

500, 700°C および 920°C にそれぞれ 17 hr 加熱した結果 (Photo. 2), 500°C においては付着物上に少量の炭素析出が認められたが, 付着物の崩壊はほとんど認められなかった. 高炉々内での付着物の変質作用を推定するためには, さらに長時間加熱する必要がある. 700°C の場合は 17 hr の加熱で炭素析出とともに付着物の崩壊, 粉化が認められた.

また 920°C の場合は



の反応により, ZnO は還元され, Zn は揮発し, 付着物は崩壊した.

以上の事実から, 高炉付着物の形成後, 炉内条件 (特に温度) の変化によつて付着物は変質すると考えられる. 例えば, 冷却箱の作用を停止して, 付着物の亜鉛富化層の温度が 920°C 以上に上昇した場合, ZnO は還元されて揮発する. そのために付着物中の Fe, FeO, SiO<sub>2</sub> など付着物構成鉱物組成の結合は破れ, 付着物は崩壊し, 揮発した Zn は上部の低温部に凝結して, 再び付着物を形成すると考えられる.

また脆い層の形成は, 付着物生成後の炭素析出に起因するものと考えられるが, この点についてはさらに詳細な実験を必要とする.

## 5. 結 言

操業中の灘浜第 2 高炉付着物につき, その化学的および鉱物学的組成を明らかにするとともに, 溶融点の測定ならびに付着物の還元性雰囲気における加熱試験を行ない, 付着物の生成機構を推定するとともに, それを基にして 2, 3 の防止対策を示すことを目的とした.

高炉付着物の生成は, まず炉内の温度条件に応じてアルカリ, 亜鉛, 鉛および炭素など炉内で容易に気相になり得る成分が炉壁部に析出し付着物足を形成することから始まる. この付着物足には, 炉壁から炉芯に向つてアルカリ富化層, 炭素亜鉛富化層, 鉛富化層が存在する. 次に付着物足上に装入物中の微粉が堆積し, 条件によつては焼結するとともに還元され, 海綿鉄状の鉄分含有量のきわめて高い付着物が形成されると考えられる.

したがって付着物生成の防止対策としては,

- (1) 揮発成分の装入量を最少限にとどめること.
  - (2) 整粒設備を強化して装入物の粉率を低下させること.
  - (3) 付着物の生成状況によつて炉壁の冷却を制御すること.
  - (4) 周辺操業を維持し, 炉壁部の cleaning を行ない, 揮発成分の停滞を防止すること.
- などが考えられる.

## 文 献

- 1) DIEMERS, S. HENKEL, E. NAUMANN and H. SCHENCK: Stahl u. Eisen, 85 (1965), 20, p. 1240
- 2) A. V. GOROKH, I. M. GALEMIN and G. A. KOMLEV: Stal in English, July (1964), p. 509
- 3) J. WILLEMS, G. HEYNERT, G. QUADE and W.

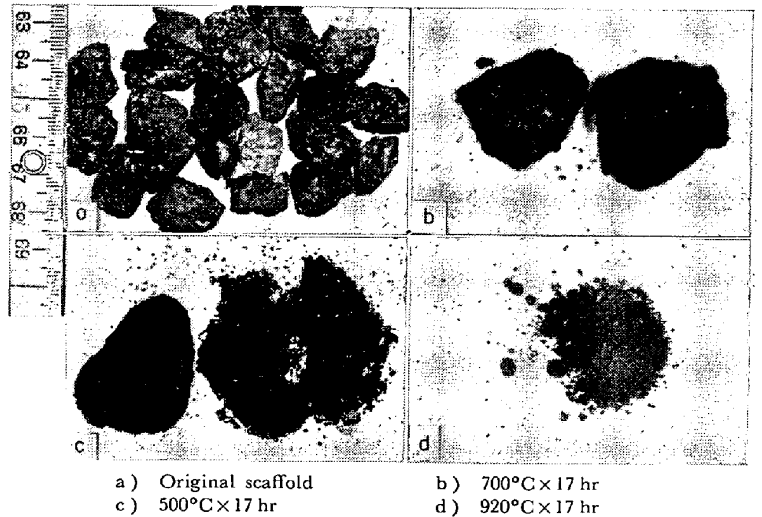


Photo. 2. Appearance of Zn rich scaffold reduced in CO 30% + N<sub>2</sub> 70%.

