

## 論 文

高炉内におけるコークスの劣化機構に関する  
2～3の検討

© 1984 ISIJ

原口 博\*・西 徹\*・美浦 義明\*<sup>2</sup>  
牛窪 美義\*<sup>3</sup>・野田多美夫\*<sup>3</sup>

## Studies on Some Aspects of Deterioration of Coke in Blast Furnace

Hiroshi HARAGUCHI, Tetsu NISHI, Yoshiaki MIURA,  
Miyoshi USHIKUBO and Tamio NODA

## Synopsis:

Based on the results of dissection of Nagoya BF No. 1, studies were conducted on the degradation of coke in a large blast furnace. The results of these studies show the following facts. 1) The degradation of coke in blast furnaces is greatly influenced by the temperature at which coke is subjected to CO<sub>2</sub> reaction. 2) The lump coke, which begins to degrade due to selective solution loss and to decrease its strength at 1 000°C, does not change its grain size up to 1 400°C but begins to reduce it sharply above 1 400°C. 3) The coke fines depositing between the lower part of the shaft and the tuyeres are generated in the vicinity of the raceway and move there by the kinetic energy of the blast. 4) The increase in the alkali content of coke (by 5% maximum in the present study) does not decrease the strength of coke.

Further, the relationship between the inner volumes of Nippon Steel's dissected blast furnaces and the changes in coke size in these furnaces was studied. It is suggested that the coke particle size reduction ratio is higher and the coke degradation conditions are severer in large blast furnaces than in small ones.

## 1. 緒 言

わが国における高炉の解体調査は、1968年八幡製鉄(現新日本製鉄)東田第5高炉にはじまり、今日まで10基におよんでいる。これらの調査により、高炉内におけるコークスの性状変化の実体が具体的に把握され<sup>1)~8)</sup>、コークス品質の管理目標がある程度明確になつてきた。しかし、高炉全体にわたつてのコークスの性状変化や劣化機構については不明な部分が多く、現状では必ずしも十分に解明されたとはいひ難い。しかも、これまでの解体調査は炉内容積600~1400m<sup>3</sup>の小型高炉で行われたものである。現在、わが国で稼動している高炉は内容積2500~4000m<sup>3</sup>の大型高炉が主流であり、大型高炉におけるコークスの劣化は小型高炉における劣化よりいつそう苛酷であることが予想され、コークス品質についてもより優れたものが要求されている。

名古屋第1高炉(2次)は1977年6月1日に吹き止められ、N<sub>2</sub>ガスで冷却後、解体調査が行われた<sup>9)</sup>。本論文では名古屋第1高炉の解体調査結果の中から、大型高炉におけるコークスの劣化機構、粉コークスの挙動お

よびアルカリの作用について、えられた新たな知見を報告する。

## 2. 高炉の解体調査方法

2.1 吹き止め前高炉の操業状況および冷却方法<sup>9)10)</sup>

名古屋第1高炉は炉内容積2518m<sup>3</sup>、炉床径11.0mの大型高炉であり、1970年12月17日に第2次の火入れが行われ、1977年6月1日に吹き止められた。吹き止め前は炉体保護のため、周辺のore/cokeを上げ周辺流抑制を指向した操業が行われた。また、1977年4月1日より高ペレット配合を指向し、低出鉄比(1.58t/d・m<sup>3</sup>)で、燃料比は465kg/t-pであり、安定した炉況が維持されていた。1977年6月1日に吹止休風し、炉内の冷却はN<sub>2</sub>ガスで行われた。これまでの解体調査では注水冷却が行われてきた<sup>1)~8)</sup>が、装入物の再酸化、アルカリおよび装入物中の微粉の流出を極力少なくするため、今回、大型高炉としては世界で初めてN<sub>2</sub>ガスによる乾式冷却が行われたものである。冷却に際しては、初めに炉内をN<sub>2</sub>ページするため、炉頂からN<sub>2</sub>ガスを吹き込み、羽口から熱風管を通して、熱風炉のドームマン

昭和58年4月本会講演大会にて発表 昭和58年10月31日受付 (Received Oct. 31, 1983)

\* 新日本製鉄(株)第三技術研究所 (R & D Laboratories -III, Nippon Steel Corp., 1-1-1 Edamitsu Yahatahigashi-ku Kitakyushu 805)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)第三技術研究所 工博 (R & D Laboratories -III, Nippon Steel Corp.)

\*<sup>3</sup> 新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 (Nagoya Works, Nippon Steel Corp.)

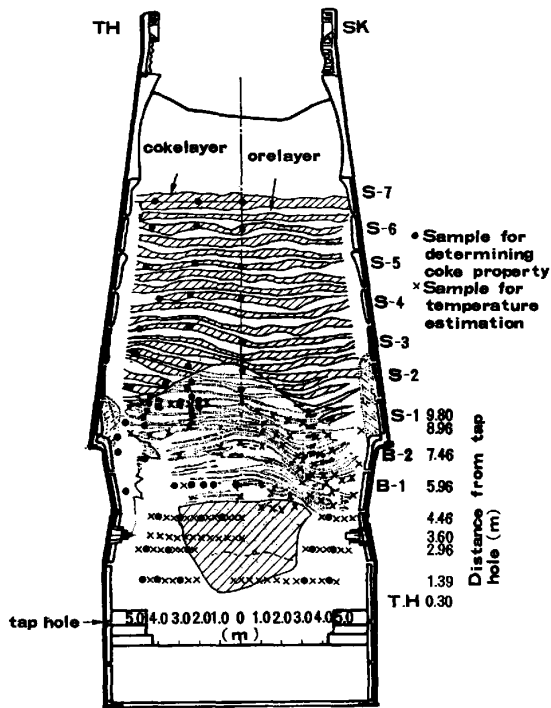


Fig. 1. Sampling positions of coke in blast furnace.

