
高炉長寿命化技術

Technology for Prolonging Campaign Life of Blast Furnace

小林 啓司 (Keiji Kobayashi) 松本 敏行 (Toshiyuki Matsumoto) 柳沢 克彦
(Katsuhiko Yanagizawa)

要旨：

千葉製鉄所第6高炉では1977年6月に火入れし、現在まで16年の稼働を続け、大型高炉での長寿命および累計出鉄量の記録を継続している。炉寿命を延長するために、各種の新規設計を行い、火入れ後は操業管理技術、設備技術面での対策を実施した。第一にベルレス装入装置を用いた装入物分布制御により炉壁への熱負荷を低位に管理し、炉体損傷を抑制してきた。第二にシャフト上部の炉内プロフィールを修復するために水冷パネルを設置し、安定な操業を維持してきた。第三に炉底部側壁に温度計を増設し、この側温データを用いて境界要素法により炉底レンガ損傷状況を維持し、適切な操業対応を実施することでレンガの異状損傷を抑制したことなどが挙げられる。

Synopsis：

The Chiba No.6 blast furnace with an inner volume of 4500m³ has operated for 16 years without intermediate relining since June 1977. It has achieved a record of long campaign life and accumulated iron production to the class of 4000m³ inner volume. This record has been established with a new furnace design, total instrumentation and control system, operation control technology and good maintenance. Lower shaft of the furnace was protected with lower thermal heat load by burden distribution control with Paul Wurth bell-less top charging facility. Upper shaft was rather damaged, and water-cooled panels (like stove coolers) were installed to keep good furnace profile and smooth furnace operation. Erosion of hearth brickwork was estimated with the application of a hearth erosion model using boundary element method (BEM). No severe erosion is found. More than 19 years of service life is expected with stable furnace operation.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Technology for Prolonging Campaign Life of Blast Furnace



小林 敬司
Keiji Kobayashi
千葉製鉄所 製鉄部製鉄課



松本 敏行
Toshiyuki Matsumoto
千葉製鉄所 企画部企画室 主査(部長補)



柳沢 克彦
Katsuhiko Yanagisawa
千葉製鉄所 設備技術部設備技術室 主査(掛長)

要旨

千葉製鉄所第6高炉は1977年6月に火入れし、現在まで16年の稼働を続け、大型高炉での長寿命および累計出鉄量の記録を継続している。炉寿命を延長するために、各種の新規設計を行い、火入れ後は操業管理技術、設備技術面での対策を実施した。第一にベルレス装入装置を用いた装入物分布制御により炉壁への熱負荷を低位に管理し、炉体損傷を抑制してきた。第二にシャフト上部の炉内プロフィールを修復するために水冷パネルを設置し、安定な操業を維持してきた。第三に炉底部側壁に温度計を増設し、この測温データを用いて境界要素法により炉底レンガ損傷状況を推定し、適切な操業対応を実施することでレンガの異常損傷を抑制したことなどが挙げられる。

Synopsis:

The Chiba No.6 blast furnace with an inner volume of 4 500 m³ has operated for 16 years without intermediate relining since June 1977. It has achieved a record of long campaign life and accumulated iron production to the class of 4 000 m³ inner volume. This record has been established with a new furnace design, total instrumentation and control system, operation control technology and good maintenance. Lower shaft of the furnace was protected with lower thermal heat load by burden distribution control with Paul Wurth bell-less top charging facility. Upper shaft was rather damaged, and water-cooled panels (like stove coolers) were installed to keep good furnace profile and smooth furnace operation. Erosion of hearth brickwork was estimated with the application of a hearth erosion model using boundary element method (BEM). No severe erosion is found. More than 19 years of service life is expected with stable furnace operation.

