

論 文

高炉におけるカーボン煉瓦の使用について*

江上英一**・岡村祥三**・大橋保威**・清水英男**

Carbon Brick in Blast Furnace

Eiichi EGAMI, Shozo OKAMURA, Yashutake OHASHI and Hideo SHIMIZU

Synopsis:

This paper presents the carbon brick-work and its wear during operation of Nos. 1, 2, 3, and 4 blast furnaces at Wakayama Steel Works. Carbon bricks in the following parts are quickly worn out;

- (1) the part where is inadequately cooled from outside,
- (2) the part where carbon brick may be oxidized by charged oxide materials,
- (3) the part where carbon brick receives mechanical abrasion by charged materials.

Therefore, the followings are concluded:

- (1) Carbon brick should be used for the parts where cooling effect is sufficient, i.e. the lower part of furnace bottom and the peripheral part.
- (2) In the upper part of bosh, schamotte brick is rather suitable, while carbon brick can be used at the lower part of bosh.

On the basis of the above conclusion, the brick-work of No 4 blast furnace and No 1 blast furnace (reconstructed) was designed. Since No 4 blast furnace was blown-in (March, 1967), there have not been observed any troubles in brick-work, and the furnace operation is going well.

(Received Mar. 2, 1968)

1. 緒 言

近年高炉々底、炉床周辺部および炉壁ライニングとしてカーボン煉瓦が使用されるようになってきた。カーボン煉瓦を使用した高炉の改修実績例は少なく、また操業中の高炉におけるカーボン煉瓦の侵食状況についても不明な点が多く、カーボン煉瓦の優劣について明確に結論づけられていない。

和歌山製鉄所においては、昭和 36 年 3 月第 1 高炉を火入し、その後 2 年毎に高炉を建設し現在 4 基の高炉が稼動中であり、昭和 42 年 12 月第 1 高炉を改修した。

第 1 高炉(第 1 次)、第 2 高炉および第 3 高炉において炉底上部および炉床周辺部にカーボン煉瓦を使用し、炉底上部のカーボン煉瓦の侵食状況を検討した結果より第 4 高炉および第 1 高炉(第 2 次)においては、炉底々部、炉底周辺部および炉床周辺部にカーボン煉瓦を、炉底上部にシャモット煉瓦を使用した。また炉壁朝顔部においては、第 1 高炉(第 1 次)および第 2 高炉は冷却盤により冷却してシャモット煉瓦を、また第 3 高炉はウォーター・ジャケットにより冷却してカーボン煉瓦を使用した。朝顔におけるカーボン煉瓦およびシャモット煉瓦の侵食

状況を検討し、第 4 高炉および第 1 高炉(第 2 次)では朝顔上部にシャモット煉瓦を、同下部にカーボン煉瓦を使用する方式に変更した。

和歌山製鉄所第 1～4 高炉における炉底、炉床および朝顔部でのカーボン煉瓦の使用状況をシャモット煉瓦と比較して報告する。

2. 炉底におけるカーボン煉瓦の使用について

2.1 第 1～4 高炉炉底煉瓦積の比較

Fig. 1 に第 2 高炉、第 3 高炉および第 4 高炉の炉底および朝顔部の煉瓦積の比較を示す。第 1 高炉(第 1 次)の炉底煉瓦積は基本的に第 2 高炉と同じであつて、炉底上部にカーボン煉瓦を 1400 mm 使用した。炉底上部にカーボン煉瓦を使用する煉瓦積方式を第 3 高炉まで採用したが、第 3 高炉では炉底周辺部を Fig. 1 に示すように鉄皮シャワー冷却の効果を生かすために、シャモット煉