ホールより放散した。ついで、シャフト部の冷却がダウンドラフト冷却（炉頂→羽口）で約1ヵ月行われたのち、湯溜り部の冷却がアップドラフト冷却（羽口→炉頂）で約1ヵ月を要して行われた。

2.2 解体作業およびサンプリング

N<sub>2</sub> 冷却完了後、高炉の解体作業を開始した。Fig. 1 に示すようにコークス性状調査用試料の採取は出鉄口側 (TH) と原料巻き上げ側 (SK) 断面の主に TH 側について、洞岡第4高炉で行われた方法<sup>1)</sup> に準じて行つた。シャフト部の塊状帯領域では、炉高方向に約 1.5 m 間隔で炉径方向に3カ所（中心、中間、炉壁）より約 100 kg ずつ採取した。シャフト下段より炉床にかけては、当初、炉高方向に 1.5 m 間隔で炉径方向の 1.0 m 間隔で中心から炉壁にかけて5カ所採取する計画であつたが、図中に示すように複雑な融着帯や未溶解物が存在したので、採取可能な位置からのみ行つた。また、炉内温度推定用およびコークス中のアルカリ含有量分析用のコークス試料については、コークス性状調査用試料を共用するとともに、TH~SK 断面のシャフト下部より炉床まで×印で示す位置より採取した。

2.3 コークスの性状調査方法

炉内から採取した試料は既報<sup>11)</sup> に準じてスラグ、メタル、コークスに選別した。選別後、コークスは粒度分析<sup>12)</sup>、強度 (DI<sub>10</sub><sup>13)</sup>、I<sub>10</sub><sup>13)</sup>、マイクロストレンクス<sup>14)</sup>、反応性<sup>15)</sup>、工業分析<sup>12)</sup>、元素分析<sup>12)</sup>、X線回折<sup>15)</sup>、顕微

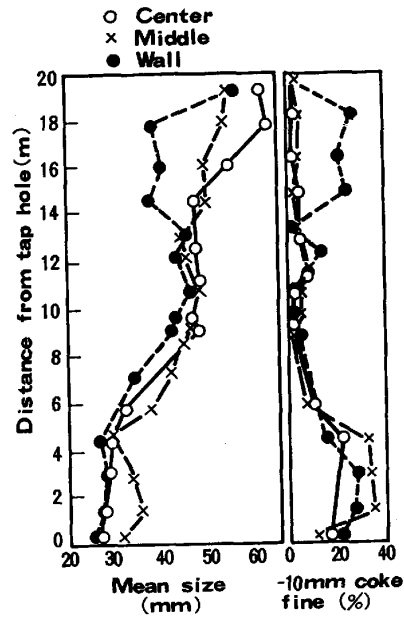


Fig. 2. Change of mean size and -10 mm coke fine in blast furnace.

鏡観察<sup>16)</sup>などの調査を行つた。

2.4 炉内温度推定方法

炉内温度は塊状帯ではテンビルペレットを用いて推定<sup>17)</sup>を行い、融着帯以下では炉内より採取したコークスの結晶子の大きさをX線回折によつて求めて推定<sup>17)</sup>した。

3. 調査結果

3.1 炉内コークスの性状

3.1.1 粒度

Fig. 2 に高炉内高さ方向におけるコークスの平均粒度および -10 mm 粉率の変化状況を、炉径方向の位置別に示した。平均粒度はシャフト上段から中段（出鉄口から 20~14 m）にかけては炉径方向で差異があり、中心部でもつとも大きく、炉壁部でもつとも小さい。さらに炉高方向でも炉内降下にともない、中心部では急激に、中間部では徐々に粒度低下しているが、炉壁部ではいつた急激に粒度低下したのち、再び粒度増加が認められる。シャフト中段から下段（出鉄口から 14~9 m）にかけては平均粒度はほぼ一定であり、炉径方向でもほとんど差がない。シャフト下段から羽口直上（出鉄口から 9~4 m）にかけて、平均粒度は急激に小さくなるが、羽口以下ではほとんど変化は認められない。一方、-10 mm 粉率はシャフト上段から中段にかけては高さ方向ではあまり差は認められないが、炉径方向では中心部および中間部が 5% 以下であるのに対し、炉壁部のみは 20% 以上の高い値を示している。つぎに、シャフト中段から下

段にかけては炉径方向の各位置でほぼ同じ値を示しながら漸増しており、シャフト下段から羽口直上にかけて急増し、それ以下では羽口直上とほぼ同じ粉率レベルで推移している。

3.1.2 強度

Fig. 3 に高炉内におけるコークスの  $DI_{15}^{100}$  の分布を

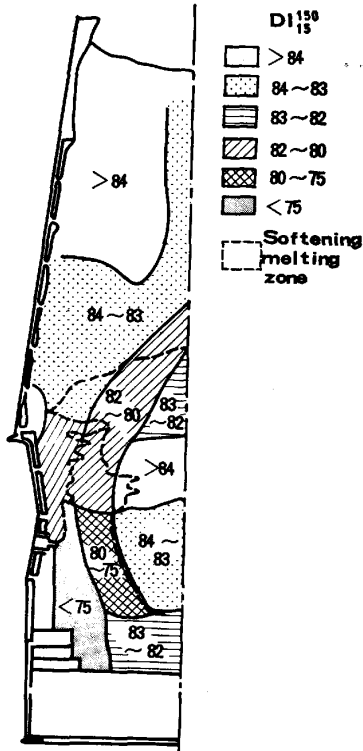


Fig. 3. Distribution of  $DI_{15}^{100}$  in blast furnace.