1 緒 言

千葉製鉄所第6高炉は1977年6月17日に火入れを行い、1993年7月現在16年を経過し、川崎製鉄では最長寿命高炉として稼働中である。これまでの操業成績は、累計出鉄量約4820万ton、内容積当たりの出鉄量は10 700 t/m³以上に達している。

高炉の長寿命化は設備投資資本の回収効率向上の観点から鋭意検討が進められてきた。その結果1960～70年代の高炉は5～6年の寿命であったが1980年代に入り、11年を超えるようになった。最近吹却された高炉では、住友金属㈱鹿島製鉄所第3高炉の13年4箇月、新日本製鉄㈱大分製鉄所第1高炉の13年5箇月、同広畑製鉄所第4高炉の16年4箇月などさらに長寿命の傾向になっている。

当社においても炉体保護を念頭においた高炉操業技術、設備診断技術、補修技術の開発を進め、それらの総合効果として、千葉第6高炉の長寿命が達成できたものである。本報告では千葉第6高炉における高炉長寿命化技術について報告する。

2 千葉第6高炉の建設思想

Fig. 1に千葉第6高炉の炉体プロフィールを示す。6高炉の内容積は10 000 t/dの出鉄量を満たすため4 500 m³とし、炉口径10.5

m、炉床径14.1 m、出鉄口4本、羽口40本の大型高炉であり、1977年当時、当社における最大の高炉として火入れされた¹⁾。6高炉建設にあっては炉寿命は当時の平均寿命より長い8～10年が達

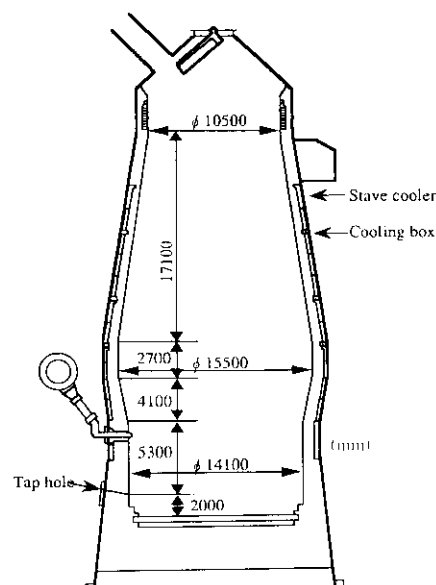


Fig. 1 Blast furnace profile

* 平成5年7月15日原稿受付

成できるように検討が行われた。その長寿命化対策について以下に説明する。

(1) 炉体支持方式

フリースタンディング形式で、非常時用にシャフトブラケットを設置した。高炉の大型化にともない、水島、他社高炉においてスロートブラケット支持、リントル支持、シャフトブラケット支持が多く採用されてきた。しかし、シャフトブラケット支持やリントル支持方式では、シャフトやベリーの熱負荷の高い部分で鉄皮を拘束することとなり、また、伸縮継手を持つ構造であるため鉄皮亀裂などのトラブルの原因となることがあった。その対策として、フリースタンディング方式を採用したが、鉄皮座屈時に鉄皮の荷重を支柱に一部分担させるシャフトブラケット方式を採用した。

(2) 炉内プロフィール

日本における大型高炉のプロフィールと操業成績、炉体レンガ損傷、安定操業等の観点から、水島製鉄所第4高炉の実績をもとに決定した。特に特徴があるのは、炉下部のプロフィールでベリー部以下の高さが高いことが挙げられる。千葉第6高炉以前の吹出し高炉の解体調査結果から朝顔部の侵食角度は $68^{\circ} \sim 80^{\circ}$ であったこと、また、Babarykinの検討²⁾で羽口前のデッドマンとボッシュ間に存在する loosely packed bed (緩塞帯) は、その形状がジョーゴ状をしておりその角度は $79^{\circ} \sim 80^{\circ}$ で安定するという報告があったことから、6高炉のボッシュ角度を 80° とした。また、Babarykinの検討結果からベリーから出鉄孔までの距離を従来より長くし、ベリー高さ2.7m、ボッシュ高さ4.1m、炉床高さ5.3mとした³⁾。

(3) 炉体鉄皮

従来の高炉では引っ張り強度を重視したSM50が採用されていたが、日本鉄鋼協会の「高炉鉄皮亀裂防止対策小委員会報告」³⁾でSM41Cが鉄皮材質としては優れているという報告のもとに、SM41BおよびCを主体とした。