* 昭和42年10月本会講演大会にて発表
昭和43年 3 月 2 日受付

** 住友金属工業(株)和歌山製鉄所

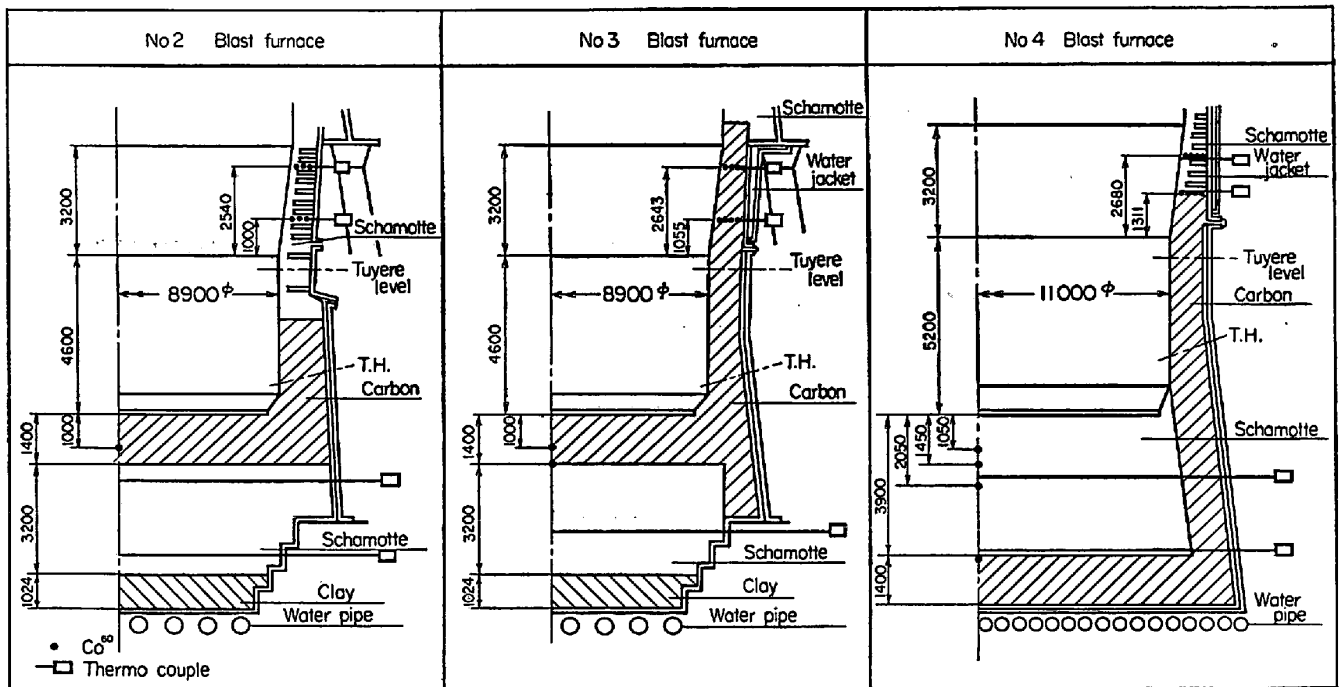


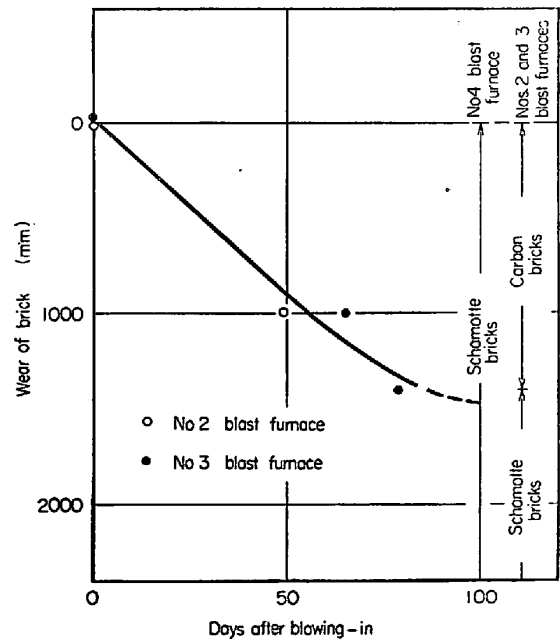
Fig. 1. Brick-works at bosh, hearth and bottom of Nos. 2, 3 and 4 blast furnaces at Wakayama steel works.