ZISCHKALE: Stahl u. Eisen, 84 (1964) 2, p. 57

4) 大庭, 平櫛, 田中: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 630

## (33) 東田第 6 高炉 (5 次) 炉床部レンガの使用後性状調査

(高炉用レンガの損耗に関する研究—Ⅶ)

八幡製鉄, 技術研究所

工博 大庭 宏・平櫛敬資・松尾正孝

Investigation on After Use Properties of Higashida No. 6 Blast Furnace Hearth Linings, 5th Campaign

(Study on wearing mechanism of blast furnace linings—Ⅶ)

Dr. Hiroshi OHBA, Keisuke HIRAGUSHI and Masataka MATSUO

## 1. 緒 言

国産シャモットレンガで 10 年 7 カ月の長期操業を達成した東田第 6 高炉 (5 次) の炉床部レンガの使用後性状を調査した. 炉床レンガは, 最近ではカーボン質が一般に用いられるが, 本高炉は, 当八幡製鉄所においてカーボン質に移行する前の最後のシャモット炉床である. 炉床は, 炉底, 朝顔などに比べると問題のほとんど起こらない部分であるが, 現在のレンガ材質が最適なものは必ずしも考えられず, 改善の必要があることおよび残存レンガが厚く, アルカリその他の外来成分のレンガに対する影響を調査し易いことから使用後レンガ性状を調べることは, 意義があるものと考えられる.

## 2. 試 料

東田第 6 高炉 (5 次) は昭和 26 年 12 月 14 日火入れ後 10 年 7 カ月の連続操業で 213 万 t の出鉄を行なつた. 炉床レンガは, 当所炉材課製で国産シャモットを用いていることが特徴となつている. 今回調査した炉床レンガは Fig. 1 に示す 2 個所で, 上部は長さ 500 mm,

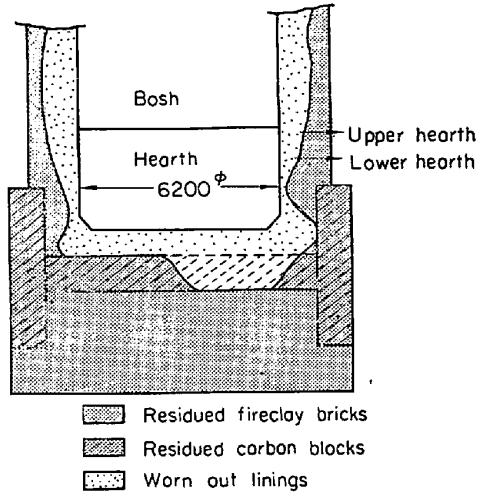


Fig. 1. Worn profile of Higashida No. 6 blast furnace bottom.

下部は 820 mm で炉内面から鉄皮にわたり 50~100 mm の小試片に分割して性状調査を行なった。

3. 性状調査結果

小分割した各試料について、物理性状、化学成分、鉱物成分に関する諸試験を行なった。

3.1 物理的性質

使用前にくらべて気孔率低下、圧縮強度の増加による緻密化および耐火度低下が認められる (Fig. 2)。とくに稼動面側 200 mm の緻密化が大きい。炉床上部は、稼動面だけが耐火度 1500°C であるが、炉床下部では、285 mm までが著しく低耐火性となっている。低耐火性

となつた部分の真比重は原レンガよりも小さく、ガラス化が原因となつて低比重、低耐火性となつたものと推察される。

3.2 化学分析

外来成分のうち K<sub>2</sub>O のみがレンガ深部にまで認められる。K<sub>2</sub>O は、気孔率が 10% 以下に低下しているところまでに数パーセント存在する (Fig. 2)。K<sub>2</sub>O 以外にレンガ内部に侵入した成分はない。炉床下部の表面にはカーボンおよび CaO を多量に含む多孔質物質が存在した。