(4) 炉底構造

千葉第6高炉以前に吹き出された高炉での炉底レンガの損傷状態を調査した結果、炉底の侵食はカーボンレンガの最上段でほぼ止まっていることが確認された。その結果をもとに、6高炉ではオールカーボンレンガの炉底構造を採用し、レンガ積みは炉底調整用レンガ1段、大型カーボンレンガ5段とした。コーナー部の侵食（ノラクロ侵食）対策としては、シャモットレンガの面積を小さくし、外周部のカーボンレンガを厚くした。また、溶鉄の環状流防止のために、ディスク深さ（出鉄口〜炉底レンガ上面の距離）を従来より大きくし、2mとした。

(5) 炉体冷却設備

シャフト部でのレンガ支持強化のために、シャフト部冷却装置の配置は、ステープと銅製冷却函の併用方式とした（Fig. 1）。レンガ支持機能を強化するために、従来、シャフト部のレンガ受けとして Γ （ゲー）型ステープを採用していたが、 Γ 型ステープの寿命が短く火入れ後数年で破損し、レンガ支持機能を十分には達成できてなかった。そこで、レンガ支持機能を長期間安定的に維持するため、水平冷却函をステープ間に挿入する構造とした⁴⁾。ステープ段数は12段、最上段のみ Γ 型ステープとし、冷却函は3段設置した。冷却方法は純水による強制循環方式ステープクーラーを採用し、冷却能力の改善を図った。

(6) 炉体レンガ

朝顔、ベリー、シャフト下部のレンガには、当社では初めて

SiC系レンガを採用した。従来これらの部位のレンガには耐酸化性、強度特性を考慮して純アルミナレンガを使用していたが、熱間曲げ強度、熱伝導性、耐アルカリ性に優れているSiC系レンガを採用することとした。

(7) 炉頂装入装置

4000m³超級の大型高炉では日本では初めて、PW（Paul Wurth）式の並列2ホッパーベルレストップを採用した。ベルーム・バブルアーマー（MA）式装入装置に比較して操業実績がないことに不安があったが、操業上の自由度が非常に大きいこと、今後ベルレス装入装置が主流となるという考えのもとで、大型高炉でのベルレス装入装置による装入物分布制御技術を早期に確立することを目標として採用した。当社においてはすでに千葉第2高炉¹⁾（第4次）で採用しており、千葉2高炉での操業実績をベースにした分布制御を行った⁵⁾。

