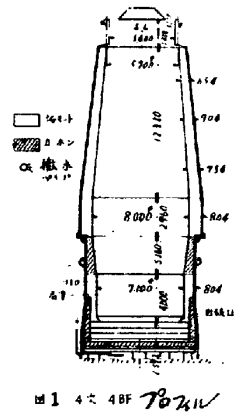


(討3) 日本鋼管川崎製鉄所におけるカーボン煉瓦の使用状況

日本鋼管川崎製鉄所
技術研究所

小林 正
千原 光一郎

1. 緒言 日本鋼管川崎製鉄所の高炉は昭和12年釜石製鉄所から来た、故中田義算氏の指導により建設されたものであり、其後数回の巻替を行ったが構造上種々の特徴があつた。その一つは全般に外部撒水方式による炉体冷却の強化であつて、圓しに亘り如く炉口マンテル、朝顔、湯溜、は何れも外部撒水式で、特に炉底部は底板(鋳物板)の下部を通水により全面に亘り冷却する画期的なものであつた。当所は原則としてこの構造を現在に至りも踏襲している。この様な構造上において、戦後に入れた高炉は、煉瓦材質不良、予押不良等の理由により他所にも倒れを免れぬべく、湯溜部の破損を生じ、又常にその危険を藏していた。依つて昭和31年8月セム入した才3次高炉の湯溜部に始めてカーボン煉瓦を使用した。其後結果も良好なものでカーボン煉瓦の使用範囲を広げ、35年7月セム入した才5高炉の改修時には朝顔、炉底部にも使用した。特に炉底部の使用にあつてはカーボン煉瓦の上部に使用するか、下部にするか問題があつたが、当所の構造上の特徴を生かし、下部に使用することをし、其後の各高炉の改修には何れも同型式を採用して来た。此處にはこれ等の使用状況並びに炉底温度分布の推定計算等について報告する。



2. 当所における高炉の浸食状況 当所の高炉は概ね7年で巻替えられたものゝ原則としていたが、この時期における炉の損傷状況は最もひどいのは朝顔部で煉瓦は全くなり鉄皮に多数の亀裂が入り、保守が非常に困難な状況となつていた。次に圓しに亘り如く

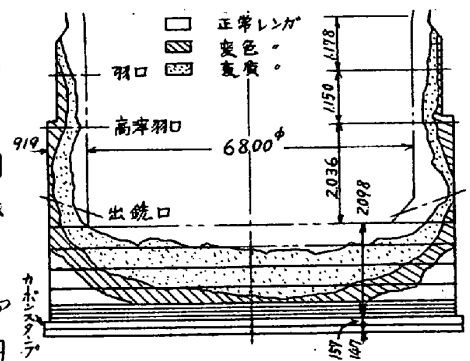


図2 炉底浸食状況(2次5BF)

湯溜は破損を起すまいが、酸、アルカリ、五等の影響を受け著しく損傷を受けていた。これ等の対策としてカーボン煉瓦が優れていたのは判つていたが朝顔部に於ては未還元物質による酸化の問題、又炉底部では、溶銜中へのカーボンの溶解、或は溶銜による煉瓦の浮上り等の問題があり、全向的な使用に於ては必ずしも最も使用に安全と見られる湯溜側壁へ先づ採用した。同時に高炉における浸食状況調査の爲、炉底部への温度計の設置、或は朝顔部への⁶⁰Coの埋設等により肉接的に炉の損傷状況を調査した。この結果では朝顔部では大入水初期に大部分の煉瓦が溶損され、其後は水冷効果により溶食は著しく遅くなるがアルカリ、カーボン等の影響で煉瓦が破壊されるものと推定された。又炉底に於いても1段及2段は比較的早く溶損工れ以後は炉底からの冷却効果によるものが定まらずと判つた。この様子は炉底に設置した温度計によつても或程度推測された。この様な状況を考慮して、朝顔、炉底にもカーボン煉瓦を使用する事になった。

S492

3 カーボン煉瓦の使用物産

1) 湯溜側壁 前述の如き理由で31年8月中入水の4高炉に始めて使用し、其後の高炉へも使用したので、現在迄3基の高炉の解体結果が判明している。その結果は図3に示す如くで、カーボン煉瓦はクラックや、溶銹の侵入は全く見られず、殆んど原形を保ち、材質の化学的、物理的変化も僅かであった。ニホ等のカーボンの持産は特に秋々の選定したものとよりむしろ、メーカーの推せられたものでコーラス産のもので、基準は表1の如くである。

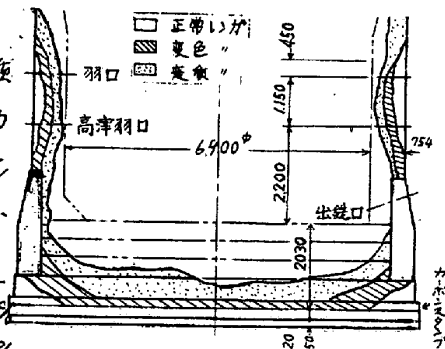


図3 炉底侵蝕状況(3次4BF)