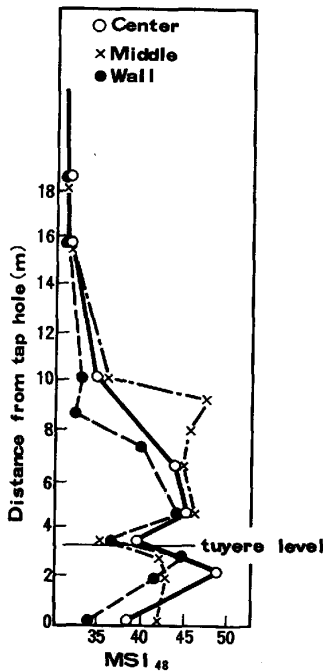


Fig. 4. Change of  $MSI_{48}$  in blast furnace.

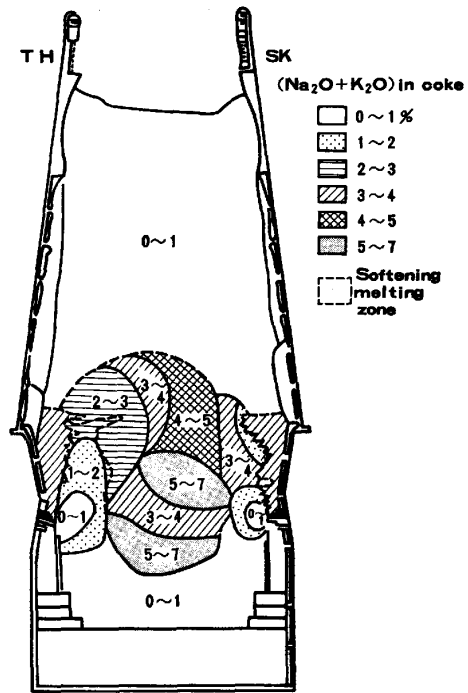


Fig. 5. Distribution of alkali concentration of coke in blast furnace.

示した。この図で明らかなように、装入された塊コークスは高炉内を降下するにつれてその強度が低下するが、もつとも強度低下の大きいのは融着帯頂部から羽口を結ぶ領域と羽口部以下の炉壁部のコークスであり、炉芯部コークスの強度低下はきわめて小さい。炉床湯溜り部では炉芯部に比べ若干強度が低下する傾向が認められた。

Fig. 4 に高炉内におけるコークスのマイクロストレングス ( $MSI_{48}$ ) の変化状況を示した。 $MSI_{48}$  はシャフト下段から羽口直上にかけて急激に高くなるが、羽口レベルでは若干低下する。しかし、それ以下になるといったん  $MSI_{48}$  は高くなり、炉床湯溜り部に達すると羽口レベルとほぼ同じ位に低下している。これを炉径方向で見ると、シャフト下段から羽口直上にかけては中間部の  $MSI_{48}$  がもつとも高く、炉壁部がもつとも低いが、羽口レベル以下では中心部がもつとも高く、炉壁部がもつとも低い傾向が認められた。

3.1.3 コークス中のアルカリ含有量

Fig. 5 に高炉内におけるコークス中のアルカリ含有量の分布を示した。この図で明らかなように、シャフト部の塊状帯領域ではコークス中のアルカリ含有量は 0~1% であるが、シャフト下段の融着帯頂部から急激にアルカリ含有量が増加し、炉芯部では最大 5~7% も含まれている。一方、レースウェイ周辺や炉床部では塊状帯とほぼ同じ 0~1% と低下している。