3 長寿命化を意図した操業技術

3.1 現在までの千葉第6高炉の操業推移

Fig. 2に千葉第6高炉の火入れから現在までの操業推移を示す。火入れから現在までの操業は大きく六つの操業期間に分類される。それらの期間の特徴を以下に示す。

第1期(1977/6～1980/11)…高出鉄比低燃料比操業⁶⁾

・重油吹き込み操業（月間最低燃料比418 kg/t-p記録）

第2期(1980/12～1983/6)…低出鉄比低燃料比操業

・重油カット、オールコークス操業

第3期(1983/7～1987/9)…高出鉄比高燃料比操業

・発電所稼働による製鉄所エネルギーバランスから高燃料比操

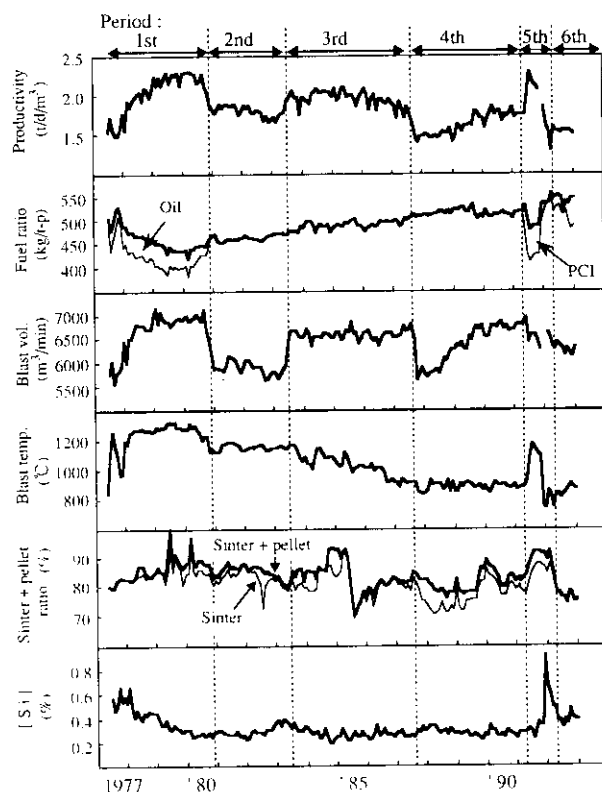


Fig. 2 Operation results of Chiba No.6 BF

業の実施

第4期(1987/10～1991/5)…低出銑比高燃料比操業

・千葉製鉄所集約による減産操業実施

第5期(1991/6～1991/12)…高出銑比操業⁷⁾

・千葉5高炉改修による高出銑比操業

・微粉炭吹き込み設備稼働による微粉炭吹き込み操業実施

第6期(1992/1～現在)…低出銑比超高燃料比操業⁸⁾

・製鉄所エネルギーバランスによる超高燃料比操業(燃料比 $\geq$ 530 kg/t-p)の実施

火入れ当初の重油吹き込み操業、オイルショック後のオールコークス操業、所内の発電所稼働による高燃料比操業への移行、'91年以降の微粉炭吹き込み操業、'92年以降の超高燃料比操業と操業状態は推移し、特に燃料比では、最低燃料比は418 kg/t-p(第1期)から最高燃料比は545 kg/t-p(第6期)まで、その時々エネルギーバランス要求にあわせて操業を変化させてきた。また、出銑量は減産時の出銑比1.46 t/d/m³(第4期)から最高出銑比2.30 t/d/m³(第5期)まで変化させてきた。特に火入れ後14年を経過して最高出銑比2.30 t/d/m³を達成できたことは特筆すべきことである。これらさまざまな操業条件の変化に対応して、ベルレス装入装置を用いた装入物分布制御に代表される操業管理技術の開発・確立により安定操業を継続し、炉体の損傷を最小限に抑制してきた。

3.2 長期安定操業技術

高炉の長寿命を達成する上では、安定操業を継続することが必須である。まず最初に千葉第6高炉での炉体保護を達成してきた安定操業技術について報告する。

3.2.1 計装システム・操業管理システム

千葉第6高炉の計装システム⁹⁾はディジタル計装技術と通信制御技術を大幅に採用した当時としては最新鋭の計装システムである。現在では当然のシステムであるが、現場のセンサーなどのフィールドの信号をローカル部でDCS(distributed control system)やPLC(programmable logical controller)に取り込み、プロセス計算機に全ての信号を集約して集中監視するシステムである(Fig. 3)。本システムの採用により、高炉・熱風炉の操業がほぼ全て、プロセス計算機により管理することが可能となった。また、炉体や各種冷却水など約300点の温度についても、プロセス計算機による監視が可能となり、設備の異常管理も行えるようにした。

プロセス計算機で集中監視するシステムの採用により、従来は高

炉操業者の経験に依存する所が多かった高炉操業管理を計算機による管理への移行を進めることが可能となった。その代表的な例としてオンライン計算機での操業管理システムGO-STOPシステム¹⁰⁾が挙げられる。GO-STOPシステムは一面的な現象をとらえたモデルではなく、種々の測定値から得られる情報を高炉プロセス理論に基づいて整理し、さらに操業上重要であると判断された因子を選択し、これをもとにして操業状況を判定するシステムである。約20のプロセス要因の値を8カテゴリーにわけて、それぞれについて一次判断を行い、その結果を組み合わせ総合的にGO, STOP, Backの3段階に分類し、操業者に減風等の指示を行うシステムである。6高炉では、火入れからGO-STOPシステムを使用した操業を行っており、安定操業継続の大きな役割を果たしてきた。このシステムの特徴としては、炉体温度、ステープ熱負荷が操業状況判定因子の中に取り込まれており、炉体保護を当初から念頭においたシステムとして構成した。