3.3 X線回折 (Table 1)

粉末法 X線回折によつて各試料の構成鉱物の同定を行なった結果、K<sub>2</sub>O の化合物として、sanidine (K<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6SiO<sub>2</sub>)、leucite (K<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·4SiO<sub>2</sub>)、kalsilite (K<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>) が認められた。また、CaO およびカーボンを多量に含む炉床下部の表面は、gehlenite (2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>) と graphite が主成分となつていた。原レンガ成分の mullite および cristobalite は稼動面側で減少する傾向があり、とくに下部試料の表面 200 mm では著しく減少していた。粘土起源の silica は、通常 cristobalite として存在するが、一部 tridymite 化していた。

3.4 顕微鏡観察

薄片によつて透過光顕微鏡観察を行なった。炉床上部および下部試料ともに稼動面は黒色化していたが、これは、レンガの空隙に析出した少量のカーボンによつていた。K<sub>2</sub>O 化合物の sanidine および leucite は、粒子の周辺に 10 μ 前後の微結晶として認められた (Photo. 1)。変化の大きい炉床下部では、レンガ粒子の原形が完全に

Table 1. X-ray diffraction results of used hearth bricks.

S	M	Mullite (3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> )	Cristobalite (SiO <sub>2</sub> )	Tridymite (SiO <sub>2</sub> )	Kalsilite (K <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub> )	Leucite (K <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 4SiO <sub>2</sub> )	Sanidine (K <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 6SiO <sub>2</sub> )	Gehlenite (2CaO· Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub> )	Graphite (C)
		Upper hearth (HE-1)	mm						
	15	+++	++++		+		+++		
	55	++++	++++				+++		
	105	++++	++++	+					
	165	++++	++++	+					
	225	++++	++++	++					
	275	++++	++++	+					
	350	++++	++++	+					
	455	++++	++++	+					
Lower hearth (HE-2)	15					++		++++	++
	55	++				++++			
	105	+				++++			
	155	++	+			++++	++		
	225	++	++			++			
	285	+++	++	+					
	335	++++	++++	+					
	420	++++	++++	+					
	500	++++	++++	+					
	575	++++	++++	+					
	655	++++	++++	+					
	725	++++	++++	+					
	790	++++	++++						

M: Mineral, S: Sample

++++ Very strong, +++ Strong, ++ Medium, + Little

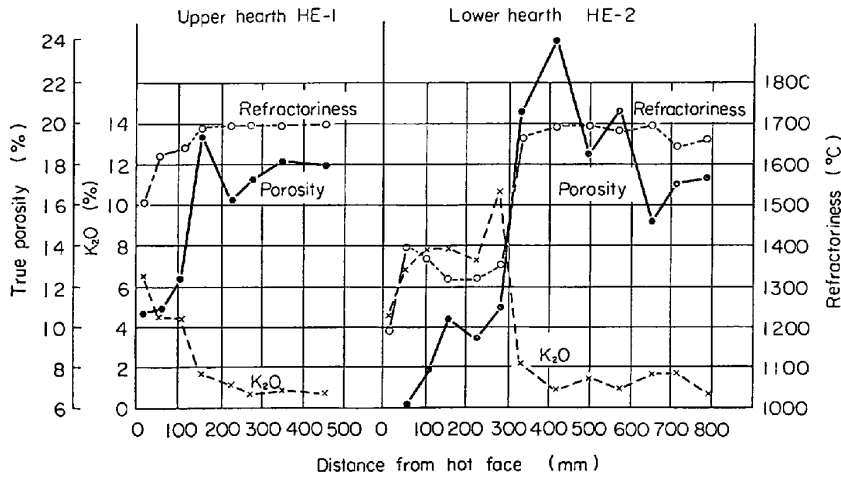


Fig. 2. Physical and chemical properties of used hearth bricks.