瓦をカーボン煉瓦に一部置きかえた。第1～3高炉の炉底上部カーボン煉瓦の侵食状況を後述するごとく埋設した Co^{60} の剝離および炉底温度の変化状況から検討した結果、炉底上部カーボン煉瓦は比較的早期に侵食されることがわかり第4高炉では Fig. 1 に示したように冷却効果の大きい部分—炉底底部および炉底、炉床周辺部—to カーボン煉瓦を用い、同煉瓦の良熱伝導性により炉底内部のシャモット煉瓦の冷却を期す構造に変更した。なお第1高炉(第2次)は第4高炉と同一の煉瓦積である。

2.2 炉底上部カーボン煉瓦の侵食状況

第2高炉および第3高炉において炉底上部カーボン煉瓦内に Fig. 1 に示したように Co^{60} を埋設したが、これら Co^{60} の剝離よりカーボン煉瓦の侵食状況を推定すると Fig. 2 に示したごとくとなる。すなわち第2高炉においては火入後47日目にしてカーボン煉瓦1段目(炉床下端より 1000 mm 下)に埋設した Co^{60} が溶銑中に検出された。また第3高炉においては火入後 63 日目でカーボン煉瓦1段目(炉床下端より 1000 mm 下)に埋設した Co^{60} が、ついで火入後 77 日目でカーボン煉瓦とシャモット煉瓦の境界(炉床下端より 1400 mm 下)に埋設した Co^{60} が検出された。埋設した Co^{60} が溶銑サンプル中に検出されるということは次の理由のいずれかによるものである。すなわち

- (A) カーボン煉瓦が緩慢に侵食を受けた場合。
- (B) カーボン煉瓦の形状不良あるいは築炉不良によ



Note: No. 4 blast furnace R.I. (Co^{60}) is still remained as buried in bottom bricks.

Fig. 2. Wear of bottom bricks.

りカーボン煉瓦が剝離浮上した場合。

(C) 目地が侵食され溶銑が侵入し、 Co^{60} が煉瓦目地を通って排出された場合。

このうち (B) の場合については、Fig. 3 に炉底温度の火入後の推移を示したが、もしカーボン煉瓦が剝離浮上したものであれば急激な温度変化が認められるはずであるが、この形跡は全くなく第2高炉では炉底上部温度