3.2.2 装入物分布制御技術

3.1に述べたように、火入れ以来経済的なニーズにより操業形態を大きく変化させてきた。その間安定操業を継続する上で最も重要な技術としてベルレス装入装置を駆使した装入物分布制御技術の確立があげられる。当社においては、千葉第2高炉で基本技術の確立はされていたが、その基本技術をベースに大型高炉での各種の制御技術を開発してきた。代表的な技術としては、

- (1) 貯銑槽、炉頂バンカー内で生じる装入物の粒度偏析の測定と制御技術¹¹⁾
 - (2) 炉の円周方向での均一な装入物分布の達成技術¹²⁾
 - (3) 適正な銑石とコークスの層厚比の設定技術¹³⁾
- が挙げられる。

最初の貯銑槽、炉頂バンカー内で生じる装入物の粒度偏析の制御技術では、炉頂バンカーからの原料排出時の粒度特性を調査し、排出中の粒度偏析が最小になるようにストーンボックスの設置を行い、炉内ガス利用率の向上を達成した。このことにより最低燃料比の記録を達成することができた。さらに、貯銑槽からの原料の排出順序と炉頂バンカーでの排出挙動を調査し、装入ベルトコンベア上での混合により炉頂バンカーからの排出時の偏析を防止した。これらの技術の適用により、小塊焼結銑の多量使用(100 kg/t-p以上)を達成することができた。

二番目の炉の円周方向での均一な装入物の達成技術に関しては、並列2ホッパータイプのベルレス装入装置の装置上の特性である円周方向でのO/Cの偏析と出銑孔間での溶銑温度・成分変動発生との関係を解明し、炉頂バンカーの銑石・コークス使用振り替へと、旋回シュートの旋回方向制御により、出銑孔間偏差を防止する技術を開発し、安定な出銑率を確保することを可能にした。

三番目の適正な銑石とコークスの層厚比の設定技術は、炉壁部の炉内ガス流(周辺流)を適切に制御することにより、シャフト部における熱負荷を制御する技術である。Fig. 4に炉体ステープ熱負荷の推移を示す。火入れ後10年以上低位安定して制御することができたことがわかる。

Fig. 5は千葉6高炉の操業実績より求めた操業度に応じた目標炉壁Ore/Cokeの関係である。ここでのOre/Cokeはサウンジングから算出した炉壁部でのコークスと銑石の層厚比(LO/LC)である。これから、炉内ガス量が増加(増産)、あるいは、熱流比が低下(高コークス比)した場合には、炉内の熱交換に余裕を生じ、炉壁部の熱負荷が上昇するため、炉壁部での層厚比の上昇(周辺流抑制)が必要であると考えられる。また、炉内通過風量の減少となる減産期、あるいは熱流比の高い低コークス比、酸素富化操業の場合