3.1.4 コークス組織

Photo. 1 に高炉内コークスの顕微鏡観察結果の 1 例

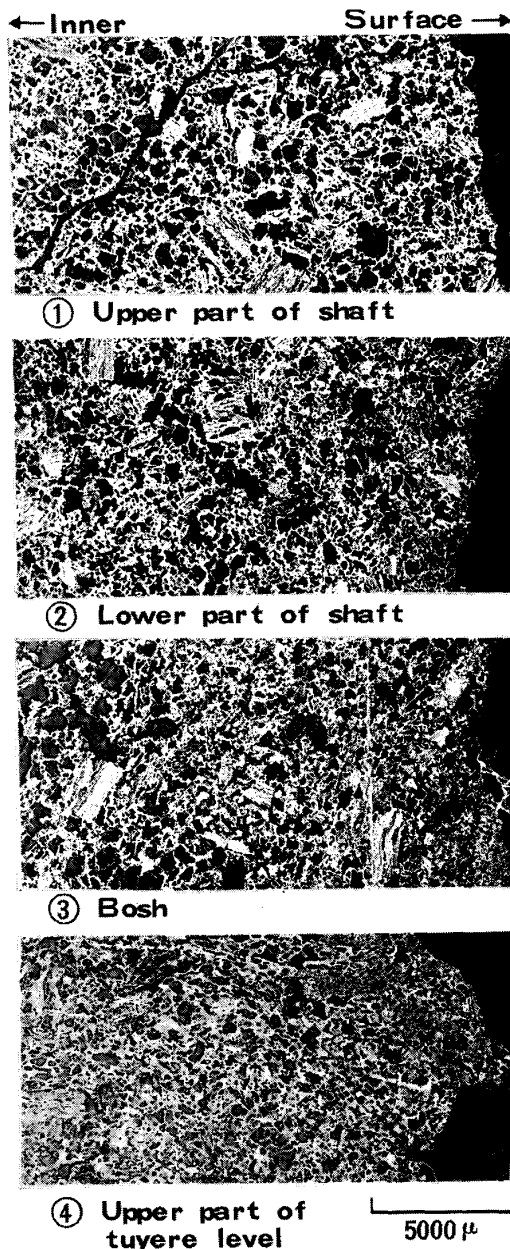


Photo. 1. Change of coke texture.

を示した。コークスの気孔構造はシャフト上部の塊状帯では塊表面から中心部までほとんど変化していないが、シャフト下段から朝顔部にかけてのものは塊表面の気孔壁がかなり薄くなっている。さらに、羽口直上になると塊表面の気孔壁の薄い部分はほとんど認められず塊全体がほぼ均一な気孔構造となつている。

Fig. 6 に高炉内コークスの光学的異方性組織の分析結果の1例を示した。コークス組織は、シャフト上段からシャフト下段、朝顔部へと炉内を降下するにしたがい等方性および微粒モザイク状組織が減少し、繊維状や葉片状組織などの高次の異方性組織が増加している。しかし、それ以下の羽口直上のものでは朝顔部のものとほとんど差は認められない。

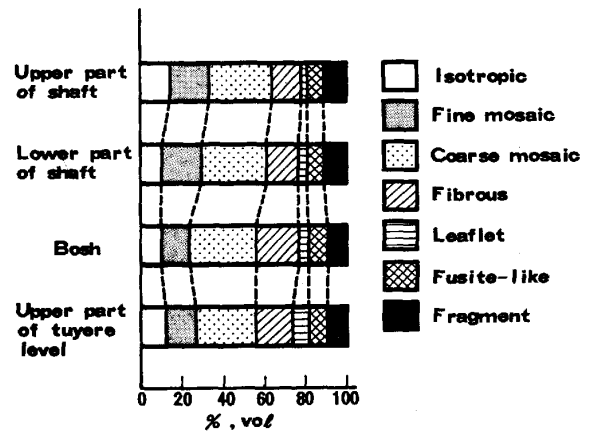


Fig. 6. Change of microscopic analysis of coke in blast furnace.

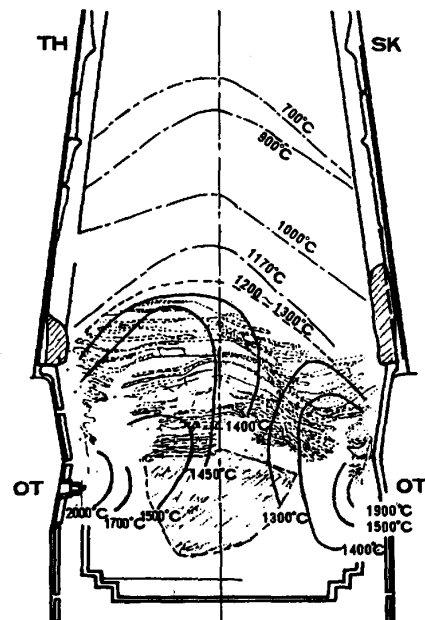


Fig. 7. Distribution of estimated temperature in blast furnace.

### 3.2 炉内温度分布

Fig. 7 に高炉内温度分布の推定結果を示した。この図で明らかのように、シャフト下段の融着帯直上では1200~1300°Cであるが、融着帯内に入ると1300~1400°Cであり、羽口周辺では1900~2000°Cの高温となつている。

## 4. 考 察

### 4.1 高炉内状況

名古屋第1高炉は塊状帯においては焼結鉱の粉化が多く、しかも、炉中心部へのペレットの流れ込みが認められたが、全体として装入物の層状構造が保たれていた。融着帯形状は上部外観は逆V型を示しているものの内部

は複雑であり、低出鉄比、高 ore/coke 操業を反映して低頂層型であった。また、下部外観はM型であり炉下部は融着層枚数が多く、炉芯部に未溶解融着層を残していた<sup>9)10)</sup>。

以上の高炉内状況が大型高炉の低出鉄比で、高ペレット配合操業の特徴であるのか、否かについては、今回の調査からは明確にされていない。

#### 4.2 炉内温度からみたコークスの劣化機構

これまでの高炉解体調査結果<sup>1)~8)</sup>によれば、高炉に装入された塊コークスの性状変化はシャフト下段より始まる。その場合、小嶋らによると、炉容、操業条件、装入前コークスの品質によつて、変化の程度、内容は異なるものと考えられており、基本的にはコークス組織成分の選択的ソリューションロス反応により多孔質化して脆弱化し、炉内を降下する際の摩擦あるいはレースウェイ内での衝撃などにより粉化していくものと推察されている<sup>2)</sup>。

