

住金和歌山第3高炉(3次)解体調査結果

Dessected Investigation of Wakayama No.3 Blast Furnace

住友金属工業(株)和歌山製鉄所
鹿島製鉄所
鉄鋼技術部
鉄鋼技術研究所

西澤庄蔵・神保高生・柏田昌宏*
鈴木隆夫
横井 毅
成田雄司

1. 緒言

高炉の長寿命化は、安定操業の確保と同様に重要な課題である。当社では、高炉の炉命は炉底(含む出鉄口)に律速されるとの認識より炉底延命に関する検討を進めている。和歌山第3高炉では、(内容積 2150m^3) 3次の改修時に炉底の側壁レンガにC-SiCレンガを採用し、炉底の冷却強化を図った。また、熱風炉ではギッターレンガ(珪石レンガ)にCaOを添加し、耐久性向上を図ったテストレンガを数個設置した。

今回、和歌山第3高炉の3次吹止めに伴い(1990年9月吹止め)解体調査を実施し、種々の設備改善対策効果を確認したので報告する。

2. 和歌山第3高炉炉底構造

和歌山第3高炉の2次と3次での炉底構造比較をFig. 1に示す。2次の炉代では、側壁部の局部侵食等により操業上問題が生じた為、3次の改修時に以下に示す対策を図った。

- (1) 炉底側壁部にマイクロボア化により耐溶銑浸透性を高めたSiC添加カーボンレンガ(C-SiC)を採用し、側壁レンガの局部侵食防止を図った。
 - (2) 冷却能向上と熱応力緩和の為に側壁部のレンガ積み構造を変更した。
 - (3) 炉底部の冷却強化を図る為、炉底厚さを薄くし($6300 \rightarrow 3290\text{mm}$) 炉底下部レンガに高熱伝導性のグラファイトレンガ($56\text{W/m}\cdot\text{K}$)を採用した。
- さらに、底盤の冷却を直接型とし、冷却能強化を図った。

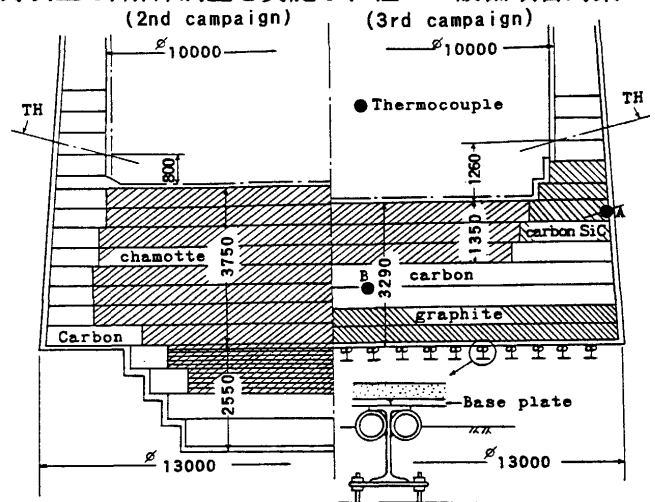


Fig.1 Wakayama No.3 blast furnace hearth

3. 和歌山第3高炉(3次)操業実績

和歌山第3高炉(3次)操業推移をFig. 2に示す。

(1) 操業概況

火入れ後1年半は高出銑比操業を実施し1981.8月 オールコークス下操業下で出銑比 2.24T/Dm^3 を記録。その後、長期にわたるオールコークス操業を実施。また、吹止め前2年間、出銑比 1.5T/Dm^3 以下の超減産操業を実施した。稼働期間は9年8ヵ月で、その間の累計出銑量は1,283万tであった。

(2) ステープ取替長時間休風(1989.3月上旬123^h)後、炉底内容融物凝固による長期冷込みで平常復旧までに2.5ヵ月要した。

(3) 側壁レンガ温度は重油吹込操業(1987.12月)に入り上昇し、炉底レンガ温度も1988.9月最高温度(最大侵食)を記録、その後長時間休風後の長期冷込みで大幅に低下した。

吹止めについては、羽口までの減尺吹止めを実施、(減尺時間23H 30M) 減尺時の炉頂温度上昇に対策として炉頂よりのミスト散水(926T)を実施した。なお、減尺吹止めを円滑に進める為に吹止め前の17日間オールコークス操業によるクリーニング操業を実施した。吹止め後は、炉内注水は行わず自然放冷とした。