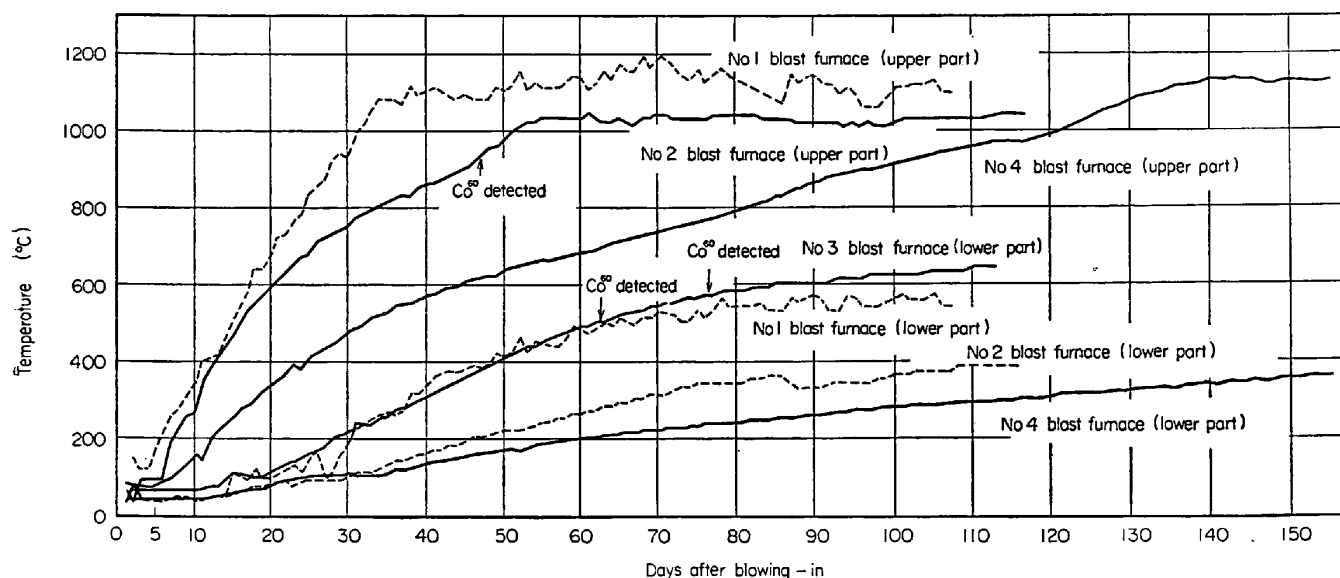


Fig. 3. Change of temperature at blast furnace bottom.

(炉床下端より 1900 mm 下, カーボン煉瓦とシャモット煉瓦境界より 500 mm 下) は, 火入後緩慢に上昇し 55 日目で約 1050°C に達しその後平衡を保っている. また第 3 高炉においては炉底上部に相当する温度測定はないが, 炉底下部温度 (炉床下端より 3429 mm 下, カーボン煉瓦とシャモット煉瓦境界より 2029 mm 下) は緩慢に上昇し, 火入後約 100 日目で 650°C に達し平衡状態となっており, Co^{60} の剝離した時期にいずれも測定温度値の急激な変化はない.

(C) の場合についても Co^{60} が煉瓦目地を通って排出されたものとすれば, 煉瓦目地の侵食は相当大きいものと考えられ, 当然カーボン煉瓦は浮上するものと考えられる. したがってカーボン煉瓦は (A) の場合のごとく緩慢に侵食を受けたと考えるのが妥当である.

ソ連における 1400 m³ 級高炉の Co^{60} による炉底上部カーボン煉瓦の侵食状況の調査結果によると和歌山第 2 高炉および第 3 高炉とほぼ類似した侵食状況である. すなわち炉底上部にカーボン煉瓦を 2000 mm 厚使用し, 炉床下端より 800 mm, 1200 mm, 1600 mm および 2220 mm 下に Co^{60} を埋設したが, 火入後 23 日目, 35 日目, 56 日目, 68 日目および 133 日目に Co^{60} の剝離を検出し, 炉底基礎部の測温結果からも推定して火入後わずか 5 ヶ月で 2 m 以上にわたり損耗したと報告している.

また Fig. 4 に第 1 高炉 (第 1 次) の吹卸後の炉底煉瓦侵食状況の調査結果を示したが, この調査結果および他高炉吹卸後の炉底煉瓦侵食状況調査結果から明らかなように炉底上部カーボン煉瓦は操業過程において相当侵食を受け, 炉底上部中心部のカーボン煉瓦はほとんど残存.

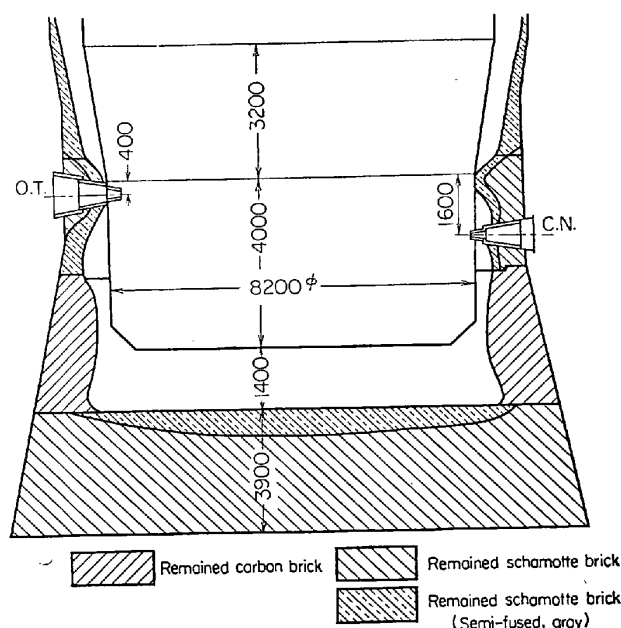


Fig. 4. Wear lines of No. 1 blast furnace bottom.