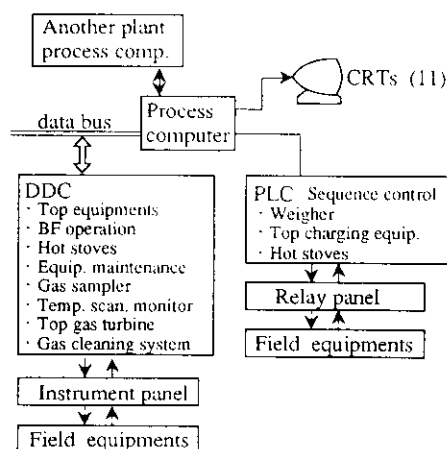


Fig. 3 Instrumentation and process computer of Chiba No.6 BF

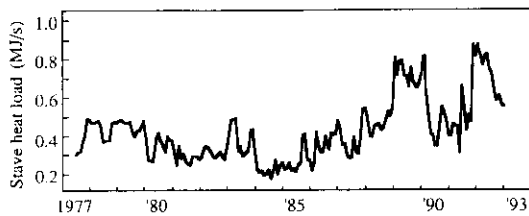


Fig. 4 Transition of stove heat load

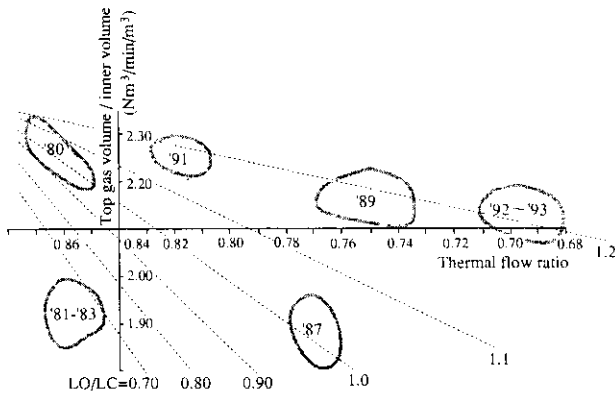


Fig. 5 Optimum LO/LC diagram on the various furnace operating conditions

は、炉壁部不活性帯生成抑制のため、LO/LC低下による周辺流化が必要である。このような炉壁LO/LCの制御は、基本的にはペルレスでの旋回ごとのシュートの傾動角度（装入パターン）で行い、その他に①ストックライン、②装入シーケンスの変更により調整を実施している。このように炉壁部のLO/LCだけを細かく調整することにより、スチーフ熱負荷の推移は非常に低位に安定して制御することができた。

Fig. 5の代表的な時期の融着帯形状を融着帯形状予測モデルで計算した結果をFig. 6に示す。これらの計算結果からわかることは、いずれの場合においても融着帯の炉壁部の位置はほとんど変化していないことである。Fig. 5に基づいて装入物分布を調整することで

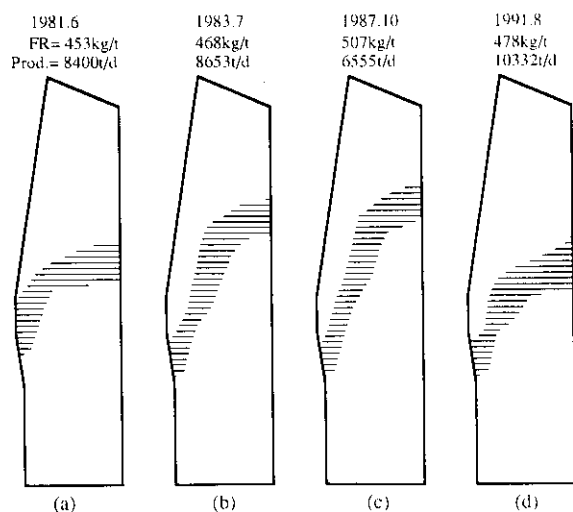


Fig. 6 Shape of estimated cohesive zone by mathematical model

幅広い操業範囲で炉壁熱負荷を低位に安定維持することができた。また、ペルレス装入装置は装入物分布の細かな調整に非常に優れている装置である。

3.2.3 炉底部の操業管理

炉底部の損傷に対してはシャフト部のように操業中に損傷部位を外科的に修復する技術が無く、かつ、損傷の程度によっては、高炉寿命へ致命的な影響を与えるために、十分な管理が必要である。

炉底部の損傷は、従来炉床コーナー部の「のらくろ」侵食が問題であった。「のらくろ」侵食は炉底での溶鉄の環状流による侵食によると考えられているため、6高炉では、環状流防止方法として炉底の不活性を防止するために炉底中心部での高さ方向での温度差(ΔT)の管理を行っている。炉底温度差が低下するということは、炉底芯部の熱流束の低下であり、炉床中央部に凝固層を形成することで環状流の発達を促進することになると考えられる。その対策として装入物分布制御による中心ガス流の安定確保を実施してきた。Fig. 7に炉底 ΔT の制御結果を示す。装入物分布制御により中心流を安定的に確保することで ΔT を維持することができた。