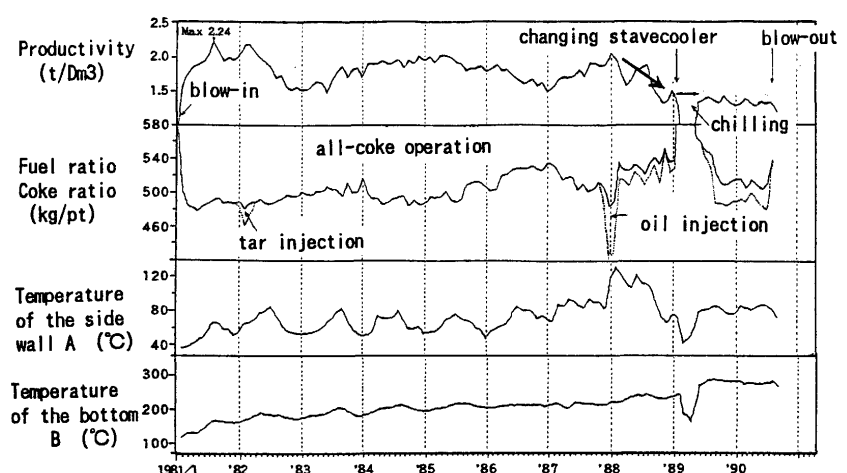


Fig.2 Operation results of Wakayama No.3 blast furnace (3rd campaign)

平成4年12月4日受付 (Received on Dec. 4, 1992)

* Masahiro Kashiwada (Wakayama Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1850 Minato Wakayama 640)

4. 炉底レンガ調査

4. 1 調査方法及び部位

炉底レンガ調査方法は水平コアボーリング
(コア径φ80mm, 空冷, ダイヤモンドビット)
による調査を実施した。

- { 炉芯まで(～6.5m) 90°, 270° × 10段
- { 炉壁のみ(～2.5m) 0°, 180° × 6段

4. 2 調査結果及び考察

(1) 炉底部侵食状況

炉底侵食状況をFig. 3に示す。炉底部の侵食はシャモットレンガ内に留まり、炉芯部で約450mm、中間部で約1000mmであった。また、シャモットレンガにて銑鉄の浸透による変質層が確認された。しかしこれらの状況はいずれも2次の侵食状況と比較して軽微なものであった。

(2) 側壁部侵食状況

側壁部の侵食状況としては、全体的に残存厚が大きく、その炉内側に脆化層が存在しているものの溶損量が少なく炉底として健全な状態であった。炉内側の脆化層とした部分でも、従来の多くの炉底で見られたような粉化、細片化によりボーリング作業中の冷却水により流失し、欠損部となるような脆化ではなく健全部に比べ亀裂が多く発生している、あるいは、銑鉄の侵入、浸透が認められる状況のものである。

脆化部の化学分析結果をFig. 4に示す。脆化層では、その炉内側に溶銑浸透層があり、かつ K_2O , ZnO の影響もある等、既調査の多くの炉底とほぼ同様の状況である。これより、その生成要因としても、従来と同様

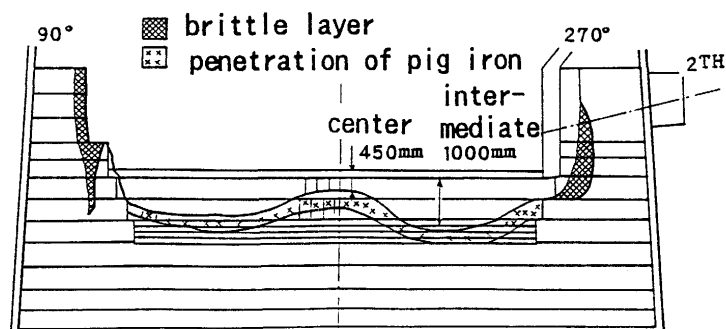


Fig.3 Erosion of the hearth refractories
(Wakayama No.3 blast furnace, 3rd campaign)

溶銑の浸透 → 膨張率変化 → 亀裂発生 → 脆化 → K_2O , ZnO の堆積

が生じたのであろう。 K_2O , ZnO の化学的影響を2次的と考えるのは、 K_2O , ZnO が非常に少なく脆化している部分の存在も確認されたためである。

今回、新しい現象として、残存カーボンブロックの侵食面より相当炉内側に溶銑や K_2O , ZnO 等のガス存在も伴わない亀裂の存在が認められた。Fig. 4 この亀裂の生成には、次のような考えも成り立つが、現段階、その確証、検証は難しく全面解体の機会に再調査したい。

炉底部凝固銑の生成 (1989年3月) → 凝固層の増大 → 凝固収縮 → カーボンブロック内部径方向の引張応力 → カーボンブロック内部割れ発生

以上の結果より、C-SiCレンガの効果について、脆化層は存在していた点から脆化層の完全な抑制はできなかった。しかしながら、その生成量、径方向の長さや全体での分布は小さく、かつ上記溶損量が少なかった点より、その生成速度は非常に小さかったと見られる。したがって、本材料による脆化層対策は完全ではないものの、大きな成果を示したと考えられる。