2) 朝顔 この部の解体結果は、また無いので、損傷状況は明でない。然しこの部に埋設した⁶⁰Coの腔落状況は次の如くである。

灰分	< 6.5%
揮発分	< 0.5%
圧縮強度	> 350 $\frac{kg}{cm^2}$
曲げ強度	> 80 $\frac{kg}{cm^2}$
気孔率	< 20%
比重	> 1.50
熱伝導度	> 7 $\frac{kcal}{hr \cdot c}$

表1. カーボン煉瓦の品質基準

部所	⁶⁰ Co炉内壁からの距離	⁶⁰ Co腔落迄の日数
上部	W	300 ^{mm} 101~119 ^日
	N	200 101~119
下部	W	400 116
	N	500 237~502

即ち出入作約3ヶ月でカーボン煉瓦は半減しとなり、初期の侵食はニヤモット煉瓦と殆んど同じである。侵食の原因が兩者同じかどうか判らないが結果的には差はない。然し其後は朝顔のホリトスホリト、及電磁の発生は現在迄見られぬから、カーボンのアルカリ、Znによる耐食性が優れている事、熱伝導が良く冷却効果が一層、及表面にスラゲエロージョンが出来る事等の理由により侵食は止まっているものと推定される。

3) 炉底 前述の如く当所の高炉は湯溜側壁の煉瓦の理程はあつても、炉底の破壊はなく、又解体的侵食状態を免れ、炉底大型2~3段は侵食を免れているが、それ以下は安定した状態を示し特に問題はなかった。然し従来の高操業度にならぬ、炉底の一層の安定を期待して3次5高炉の炉底に始めてカーボン煉瓦を使用した。この場合カーボン煉瓦を何処に使用すべきかこの優劣と比較して見た。通常カーボンは炉底上部に使用されるが、その場合

- a) 熱の急激なシユクに対し耐スホーリング性が大きいので上部に使う方が有利である。
- b) 熱回収率はナリが、積方が悪いとカーボン煉瓦は浮上りの危険性がある。
- c) 耐銹に対する化学的侵食性は優れている。
- d) 但しカーボンの溶銹中への溶解が不明であるが、高温ではかなり溶解すると言われている。

等の優劣がある。然し本来カーボン使用の才目的はc)の特性値にあり、上部に使用するのが妥当と思はれたが、当所の高炉は炉底を冷却しているため、この特徴を生かし、且従来の室積むニヤモットと特に問題がなかったため、下部にカー

ボン煤瓦を用いて、その熱伝導率の優劣を比較して上部のシヤモットの冷却を強化して、シヤモットの侵食を防止し、且若し上部シヤモットが異常を呈した場合でも下部の良く水冷え水スカーボンに侵食を防止する事を目的とした。この事は既報告の如くヤコ高炉における異常浮上り等の現象からも、予想されることである。尚オールカーボンに対しては a) 温度の冷却により熱損失が大きい b) 高炉である等の理由で採用しなかつた。高炉底にカーボンを用いた高炉の解体例はないので、この状況は明でないが、火入後の操業状況については特に問題はない。

4. 炉底温度分布の推定 従来から高炉解体時に炉底侵食線を見ても外部からの冷却をかなり強く受けている事は明かである。そこで資料の如きカーボン煤瓦の使い方をした場合、従来の場合に比してどの程度冷却が強化されたか、且炉底侵食線がどの程度変化するか計算によって推定を行った。計算上次の如き假定を設けた。

- a) 炉内溶銑温度は 1500°C
- b) ヤコマンダの熱伝導率は溶銑と同じ
- c) 炉底冷却部温度は 30°C
- d) 熱伝導は二次元の定常状態と假定した。

熱伝導式は一般に $dQ = -k \frac{\partial u}{\partial n} \cdot dF \cdot dt$ (1)

こゝに F: 固体中の表面の面積 n: n 方向の長さ u: 温度
 t: 時間 Q: 熱れり熱量 k: 熱伝導率

今炉底中心部の上下方向を x 軸、左右方向を y 軸として二次元の不定常な熱伝導方程式を導くと次式の様になる。 $\rho c \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial u}{\partial y})$ (2)

熱伝導率が温度によって変化する場合には(2)と同様に於るために次のような関数φを用いて書き直すと(4)式の如くなる。

$$\phi = \int_{\phi_0}^{\phi} \frac{k}{k_0} dQ \quad \dots \dots \dots (3)$$

こゝに k: 温度 u における熱伝導率
 k₀: 0°C における熱伝導率

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \chi(\phi) \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\chi = \frac{k}{\rho c} \quad \dots \dots \dots (5)$$

ρ: 物体の密度
 c: 物体の比熱

さらには物体の単位重量当りの含熱量 H を用いると

$$c = \frac{\partial H}{\partial u} \quad \dots \dots \dots (6)$$

よゝから(4)式は次の様になる $\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{k_0}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) \quad \dots \dots \dots (7)$