してなくシャモット煉瓦とカーボン煉瓦の境界で侵食は止つており, 炉床周辺部のカーボン煉瓦は残存している.

炉底上部のカーボン煉瓦が侵食される原因については, 溶銑への加炭, 外来成分の侵入によるカーボン煉瓦組織の劣化または破壊, カーボン煉瓦の高温域における黒鉛化などに起因する収縮, H_2O による酸化, 溶融酸化物スラグによる酸化, 溶銑およびスラグによる機械的摩耗などが考えられるが現段階では推測の域を出ていない.

和歌山第 2 高炉および第 3 高炉の炉底上部カーボン煉

瓦 1400 mm 厚が火入後約 80 日間で侵食されたこと、また吹卸高炉の炉底煉瓦の侵食状況の調査結果、すなわち外部冷却の有効な炉床周辺部のカーボン煉瓦は健全であり、反対に外部冷却のおよばない炉底上部カーボン煉瓦は侵食されていることを考え合わせるとカーボン煉瓦は十分に冷却効果がおよばなければ比較的早期に侵食されると結論づけてよい。

なお、火入後カーボン煉瓦が侵食されるまでの期間に下部のシャモット煉瓦は高温高压に焼成され、煉瓦目地の焼締りも十分になりシャモット煉瓦本来の耐食性が発揮できるようになると考えられ、またシャモット煉瓦の品質改善により耐食性が改善された効果もありカーボン煉瓦とシャモット煉瓦との境界で侵食は止まっているものと推測される。

炉底上部カーボン煉瓦 1400 mm は火入後約 80 日間で侵食されたが、冷却効果がおよばないことが原因していると判断して第 4 高炉では、Fig. 1 に示したように炉底煉瓦積を改良した。第 4 高炉は昭和 42 年 3 月 3 日火入し、140 日経過したところで炉底上部温度（炉床下端より 1835 mm 下）は Fig. 3 に示したように約 1100 °C で平衡状態に達し、シャモット煉瓦内炉床下端より 1050 mm, 1450 mm および 2050 mm に埋設した Co⁶⁰ はまだ剝離していない。

2.3 第 2 高炉および第 4 高炉炉底温度分布の相違について

Fig. 1 に示したように各炉々底 2 レベルで鉄皮よりの熱電対の挿入寸法を種々変えて炉底煉瓦温度を測定している。Fig. 5 に第 2 高炉および第 4 高炉の火入後 10 ケ月経過した時期の炉底温度分布を温度測定値より推定して示した。カーボン煉瓦を炉底上部に使用した場合、すなわち第 2 高炉の場合とカーボン煉瓦を炉底周辺部および炉底各部に使用した場合、すなわち第 4 高炉の場合とでは明らかな相違がみられる。

第 4 高炉においては、カーボン煉瓦を通しての外部冷却の効果がありカーボン煉瓦付近の等温曲線は粗であり、1000°C の等温曲線も第 2 高炉と比較して炉内部にある。すなわちカーボン煉瓦の良熱伝導性を生かし内部のシャモット煉瓦に冷却効果をおよぼさせるという所期の目的を達していると判断される。サラマンダーの生成する温度あるいは煉瓦が侵食される温度について現段階では推定の域を出ないが、カーボン煉瓦を炉底上部に使用した第 2 高炉の場合、Co⁶⁰の剝離状況および吹卸後の調査結果から考察して火入後 10 ケ月経過した時期ではカーボン煉瓦とシャモット煉瓦との境界まで侵食は進行していると推定され、Fig. 4 に示した。第 1 高炉の測定結果から 1400°C の等温曲線まで侵食は進行するものと仮定すると第 4 高炉においてはシャモット煉瓦は中心部で火入後 10 ケ月経過した時期に約 1000 mm 侵食を受けているものと考えられ吹卸までこの状況で平衡を保つものと推定する。