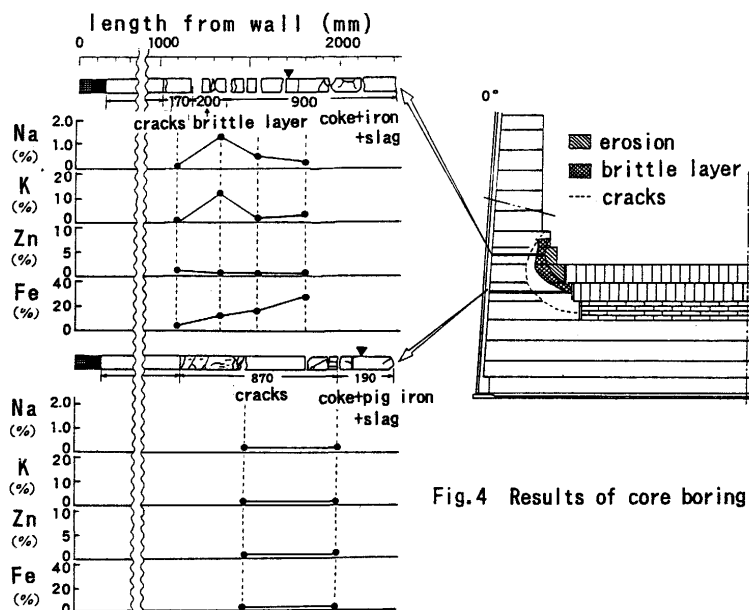


Fig.4 Results of core boring

5. 出鉄口コアサンプル調査

5.1 調査方法

吹止め後自然放冷（2ヶ月）後、出鉄口耐火物のサンプリングを行った。和歌山第3高炉（3次）は2本の出鉄口を有し、各出鉄口にてサンプリングを実施した。

ボーリングはφ200mmのダイヤモンドビットコアを使用し、水冷却した。ボーリング角度は吹止め直後に打ち込んだ金棒を基準にし、その角度（ 13° ）よりも勾配を下げ（ 11° ）径方向に幅をもたせサンプリングを実施した。

なお、和歌山第3高炉では $Al_2O_3-SiO_2-SiC-C$ 系質を骨材としバインダーにアントラセンを配合したマッドを使用しており、吹止め最終出鉄時には Cr_2O_3 を添加したマッドを使用し、旧材との区別を試みた。

5.2 出鉄口コアサンプル状況

コアサンプルスケッチをFig. 5に示し、稼働中の出鉄口の温度分布、コアの空隙率、TFe分布をあわせて示す。

採集コアの状況としては出鉄口深度0～1000mmの間に割れ、小亀裂が多く、焼成状態も進んでいない。これより奥に行くほど焼成が進行しているが2000～2500mmにて大亀裂が存在していた。この亀裂は発生位置より、作業時の横孔（本来の出鉄口深度よりも浅い所で出鉄する孔）に対応している。この横孔の発生機構について考察を以下に述べる。コアの空隙率は焼成が進むにつれ増しその気孔に鉄鉄が浸透している。（Fig. 5）また、横孔の位置をその下の炉底状況と対比すると、炉底側壁レンガの脆化層の発生位置にあたり、脆化層の発生原因と密接な関係があるように思われる。

したがって、横孔発生を防止し出鉄口を安定化させるためには、マッドの焼成が進み増加する空隙を熱膨張性のある骨材により吸収させこれにより鉄鉄の浸透を抑制することが重要と考えられる。