一方、炉底レンガの損耗状況を定量的に把握することが必要である。そこで、1987年に建設時14点であった炉底温度計を81点に増設し、炉底レンガ温度管理の強化を図った。Fig. 8に増設後の炉底温度計配置を示す。円周方向8断面、側壁高さ方向5段に温度計を増設した。さらに、それらの炉底温度データを用いて、境界要素法による最大炉底レンガ侵食ライン、および凝固層ラインの推定を定期的の実施している¹⁵⁾。各測温点の温度履歴の最高温度により

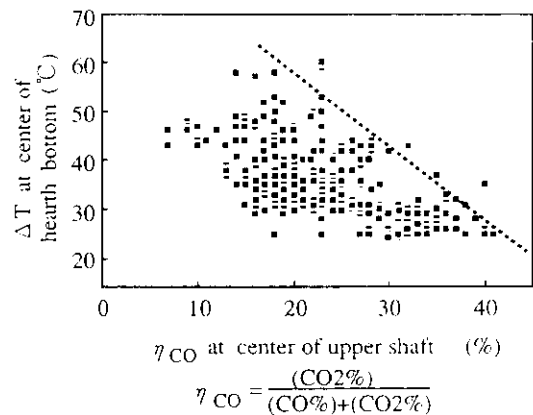
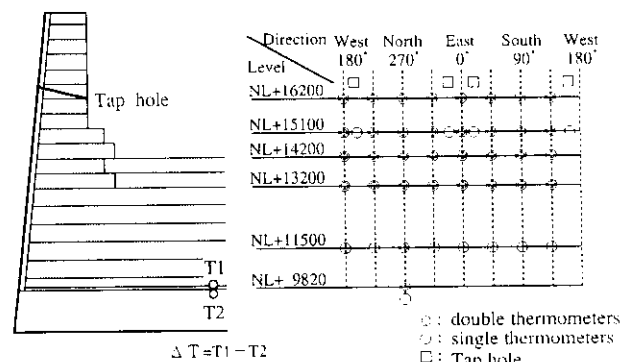
Fig. 7 Relationship between η_{CO} at the center of upper shaft and ΔT at center of hearth bottom

Fig. 8 Arrangement of the hearth temperature-measuring points

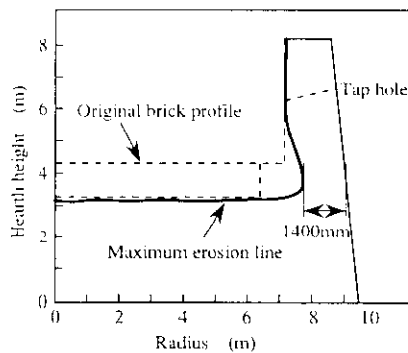


Fig. 9 The maximum erosion line estimated by boundary element method

最大侵食ラインを推定し、温度変化に応じて凝固層ラインを推定する方法で、月1回推定結果を出力し炉底凝固層管理を実施している。Fig. 9は千葉6高炉における最大侵食ラインの推定結果であり、現段階では炉底レンガの異常侵食は見られない。炉底部に大きな損傷がないことは、①炉床深さを大きくしたこと、②炉底中心での高さ方向の温度差(ΔT)の管理により、炉底環状流を抑制することができたためであると考えられる。

4 設備技術による長寿命化対策

稼働10年以上経過すると炉体各部位に損傷が現れてくる。特にシャフト上部～炉口部間の損傷が顕著である。建設時の計画では、寿命8～10年という設定であり、シャフト下部、炉底部についての検討は十分されてきたが、シャフト上部については寿命延長対策が十分検討されていないためである(従来高炉はシャフト下部、炉底の問題で吹却していた)。シャフト上部の損傷の進行により安定操業を阻害する要因が現れてきたため、長寿命化対策を実施した。以下に現在まで実施した長寿命化対策について報告する。

4.1 シャフト部での長寿命化対策

前述した装入物分布による炉壁保護操業は、安定な装入物分布制御を前提としたものであるため、炉口、シャフト上部の炉体プロフィールが健全であることが重要である。そこで、操業技術、設備技術的対策について報告する。