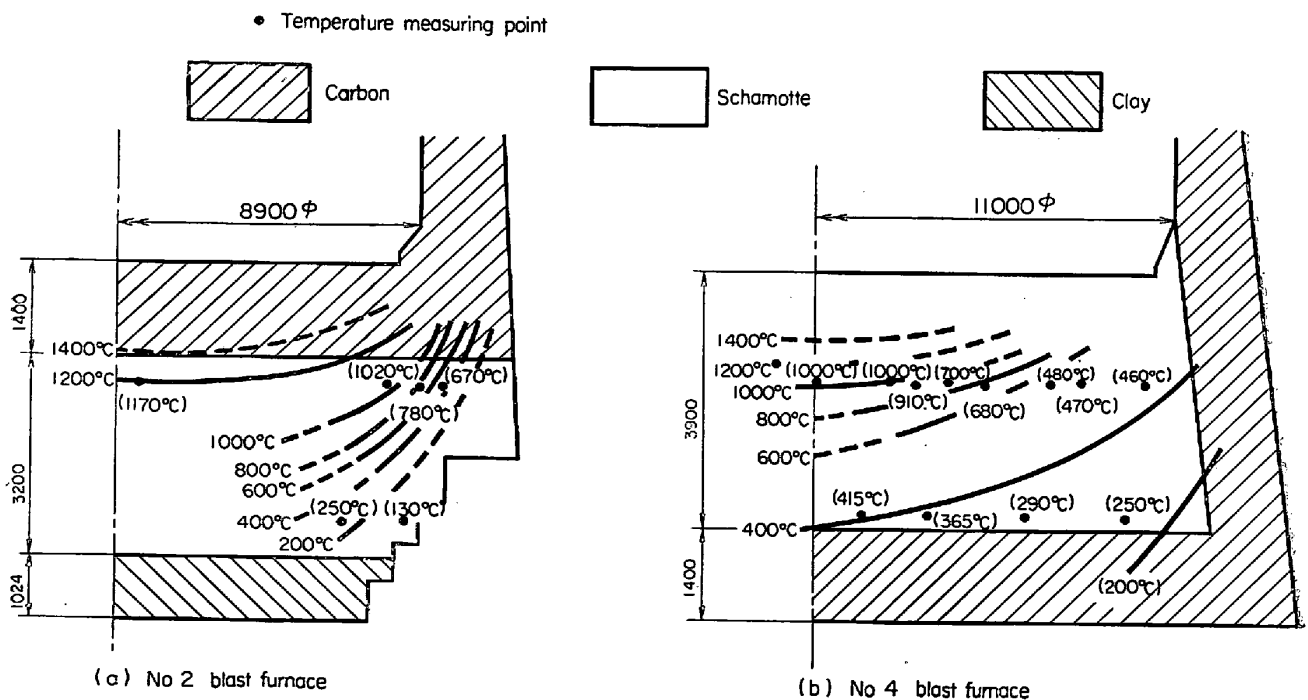


Fig. 5. Temperature distribution at blast furnace bottom of Nos. 2 and 4 blast furnaces at ten months after blown-in.

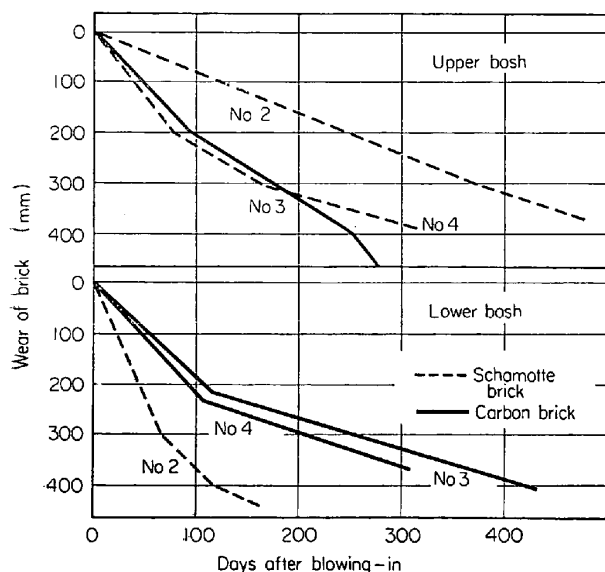


Fig. 6. Wear of bosh bricks of Nos. 2, 3 and 4 blast furnaces.