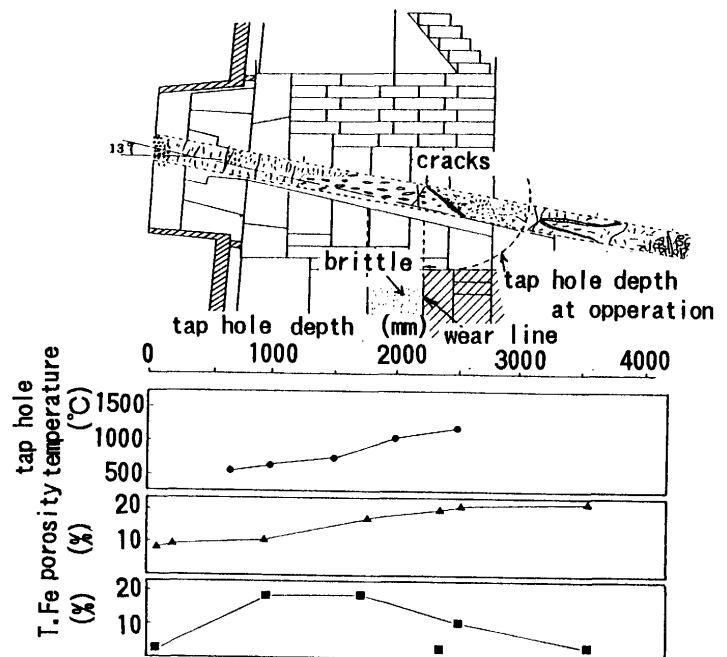


Fig.5 Results of core sample of No.1TH

6. 熱風炉ギッターレンガ調査

6-1. テストギッターレンガについて

近年、熱風炉のギッターレンガには、送風温度の上昇とともに高温帯に珪石レンガを使用している。この珪石レンガは、低温域での主成分である SiO_2 の転移に起因する高膨張特性を有し、高温度域から低温度域に移行する段階で亀裂の発生等が問題となる。つまり、トリジマイトを安定化させ、クリストバライト化を抑制することが重要である。当社では、クリストバライト化抑制にはCaO含有量を増加させると効果的であることが判明し¹⁾、和歌山第3高炉（3次）の改修時に、蓄熱室ギッターレンガの最上部にテストレンガを設置した。

6-2. 調査結果及び考察

採集したレンガを六角形状の中心をなぞって切断し、ギッター孔内面を観察し摩耗、ワレ、クラック、ダスト付着、変質状況について調査した。テストレンガの品質一覧をTable.1に、観察結果をFig. 6に示す。ギッターレンガの変質状況を以下に述べる。

状況全般として $Fe_2O_3-CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 系成分を吸収して高温型のトリジマイトに変質し、クリストバライト化は軽微で、顕微鏡下でもクラックの発生は認められなかった。ダストの吸収で液相が生成し、気孔率の低下と比重の増加があったが液相の生成では CaO 3.2%レンガが最も少ない。

CaO 添加の狙いはクリストバライト化抑制であったが今回の結果では耐摩耗性向上の効果が確認された。

したがって、熱風炉の蓄熱室上半部におけるギッターレンガ材質として、 CaO 添加珪石レンガが内部の液相残存が少ないことから、ダストでの摩耗に対し有効とみられる。今後熱風炉築炉時においてコスト的に有利であれば CaO 添加珪石レンガは従来材から代替すべき材質と言える。

Table.1 Quantity of silica bricks

	sample 1 CaO 2.5%	sample 2 CaO 3.2%	normal CaO 1.6%
CaO	2.5	3.2	1.6
SiO ₂	96.2	95.4	96.4
Al ₂ O ₃	0.8	0.8	0.8
porosity (%)	19.5	19.3	19.0
refractoriness (SK)	32	32	32

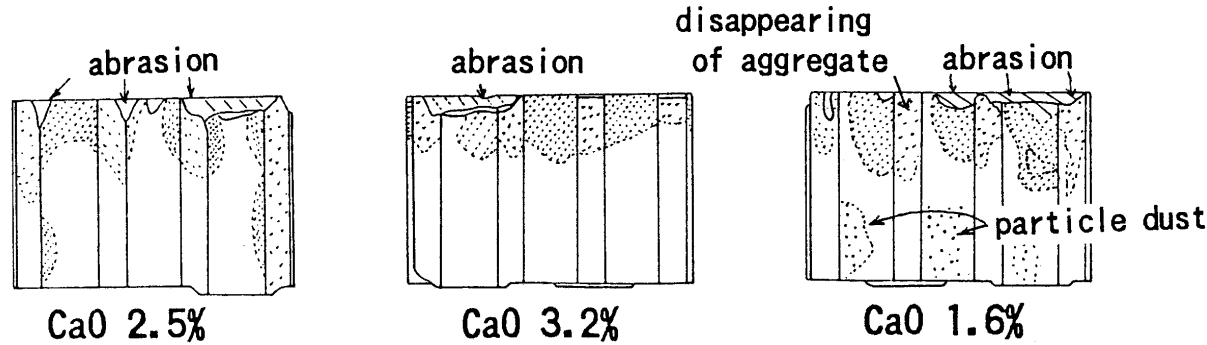


Fig.6 Cut face of silica bricks

7. 結言

今回の解体調査結果は以下に示す通りであった。

- (1) 炉底レンガ調査
 - ・底盤冷却強化の結果、炉底部の侵食量はシャモットレンガ内で留まり、2次に比較し小さかった。
 - ・側壁部に耐溶銑浸透性を高めたC-SiCレンガを採用した結果、脆化層は存在したものの、損傷程度は軽微であった。
- (2) 出銑口コアサンプル調査
 - ・マッドの焼成度は出銑口温度と関係があり、出銑口の安定化にはマッドの焼成度を高め、かつ緻密化することが重要である。
- (3) 熱風炉テストギッターレンガ回収調査
 - ・珪石レンガに CaO を添加することで、クリストバライト化は完全には抑制できなかったものの耐摩耗性向上に効果があることを確認した。

参考文献

1) 鈴木ら：窯業協会誌，89（12）1981