(7)式を数値計算に用いる差分方程式の形になおすと次式の様になる。

$$H_{m,n,r,t+\Delta t} = H_{m,n,r,t} + \frac{2k_0 \Delta t}{\rho(\Delta x)_1(\Delta x)_2\{(\Delta x)_1+(\Delta x)_2\}} \times \{(\Delta x)_1 \phi_{m+1,n,r} + (\Delta x)_2 \phi_{m-1,n,r} - \{(\Delta x)_1+(\Delta x)_2\} \phi_{m,n,r}\} \\ + \frac{2k_0 \Delta t}{\rho(\Delta y)_1(\Delta y)_2\{(\Delta y)_1+(\Delta y)_2\}} \times \{(\Delta y)_1 \phi_{m,n+1,r} + (\Delta y)_2 \phi_{m,n-1,r} - \{(\Delta y)_1+(\Delta y)_2\} \phi_{m,n,r}\} \quad \dots (8)$$

こゝに Δt は時間間隔を Δt 、 r_{t+1} は t 時間と $t+1$ 時間との r の時間経過した時間を表はし、 $m-1, m, m+1$ は x 軸上の隣り合った座標点を、 $(\Delta x)_1, (\Delta x)_2$ とそれらの間隔を表はしてゐる。同様に $n-1, n, n+1$ は y 軸のそれである。(8)式を炉底全体に亘つて立て、境界条件、初期条件を代入して電子計算機で数値計算を行ふと炉底部の温度分布が得られる。

図4には従来の高炉の温度分布を、図5には炉底にカーボンを使用した場合の温度分布を示す。この結果では炉底が全く損傷していない状態では上部の温度分布は殆ど変りない。然しシヤモットが侵食されて行くのは前者に比べると差が生ずるのである。

一方既に解体した高炉の侵食ラインの温度を推定すると図6の如くで、 $1,100^{\circ}\text{C}$ 前後と推定される。これは Voice 等が発表している結果と良く一致している。この状態からは炉底の侵食は煉瓦材料等の影響もあるが、温度の影響が更に大きいのはあてまいか。

5. 考察及び結論 高炉の炉底侵食機構には未だ不明な点が多く今後の検討に未だ残存するが、当所に於ける測定では大入炉比較的早期に朝敵も炉底も侵食が激しく行はれ、其後は比較的安定する傾向を平している。この様な状態に対して朝敵部のカーボン煉瓦の使用は一本は問題はないが、早期に於ける侵食はシヤモット煉瓦と大差がなかった。又炉底に於ける使用結果は明でないが、現状では上部シヤモット煉瓦は経験的にも実験的にもスポーリングによる破砕等の危険が大であり、今後検討を要する。然し現状ではカーボンも冷却しなけりばも大なる一考へで、冷却の効く部分に用いてゐるが特に問題はなく、炉体保持上かなり安定した状態を示している。一方当所の側ではカーボンの材料的異常現象が見られるので、余り検討は行つてゐないが、耐アムカリ性を考慮した材料の検討を行ふ必要はあると考へる。

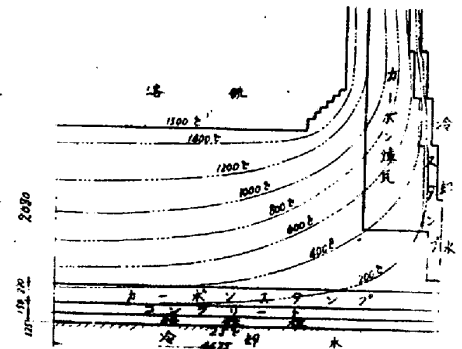


図4 3次4BF 炉底温度分布推定図

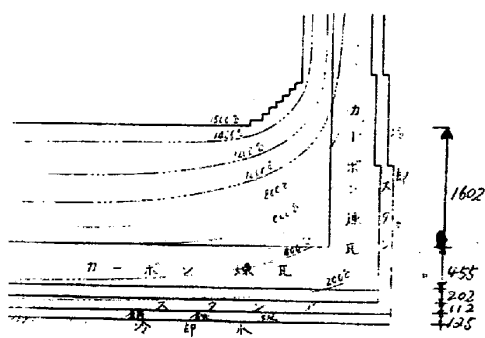


図5 4次4BF 炉底温度分布推定図

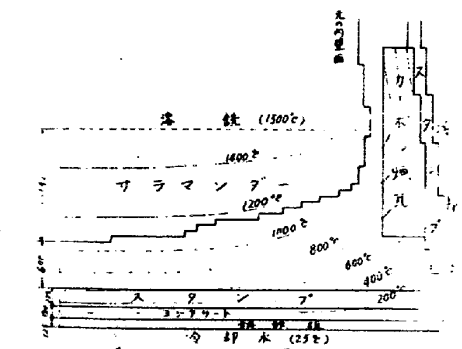


図6 3次4BF 炉底侵食線温度推定図

参考文献 K.W. Cowling 等: The Refractory Journal Feb. 1964.