しかし、高炉内でのコークスの劣化機構については、まだ不明な点が多い。そこで、今回の名古屋第1高炉の調査結果について、炉内温度との対比で若干の考察を行った。

Fig. 8 に推定炉内温度と平均粒度および強度の関係を示した。この図の平均粒度および  $DI_{15}^{130}$  の値は、高炉内の同一温度に対応する試料の測定値の平均値で示したものである。ほぼ  $1000^{\circ}\text{C}$  までの範囲はシャフト上段から中段の位置であり、粒度は若干低下するが、強度はほとんど変化していない。先に述べたように、この領域では炉径方向で粒度偏析があり、炉高方向の粒度変化も炉径各位置で異なっている。この炉径、炉高方向での粒度変化は炉内温度からみてもソリューションロスによるものとは考え難いので、粒度低下の理由は不明である。

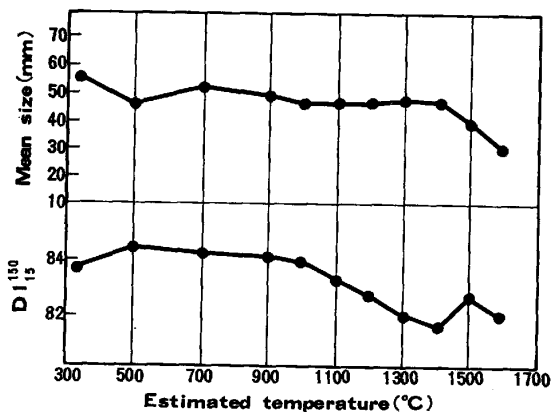


Fig. 8. Relation between estimated temperature,  $DI_{15}^{130}$ , and mean size of coke in blast furnace.

$1000\sim 1400^{\circ}\text{C}$  の範囲はシャフト中段から融着帯頂部にかけての領域であり、平均粒度は変化していないが  $DI_{15}^{130}$  は低下している。これは、この領域ではソリューションロス反応が活発となり、Photo. 1 および Fig. 6 に示したように塊コークスはコークス組織の選択的ソリューションロス反応により表面から劣化する。しかし、この領域では高炉内を降下する際の摩擦力や衝撃力が小さい<sup>18)</sup>ため、平均粒度は変化しないものと推定される。 $1400\sim 1600^{\circ}\text{C}$  の範囲はシャフト下段から羽口直上までの領域であるが、温度の上昇とともに粒度は急激に小さくなる。しかし、強度は低下しないばかりか、若干上昇している。この理由は、この温度域では境界拡散律速により塊表面より反応が進行し、ガス化消滅するとともに、塊表面の反応残部は炉内降下の際の摩擦をうけて細粒となる。しかし、塊内部は未反応状態で保たれる<sup>19)</sup>こと、および、高温処理により Fig. 4 に示したようにマイクロストレングスが上昇するなど基質性状が向上するためと推定される。

以上のように、塊コークスが高炉内で  $\text{CO}_2$  反応をうける場合、その温度レベルによつて塊コークスと  $\text{CO}_2$  との反応機構が異なるため、高炉内におけるコークスの劣化にとつては、炉内温度が重要な意味をもっていることがわかる。

#### 4.3 粉コークスの挙動

高炉内のどの位置で、どのような機構で粉コークスが発生するのかを解明することは、高炉操業技術の確立および高炉内でのコークスの劣化機構を解明する上から非常に重要な課題である。今回の結果では、 $-10\text{mm}$  粉率は Fig. 2 に示したように、シャフト上段から中段の炉壁側で高く、シャフト中段から下段にかけては全体的に減少し、シャフト下段から羽口直上および炉床にかけて大幅に増大している。以下にのべる考察は、コークスカーボン熱処理によつて黒鉛化が進行するが、その変化は不可逆である<sup>20)</sup>ことを利用して、粉コークスの発生挙動を検討したものである。

Fig. 9 に高炉内における塊コークス ( $+10\text{mm}$ ) と粉コークス ( $-10\text{mm}$ ) の結晶子の大きさ ( $L_c$ ) の変化状況を示した。この図で明らかなように、シャフト上段から中段では塊コークスと粉コークスの  $L_c$  は  $17\sim 20\text{\AA}$  で両者はほぼ同じ値を示しており、比較的小さい。したがって、この位置の粉コークスはそこで発生したか、装入時に発生したものと考えられる。つぎに、シャフト下段から羽口レベルにかけては、塊コークスおよび粉コークスともに急激に  $L_c$  が大きくなる。もつとも  $L_c$  が大きいのは塊コークスおよび粉コークスとも炉壁部の出鉄

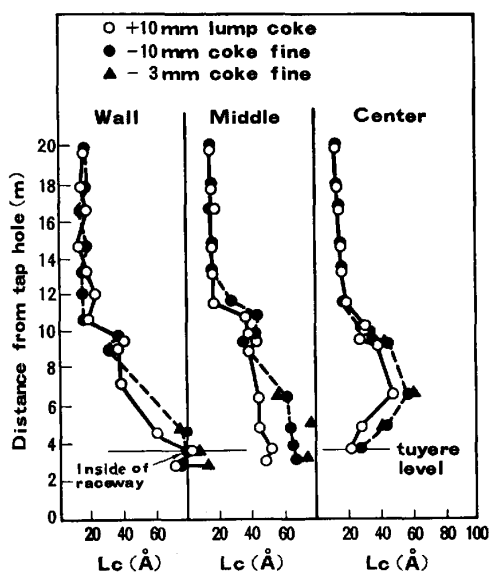


Fig. 9. Change of crystallite size ( $L_c$ ) of lump coke and coke fine in blast furnace.