消失していた。

4. 考察

4.1 炉床レンガ損耗の特徴

炉床の残存レンガは、シャフト下部や朝顔よりも大きく、これらの部分よりも損耗の苛酷性は小さいと考えられる。炉床の上、下2試料のうち、下部の方が残存レンガ寸法は大きい、変質が大きいことから、下部の損耗の苛酷性が小さいことが推察される。上、下試料ともに、炉内側は、

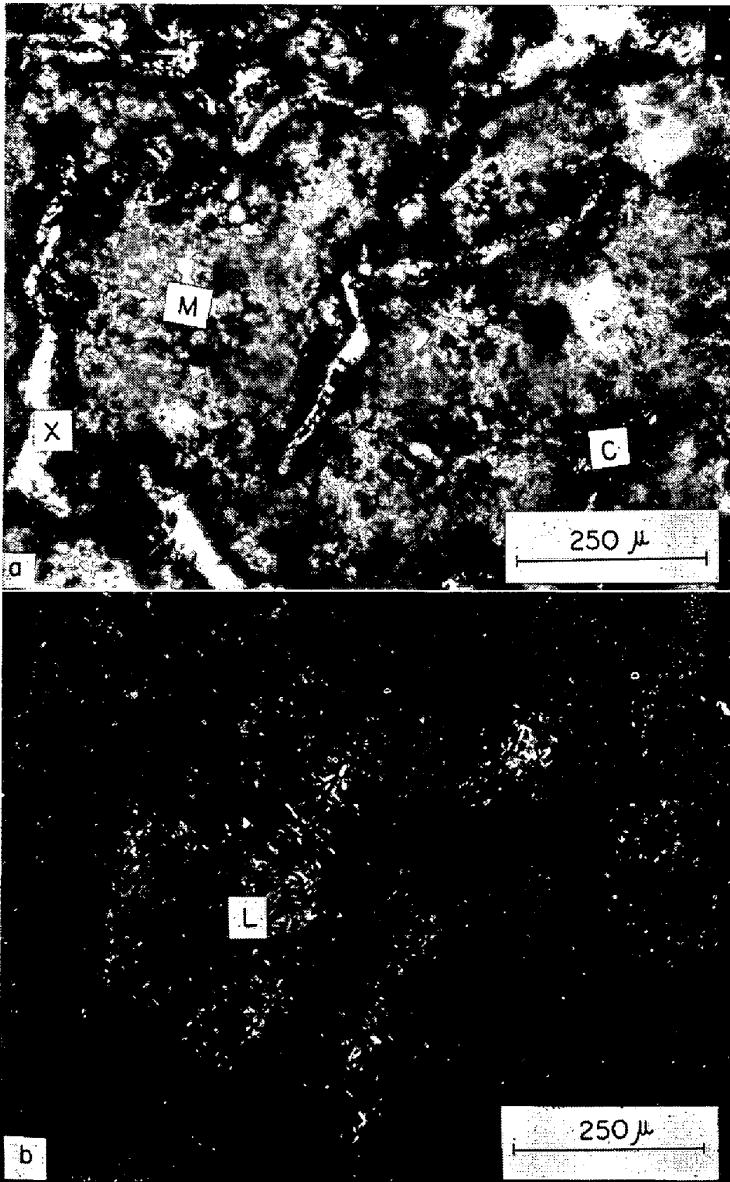
- ① 耐火度低下
- ② 気孔率減少
- ③ 新鉱物の生成

が認められた。これらのレンガ性状変化は外来成分とくに K<sub>2</sub>O の侵入によつてゐる。K<sub>2</sub>O は、原レンガの SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と反応して K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 系鉱物を形成する。今回の炉床部レンガのうち、K<sub>2</sub>O を 5% 以上含む試料の分析値を K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 系状態図に示したが (Fig. 3), 低 K<sub>2</sub>O 側に sanidine, 高 K<sub>2</sub>O 側に leucite が生成することが明らかとなつた。したがつて K<sub>2</sub>O の侵入量に応じて sanidine→leucite→kalsilite の生成が起るために、K<sub>2</sub>O 含有量の多くなるほど、粒子の変化すなわちレンガの変質損耗が大きくなることが推察される。

