分類した。スラグ粒は今回の調査範囲内では極く少量しか見出されなかった。本報告は、この分類のうち、1) 未融着焼結鉱、2) 融着焼結鉱、3) 半溶融ブロック、および、4) メタル粒について、化学分析、XMAによる分析、X-ray解析、さらに顕微鏡等により造薄過程について調査した。

#### 3.2.2 結果と考察

##### 1) 結果

炉周辺部では、羽口直上までコークスと鉱石類が層状をなしていた。従って、還元された鉱石類の溶落する前の状態である半溶融ブロックは、層状を保って降下して来り、鉱石類が層を単位に融着し、ブロック化したものと考えられる。このブロック化した内容物を顕微鏡観察すると、融着焼結鉱よりはるかに脈石分と金属鉄のそれぞれの凝集が進んでいた。

融着焼結鉱、半溶融ブロック中の脈石分の量は図6の如くで、溶融前の半溶融ブロックでは脈石分が明らかに減少している。これは、脈石分の一部がスラグとして溶融分離していることを示すものである。また、これら融着焼結鉱、半溶融ブロック中の脈石分の組成変化は図7、図8に示す如くで、溶落直前の半溶融ブロック中の脈石分は、既に最終スラグに近い組成となっている。即ち、羽口先で多く遊離すると考えられるコークス灰分を、このレベルでかなり同化していることを示す。これは、羽口先で遊離したコークス灰分が、ガスによりこのレベルまで吹き上げられ、一部がこの半溶融ブロックによって捕捉されたものと考えられる。又、ブロック内に分布しているスラグをXMAにて分析した結果は、かなり塩基度の高い部分の存在を示していた。

##### 2) 考察

半溶融ブロック中の脈石分全体の平均組成は、かなり最終組成に近い塩基度になっているが、実際には高温基度部分と低温基度部分に分かれているものと推察される。この低温基度部分と高温基度部分は(FeO)%にも関係するが、状態図からそれぞれ低融点と高融点に対応する。

先に、最下レベルの半溶融ブロックでは既に脈石分がスラグとして溶出していることを示した。また、このレベル付近のコークスの結晶子(Lc)の測定から、温度は1200℃～1300℃と考えられる。これ

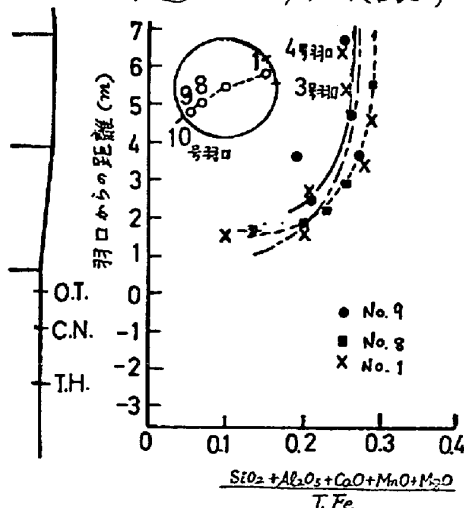


図6 炉内容物の脈石分の量

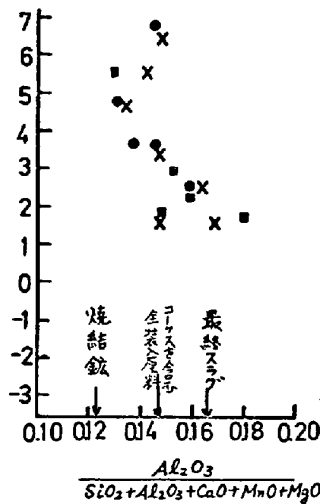


図7 脈石分中の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

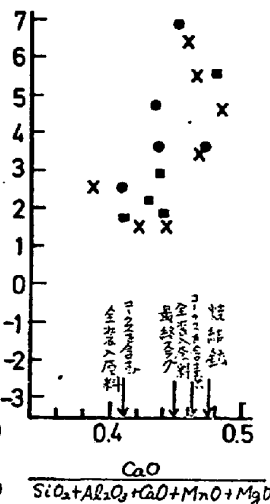


図8 脈石分中の CaO

らから溶出したスラグはFeOをかなり含んだ低温基度側の組成のものであろうと推察される。これは、先に当社試験高炉で得られた結果とほぼ一致する。また、金属鉄の溶融は周囲のコークス温度の推測から、

1300~1400℃で起っているものと推察される。

以上の結果から、造滓過程は

- 1) 尤も、鉍石類は一つの層を単位として一体化する。
- 2) その中でスラグ成分は低融点と高融点の二つの組成に分かれ、低融点のスラグは1200~1300℃で溶融分離が始まる。従って、高炉の造滓過程を考える時個々の鉍石の脈石成分を考えるより、層を単位とするマスの効果も考えることが重要であろう。

#### 4. 結 言

以上川崎4高炉の解体調査結果から、炉下部の状況について要約すると、

- 1) 溶融帯においてセーフスと鉍石は明確な層状を保っている。
- 2) 溶融開始レベルは射顔部で、周辺部が中心部よりも、羽口上が羽口間よりも溶融が早く始まる。
- 3) 周辺部の方が溶融レベルが高いのは、炉頂での装入物分布を操作して中心のガス流を抑え、外部操業にもっていったことによるものと考えられる。
- 4) 従来報告と異なり、炉芯部はセーフスだけでなく大半が未融着鉍石であった。これは外部操業の影響と考えられるが、炉芯部の形態に関しては、シャフト部の装入分布、ガス分布、炉下部の熱レベルも合わせて今後検討されるべき問題である。
- 5) セーフスのLcの測定によりセーフスの履歴温度がわかるが、今回の炉内セーフスのLcの測定によって稼働中の炉内装入物の温度分布を推定することができた。これによっても中心部の温度が低いことがわかる。
- 6) 溶融前の半溶融ブロックのものでは脈石分が減少している。これはスラグとして溶融分離したことを示すが、これらのスラグはFeOをかなり含んだ低塩基度側の組成のものであろう。
- 7) 羽口上の溶落直前の溶融物の脈石分は最終スラグの組成に近い。これは羽口先より吹き上げられたセーフス中の灰分がこの部分で同化したと考えられる。

#### 文 献

- 1) 日本鋼管技研：学振54委、1157(1970年)
- 2) 館：学振54委、1227(1972年)
- 3) 見玉：学振54委、1176(1970年)