口から 3.6 m 上のレースウェイ内のものであり、約 80 Å である。しかし、それ以外の位置では塊コークスの  $L_c$  は 20~80 Å であるが、粉コークスの  $L_c$  は塊コークスに比べて 10~20 Å 大きい。また、シャフト下段以下については -3 mm 粉コークスの  $L_c$  も測定して示したが、-10 mm 粉コークスの  $L_c$  に比べて同等ないし大きいことが判明した。-10 mm 粉コークスはレースウェイ内の塊コークスおよび粉コークスより  $L_c$  が小さいが、粉コークスはその位置にある塊コークスより高温域で生成したことは明らかである。高炉下部の風流れより推察すると、粉コークスはレースウェイ内およびその近傍で発生し、羽口送風によつて吹き飛ばされて移動し堆積したものと考えられる。レースウェイ内での粉化に関しては、当社界第 2 高炉で 1975 年から 1978 年にかけて行われた羽口採取試料調査結果<sup>17)</sup>でも認められている。

#### 4.4 コークスの劣化に及ぼすアルカリの作用

高炉内での循環成分であるアルカリ蒸気のコークス劣化に及ぼす影響を明らかにすることは非常に重要である。館<sup>21)</sup>らおよび C. K. CHOW<sup>22)</sup>らはコークスへのアルカリの直接アタックにより、き裂の発生に伴う細粒化および強度低下が認められると述べている。一方、館<sup>23)</sup>らは  $CO_2$  存在下ではアルカリ添加コークスはアルカリ無添加コークスに比べて、 $CO_2$  反応は促進するが、強度低下率は小さいと報告している。そこで、今回の高炉内採取コークスを用いて、若干の検討を行った。

高炉内より採取したコークスのアルカリ含有量は Fig. 5 に示したようにシャフト下段の融着帯内に入る

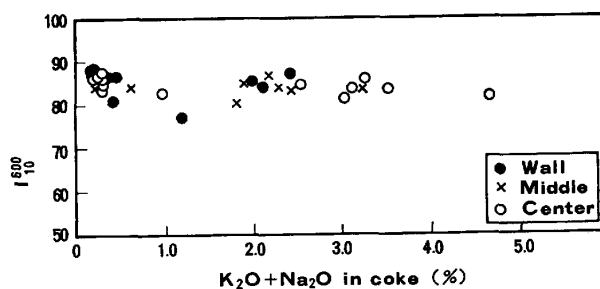


Fig. 10. Relation between alkali and strength ( $I_{10}^{1600}$ ) of coke in blast furnace.

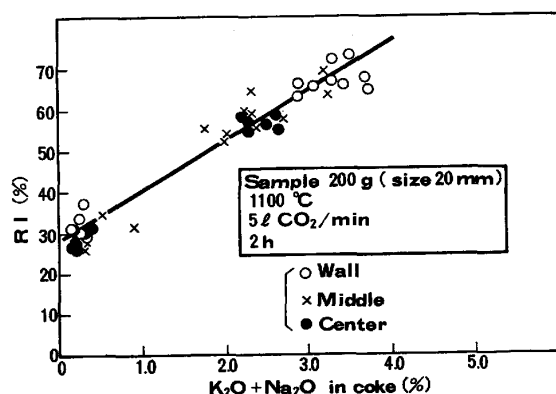


Fig. 11. Relation between alkali content and reactivity.

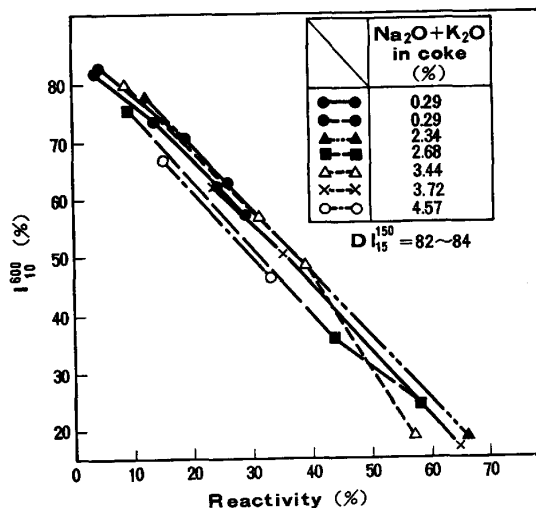


Fig. 12. Relation between reactivity and strength ( $I_{10}^{1600}$ ) of coke in blast furnace.