3. 朝顔部におけるカーボン煉瓦の使用について

3.1 第1～4高炉朝顔部煉瓦積の比較

Fig. 1 に第2～4高炉の朝顔部煉瓦積の比較を示した。和歌山第2高炉および第3高炉は同一プロフィールであつて、朝顔部に第2高炉では冷却盤および一部ウォーター・ジャケットによる冷却方式でシャモット煉瓦を使用し、一方第3高炉ではウォーター・ジャケットによる冷却方式でカーボン煉瓦を使用した。両者の侵食状況の比較から第4高炉では朝顔上部には冷却盤およびウォーター・ジャケットによる冷却でシャモット煉瓦を、同下部にはウォーター・ジャケットによる冷却でカーボン煉瓦を使用した。第1高炉(第2次)も第4高炉と同様に上部にはステーブ(stave)による冷却(蒸発冷却あるいは水冷切替可能)でシャモット煉瓦を、同下部はウォーター・ジャケットによる冷却でカーボン煉瓦を使用した。

各炉とも炉壁侵食状況を把握するため羽口レベルよりほぼ同一レベル2水準に炉内側より200 mm, 300 mm, 400 mm および 500 mm に Co^{60} を埋設し、また Co^{60} の埋設レベルと同一レベルに熱電対を挿入した。

3.2 朝顔部炉壁煉瓦侵食状況

Fig. 6 に Co^{60} の剝離より推定した炉壁煉瓦侵食厚さと操業日数の関係を示す。すなわち、

(A) 朝顔下部においてはカーボン煉瓦(第3高炉および第4高炉)よりシャモット煉瓦(第2高炉)の侵食速度の方が大である。

(B) 朝顔上部においては、第4高炉の火入後初期を除外するとこの傾向は逆でありカーボン煉瓦(第3高炉)はシャモット煉瓦(第2高炉)より侵食速度は大である。

第4高炉のシャモット煉瓦は火入後150日までは第3高炉のカーボン煉瓦と同じ侵食速度であつたがその後速度をゆるめ第2高炉と同程度の侵食速度になつた。第2高炉および第4高炉のシャモット煉瓦の侵食速度の相異については火入後の立上り速度の相違、冷却能力の相違、その他の操業要因の相違に起因しているものと考えられる。

第3高炉は火入後約250日間で朝顔上部に埋設した Co^{60} が全数剝離し、カーボン煉瓦の残存厚さは140 mm 以下と推定されたが、残存厚さを確認するため鉄皮よりボーリングしカーボン煉瓦厚さを実測した結果、0～170 mm であつて付着物はカーボン煉瓦が残存しているところでは認められず、カーボン煉瓦が残存していない部分に約100 mm 認められた。炉壁付着物の剝離時鉄皮の赤熱あるいは亀裂発生の危険性を内蔵している。一方第2高炉は火入後5年経過した後、鉄皮よりの炉壁ボーリングによる炉壁厚さを調査した結果400～600 mm の残存シャモット煉瓦と付着物が確認された。

3.3 朝顔部におけるカーボン煉瓦およびシャモット煉瓦の侵食の相違について

炉壁煉瓦は火入後比較的早期に侵食され、その後外部冷却との関連においてある一定の炉壁厚さで平衡に達するものであるが、煉瓦侵食速度の相違および平衡状態における残存煉瓦厚さの相違については煉瓦材質の他に冷却方式および冷却能力、操業方法、装入原料など種々の要因が影響している。朝顔上部のカーボン煉瓦の侵食速度はシャモット煉瓦と比較して大きいこと、あるいは平衡状態における残存煉瓦厚がカーボン煉瓦の場合シャモット煉瓦と比較して薄いことの原因としては

(A) 未還元鉱石中の酸素によるカーボン煉瓦の酸化消耗

(B) 炉壁ボーリング結果より推定してカーボン煉瓦はスラグに対する濡れ性が少なく付着物が生成し難く、鉱石、コークスによる機械的摩耗、アルカリなどによる侵食を受けやすいこと。