次に、高炉ライニングに侵入するアルカリに関して、カリウムはナトリウムよりも著しく多いことが知られている。カリウムが選択的に高炉内に残留する原因は不明であるが、今回調査した炉床レンガについて、K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比と炉内からの距りとの関係を見ると、炉内面では K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ≒ 5~9 であるが、鉄皮近くでは 2 前後までほぼ直線的に低減している (Fig. 4)。この現象がカリウムとナトリウムのレンガ内拡散の温度特性を示すものか、拡散抵抗性の相違によるものか不明であるが興味深い現象と考えられる。なお、Na<sub>2</sub>O と K<sub>2</sub>O 含有量の間には比例関係があり K<sub>2</sub>O の多い試料は、Na<sub>2</sub>O も多い傾向がある。

4.2 炉床レンガの損耗機構

炉床部レンガは炉壁レンガに比較して損耗が小さいが、その原因として、① 外来成分の侵入が小さい、② 装入物の降下による機械的磨耗が小さい、③ 気相と接触する時間が短い、④ 気相の凝縮温度以上で操業される、などによつてゐる。亜鉛およびカーボンデポジションの影響は、シャフト、朝顔に比べると非常に少なく、外来成分は、アルカリとくにカリウムのみでレンガ内に最高 10% 侵入し、炉壁の 30% に比べて少なくなつてゐる。炉床部は、炉壁に比べて操業温度が高いため、温度要因の見地からすると損耗は緩慢である。損耗プロファイルから明らかごとく、炉床下部の方が化学的変質は大きくても損耗が小さいが、これは、機械的磨耗作用が小さいためと考えられる。以上の検討から炉床部レンガの損耗機



a) Open nicol : Mullite (M) and carbon deposited (C)  
b) Crossed nicols : Leucite (L)

Table 1. Microstructure of a used hearth brick near hot face. (Magnification 100)

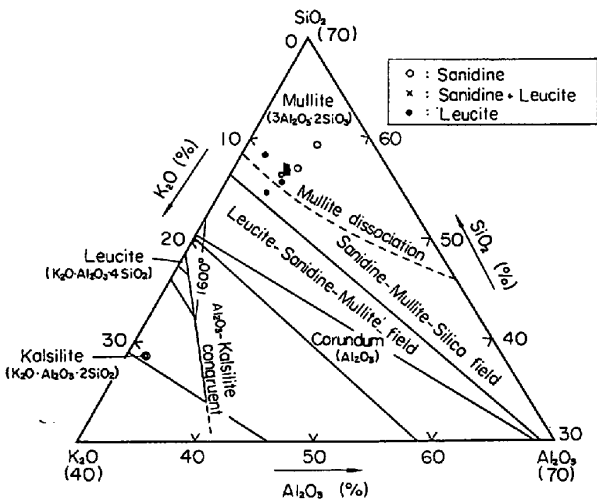


Fig. 3. Reaction products on the diagram of  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$  system.

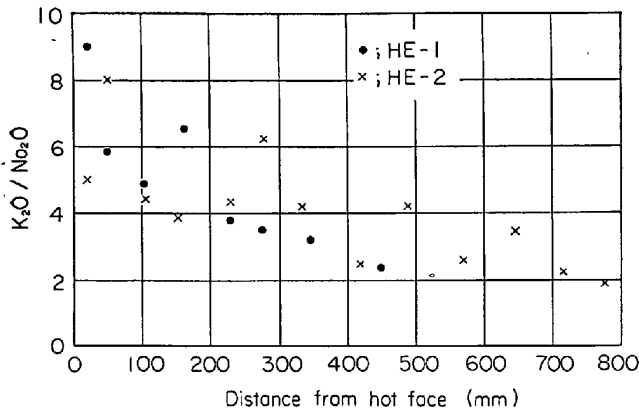


Fig. 4. Relation between  $K_2O/Na_2O$  and distance from hot face.