と大幅に増加している。しかし、Fig. 10 に示したコークスのアルカリ含有量と I 型強度 ( $I_{10}^{1600}$ ) の関係からわかるように、コークスのアルカリ含有量が 5% 程度まで増加しても強度にはほとんど差が認められない。

つぎに、アルカリ含有量の異なるコークスが、 $CO_2$  反応をうけた場合、アルカリ含有量の差によつてコークスの劣化機構が異なるかどうかを明らかにするため、CSR 試験装置<sup>13)</sup>を用いて検討した結果を Fig. 11~12 に示

した。Fig. 11 は反応時間一定の場合のコークスのアルカリ含有量と反応量 (20±1mm のコークス 200g を 1100°C, CO<sub>2</sub>=5 l/min で 2 h 反応させた後の減量, RI(%) で示す。) の関係を示したものである。この図より、コークスのアルカリ含有量が多いほど反応量は多くなる傾向が認められる。Fig. 12 は反応量一定の場合のコークスの反応後強度の変化状況とアルカリ含有量との関係を明らかにするため、反応時間を変えて CO<sub>2</sub> 反応量を変動させ、反応量 (RI) と反応後強度 (I<sub>1000</sub><sup>0</sup>) の関係を求めたものである。この図より、アルカリ含有量の多いコークスも少ないコークスも同一反応量では強度に差が認められないことがわかる。

今回の調査結果より、コークス中のアルカリ含有量 5% の範囲内では、アルカリは CO<sub>2</sub> 反応は促進するが<sup>23)</sup>、アルカリ含有量が増加したからといって、コークスの強度が低下するような要因にはならないことが判明した。

#### 4.5 高炉内容積とコークスの劣化との関係

これまで当社においては内容積 646 m<sup>3</sup> から 2520 m<sup>3</sup> までの高炉について解体調査が行われてきた。これらの調査結果をもとに、高炉内容積とコークスの劣化との関係について若干の検討を行った。

Fig. 13 に、これまで当社で調査された各高炉について、高さ方向でのコークスの平均粒度および強度 (DI<sub>15</sub><sup>0</sup>) を比較して示した。この図で明らかなように、平均粒度は炉内容積にかかわらずシャフト下段近傍まで徐々に小さくなり、シャフト下段近傍から羽口直上にかけて急激に小さくなる。その場合、粒度変化状況は二つのグループに分けられ、羽口レベルを 0、ストックラインレベルを 1.0 とした相対距離で表すと、名古屋第 1 高炉と洞岡

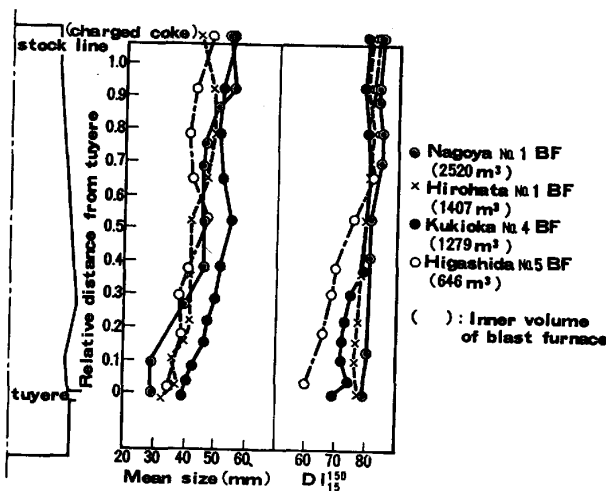


Fig. 13. Change of coke property in blast furnaces.

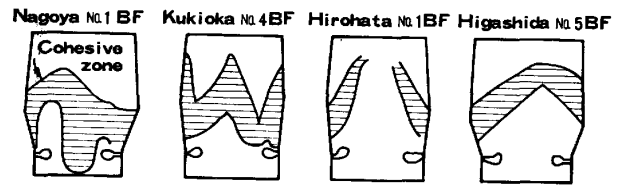


Fig. 14. Distribution of cohesive zone in blast furnace.

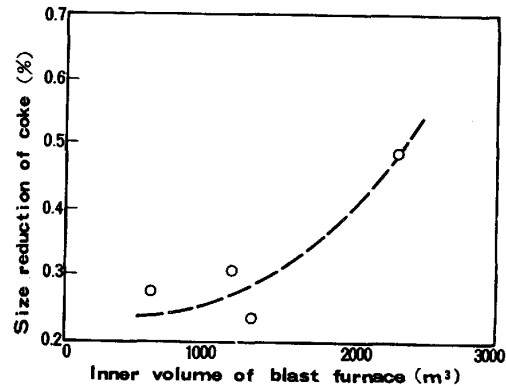


Fig. 15. Relation between inner volume of blast furnace and size reduction of coke in blast furnace.

第 4 高炉の場合は約 0.4 の位置から急激に細粒化するのに対し、広畑第 1 高炉と東田第 5 高炉の場合は約 0.2 の位置から急激に細粒化する。さらに、細粒化の程度も後者に比べ前者の方が大きい。また、DI<sub>15</sub><sup>0</sup> はいずれの高炉でも装入後炉内を降下するにつれて徐々に低下し、強度低下の程度は炉内容積の小さい高炉ほど大きい傾向が認められる。これは小型高炉ほど、炉内での摩耗や衝撃の影響が小さく、反応による脆弱部が多く残留しているためと推定される。Fig. 14 に各高炉内の融着帯分布を示したが、名古屋第 1 高炉と洞岡第 4 高炉は W 型および M 型融着帯で、融着帯が炉下部まで存在するのに対し、広畑第 1 高炉と東田第 5 高炉は逆 V 型の融着帯である。Fig. 13 の粒度変化状況と Fig. 14 の融着帯分布はよく対応しており、W 型および M 型で炉下部まで融着帯が存在しているものほど細粒化開始位置が高く、細粒化程度が大きい。一方、逆 V 型の融着帯ほど細粒化開始位置が低く、細粒化程度が小さい。Fig. 13 に示すようにコークス強度と炉内における粒度低下とは必ずしも良い対応関係にはなく、コークスの劣化には高炉操作条件の影響の方が大きいことが推定される。