(C) 冷却方式および冷却能力の相違、すなわち Table 1 に示したようにシャモット煉瓦の場合は冷却盤およびウォーター・ジャケットの併用による冷却であるが、カーボン煉瓦の場合はウォーター・ジャケットによる冷却である。後者の場合冷却能力が不足しているのではないかと考えられるが、カーボン煉瓦の性質上冷却盤の採用は不可能であり、またウォーター・ジャケットに

Table 1. Bosh bricks and bosh cooling methods at Nos. 2, 3 and 4 blast furnaces.

		No 2 blast furnace	No 3 blast furnace	No 4 blast furnace
Blowing-in date		April 5, 1963	April 1, 1965	March 3, 1967
Inner volume (m ³)		1657	1672	2535
Brick	Stack	Schamotte	Schamotte	Schamotte
	Upper bosh	Schamotte	Carbon	Schamotte
	Lower bosh	Schamotte	Carbon	Carbon
Cooling method	Stack	Cooling plate	Cooling plate	Cooling plate
	Upper bosh	Cooling plate and water jacket	Water jacket	Cooling plate and water jacket
	Lower bosh	Cooling plate	Water jacket	Water jacket
Cooling water t/hr	Upper bosh	550	400	1120
	Lower bosh	400		480

よる冷却の場合冷却水の給排水温度差は 2~3°C であつてこれ以上の冷却能力の増加は困難である。

が考えられる。未還元鉱石中の酸素によるカーボン煉瓦の酸化消耗およびスラグのカーボン煉瓦に対する濡れ性の欠如により炉壁付着物が成長しにくく、装入物による機械的摩耗を直接受けることがあるとすれば、高炉におけるカーボン煉瓦の使用可能範囲はおのずと制限が生ずるものと考えられる。

和歌山第4高炉では第2高炉および第3高炉の煉瓦侵食実績を検討した結果から、Fig. 1 に示したように朝顔上部には冷却盤およびウォーター・ジャケットによる冷却でシャモット煉瓦を使用し、同下部にはウォーター・ジャケットによる冷却でカーボン煉瓦を使用した。朝顔下部においてシャモット煉瓦がカーボン煉瓦と比較して侵食速度が大であるが、この原因については現段階では不明であるが、冷却不足ではないかと考えられる。

Fig. 5 に示したように第4高炉朝顔下部のカーボン煉瓦の侵食状況は第3高炉のカーボン煉瓦とほぼ同じであるが、同上部については火入後約150日までは第3高炉のカーボン煉瓦と類似した侵食状況であつた。しかしながらその後侵食速度は低下し、煉瓦400mm侵食されたところ、すなわち残存煉瓦厚300mmのところでは平衡状態になりつつある。

4. 結 言

和歌山製鉄所における高炉のカーボン煉瓦の使用状況および侵食状況についてシャモット煉瓦と比較して報告した。

カーボン煉瓦は

- (1) 冷却効果が十分におよばない部分
- (2) 未還元鉱石中の酸素により酸化消耗されるおそれのある部分
- (3) 装入物による機械的摩耗の受けやすい部分では寿命が短い。したがって

(1) 炉底におけるカーボン煉瓦は冷却効果がおよぶ範囲、すなわち炉底底部および周辺部、炉床周辺部に使用すべきであろう。

(2) 朝顔上部においてはカーボン煉瓦よりシャモット煉瓦のほうが適当であろう。

以上2項目を考慮し第4高炉および第1高炉(第2次)ではカーボン煉瓦の使用方法を改良した。第4高炉は火入後約1年経過したところで炉底および朝顔部における煉瓦侵食状況は安定しており、順調に稼動中である。

今後も Co⁶⁰ による煉瓦侵食状況、吹卸時の侵食状況を調査し冷却方法をも合わせて検討し、高炉煉瓦の材質と適正使用個所の研究を行ない高炉の高生産性を達成するために努力してゆきたい。

文 献

- 1) Yu. A. Popov: Stal', Nov. (1959), p. 982~985