構は、アルカリとくにカリウムのレンガ内部侵入に伴うレンガ組織および化学成分の変化が、耐火性低下および耐腐蝕性低下をもたらす、炉床ライニングが溶鉄によって連続的に損耗される機構によるものとされる。

4.3 今後の炉床用炉材

炉床部レンガの損耗原因は、比較的少量のアルカリによる変質と溶鉄の機械的磨耗で、炉壁レンガのような苛酷な侵食条件には、さらされないで、損耗量は小さい傾向にある。したがって、従来品と同材質の粘土レンガで問題ないようにも思われるが、① 操業技術の進歩によりライニングの苛酷性が增大すること、② 炉床操業温度が高いこと、および ③ 炉床破損事故の影響が大きいことを考えた場合、炉床レンガ品質の一層の向上が必要である。カーボン炉床を使用した高炉の解体調査によると<sup>3)</sup>、粘土レンガに比べて損耗は著しく小さく、カーボンの優秀性が実証されている。朝顔にもカーボンが使用されるすう勢にある現在、炉床部はすべてカーボン質とする必要がある。炉床部レンガの損耗原因であるアルカリに対して、カーボンは粘土質よりも著しく抵抗性を有し、第5次洞岡第1高炉では、カーボンブロック内にアルカリが侵入変質しても損耗は、ほとんどうけなかつた<sup>4)</sup>。したがって、今後の炉床レンガは、カーボンブ

ロックとすべきであるが、冷却水の漏水、空気酸化が懸念される場合は、粘土-黒鉛質、黒鉛-粘土-SiC 質など、耐酸化性を考慮したカーボン質レンガの使用が妥当と思われる。

5. 結 言

東田第6高炉(第5次)解体レンガの調査を行なった。試料は、出鉄口上部の炉床レンガで、変質状態およびレンガ損耗機構について次の結論がえられた。

1) 炉床レンガの損耗機構は、アルカリのレンガ内侵入に伴う組織変化、耐火度低下により、稼働面の機械的、化学的侵食に対する抵抗性が減少することによっている。

2) 炉床上部よりも下部の損耗が小さかったが、アルカリに伴う変質は、下部の方が大きく、機械的損耗の苛酷度が上部で大きいことが推察された。

3) アルカリ以外の成分、例えばカーボン・デポジション、垂鉛の侵入はほとんどなかつた。

4) アルカリの侵入は、カリウムの方がナトリウムより2~3倍多く、稼働面から鉄皮に向かって  $K_2O/Na_2O$  比は直線的に低下していた。

5) カリウムの侵入によって sanidine ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ) および leucite ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ ) が生成していた。sanidine はアルカリ含有量の少ない試料に、leucite は多い試料に認められた。

6) 粘土の分解生成 silica 起源の tridymite が稼働面から 105~335 mm 以降の低温部に生成していた。

文 献

- 1) 大庭, 他: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 290
- 2) 大庭, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 384
- 3) 大庭, 他: 鉄と鋼, 48 (1962) 11, p. 1207

(34) 高炉の出鉄樋材について

黒崎窯業

宮武 和海・○高田 一郎

On the Blast Furnace Runners

Kazumi MIYATAKE and Ichirō TAKATA

1. 緒 言

製鉄工業における最近の製鉄技術の進歩は著しいものがあり、高温高圧操業、高炉の大型化などはいずれも生産性の向上に大きな役割を果している。現在すでに公称 3500 t 高炉が建設されており、近い将来 5000 t 高炉が出現することも決して夢ではなく、また一方では計器操業などの新しい技術の導入による目覚ましい合理化が推進されている。このような現状にある中で高炉炉前作業の大部分を占める出鉄樋の整備作業の合理化のみが取残された感があることは否めない。本作業の合理化も製鉄作業の合理化の一環として当然重要な問題である。このためには出鉄樋用耐火物の耐用性の向上、施工の迅速容易化などが是非必要である。著者は幸い某製鉄会社の御協力をいただき材質および構造の両面からこの問題の解決を図る機会を得てかなりの成績を揚げる事ができたのでここにその概要を報告する。