Fig. 15 に高炉内容積と高炉内でのコークス粒度減少率 = (装入前粒度 - 羽口レベル粒度) / 装入前粒度 × 100) の関係を示した。この図で明らかなように、高炉内でのコークス粒度減少率は 1500 m<sup>3</sup> 以下の小型高炉では炉内容積との関係はそれほど明瞭でないが、1500 m<sup>3</sup> 以下

の小型高炉に比べ 2500 m<sup>3</sup> の名古屋第 1 高炉では明らかに粒度減少率が大きい。この結果は、高炉操業条件の影響もさることながら、それ以上に炉内容積の影響が大きい可能性を示している。これは一般に、大型高炉ほど装入物荷重による摩耗や衝撃の影響を多くうけるためではないかと推定される。したがって、大型高炉ほど熱間性状の優れたコークスを使用する必要がある。

## 5. 結 言

名古屋第 1 高炉解体調査結果にもとづき、高炉内におけるコークスの劣化機構について若干の検討を行い、新たな 2~3 の知見を得た。名古屋第 1 高炉は N<sub>2</sub> ガス冷却ののち解体調査を行ったので、注水冷却に比べて炉内の粉コークス分布やコークスのアルカリ含有量について、より精度よく把握されたものと考えられるが、注水冷却との差は明確にできなかつた。結果を要約すると、高炉内におけるコークスの劣化には CO<sub>2</sub> 反応をうける場合の炉内温度の影響が大きく、炉内に堆積している粉コークスはレースウェイ近傍で発生し、羽口送風エネルギーで移動していることが明らかとなつた。さらに、コークスのアルカリは CO<sub>2</sub> 反応は促進するが、コークスのアルカリ含有量が増加（今回は~5% まで）したからといって強度が低下するような要因にはならないことがわかつた。また、小型高炉に比べ大型高炉ほど粒度減少率が大きく、大型高炉になるほど炉内でのコークスの劣化条件が苛酷となることが推測された。

## 文 献

- 1) 神原健二郎, 萩原友郎, 重見彰利, 近藤真一, 金山有治, 若林敬一, 平本信義: 鉄と鋼, 62 (1976), p. 533
- 2) 小嶋鴻次郎, 西 徹, 山口徳二, 仲摩博至, 井田四郎: 鉄と鋼, 62 (1976), p. 570
- 3) 梶川脩二, 隅田 昇, 吉越英之, 福島 勤, 鴨志田友男, 福山辰夫: 鉄と鋼, 59 (1973), A81
- 4) 伊沢哲夫, 里見弘次, 中島龍一, 梶川脩二, 宮本健彦, 隅田 昇, 福島 勤: 鉄と鋼, 61 (1975), S399
- 5) 伊沢哲夫, 三浦光敏, 里見弘次, 斉藤正紀, 宮本健彦, 福島 勤, 古川 武: 鉄と鋼, 63 (1977), S446
- 6) 佐々木寛太郎, 羽田野道春, 渡辺雅男, 下田輝久, 横谷勝弘, 伊藤考夫, 横井 毅: 鉄と鋼, 62 (1976), p. 580
- 7) 橋爪繁幸, 高橋洋光, 中川敏彦, 富田貞雄, 佐藤政明, 森岡恭昭, 小坂橋寿光: 鉄と鋼, 64 (1978), S108
- 8) 成田貴一, 佐藤 忠, 前川昌大, 富貴原璋, 金山宏志, 笹原茂樹: 鉄と鋼, 66 (1980), p. 195
- 9) 江崎 澁, 阿部幸弘, 岩月鋼治, 今田邦弘, 高崎誠, 井上展夫: 鉄と鋼, 67 (1981), S 50
- 10) 郷農雅之, 岩月鋼治, 今田邦弘, 野田多美夫: 鉄と鋼, 68 (1982), S120
- 11) 西 徹, 原口 博, 美浦義明, 桜井 哲, 斧勝也, 彼島秀雄: 鉄と鋼, 66 (1980), p. 40
- 12) JISK 2151-1972 コークス類の試験方法
- 13) 西 徹, 原口 博, 西本慶二: 燃料協会誌, 61 (1982), p. 1066
- 14) H. E. DRYDEN: JISI, 11 (1937), p. 47
- 15) 炭素材料実験技術 (炭素材料学会編) (1978) [科学技術社]
- 16) 山口徳二, 桜井義久, 八巻孝夫, 小嶋鴻次郎, 佐々木昌弘: コークスサーキュラー, 32 (1983), p. 55
- 17) 原口 博, 西 徹, 美浦義明, 長嶋勝喜: 鉄と鋼, 67 (1981), S799
- 18) 奥山泰男, 柳内 衛, 宮津 隆: コークスサーキュラー, 28 (1979), p. 130
- 19) 原口 博, 西 徹, 美浦義明: 鉄と鋼, 68 (1982), S746
- 20) 木村英雄, 白石 稔, 小泉啓治: コークスサーキュラー, 18 (1969), p. 91
- 21) 張 東植, 館 充: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 479
- 22) C. K. Chow and W.-K. Lu: Ironmaking Proceedings, 38 (1979), p. 201
- 23) 張 東植, 館 充: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 488