4.1.1 鉬石受け金物の損傷

炉口部では、シャフト上部レンガの損耗により鉬石受け金物を支持する棚板が熱変形し、最下段のウェアリングプレートの内側への迫り出し、一部の脱落が見られた。このため、1985年にFig. 10に示すように棚板を支持するための冷却函を、棚板下部全周にわたり設置するとともに、金物が脱落した部分や迫り出しが著しい部分については、押え金物の取り付けを実施した¹⁶⁾。

4.1.2 シャフト上部レンガ損傷

シャフト上部レンガの損傷が進行し、ガス流分布が変化した例をFig. 11に示す。シャフト上部レンガの損傷が大きくなった1988年以降、同一装入方法を実施しても周辺流が増加(中心流の減少)した。同時に、安定な中心流確保が困難になり変動が大きくなった。その対応アクションとして、ベルレス装入パターンの変更によりコーキスの装入位置を中心方向に変化させることにより、周辺流抑制、中心流の確保を行ってきた。しかし、1987年以前のガス流分布に戻すことはできず、周辺流が多い状態が継続した。このことからシャフト上部レンガが損傷すると安定なガス流分布を制御するこ

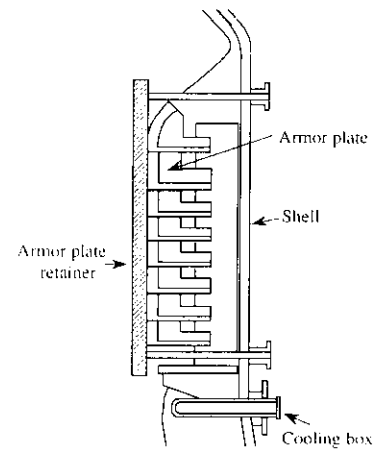


Fig. 10 Schematic drawing for protection of armor plate

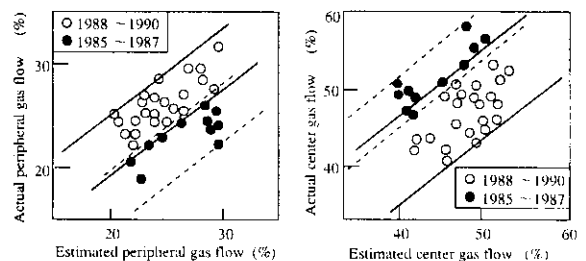


Fig. 11 Transition of gas flow after wearing of upper stack

とが困難であることがわかる。この原因は炉壁プロフィールの凹凸に起因する装入物の局所的な降下異常から混合層が形成されたためと考えられる¹⁷⁾。このようなガス流分布制御性の低下による炉壁流の増加は炉体熱負荷の増加を招き、炉体保護という点で大きな問題となる。また、安定な中心流の確保が困難になるということは炉芯の不活性化を招くことが考えられ、安定操業の継続に大きな問題となる。これらの問題点を解消するためシャフト上部プロフィールの修復を行いガス流分布制御性の回復を図った。

シャフト上部レンガの損耗に対する設備的な対策として、Fig. 12に示す水冷パネルを1989年1月に鉬石受け金物の下から最上段ステープ間の4.2mに設置した¹⁸⁾。水冷パネルの設置工事には、事前工事休風を6回実施し、パネル設置時の干渉物(残存レンガ)の除去を行い、パネル設置には76時間の休風工事を要した。

4.1.3 ステープの損傷

炉壁鉬石層厚の適正な制御により、ステープ熱負荷を長期間低位安定して制御してきたことは前節までに報告した。しかし、稼働10年以上経過後、①ステープ前面のレンガの損傷の進行、②炉口部レンガの損傷による装入物分布制御性の低下により、1986年以降ステープ熱負荷は順次上昇し、炉体への熱負荷が増加してきた。

Fig. 13に千葉製鉄所において吹却した高炉の冷却装置の冷却パイプの破損推移を示すが、6高炉の現在までの冷却装置の損傷は銅製冷却函2個、ステープ冷却パイプ3本だけであり、従来高炉に比較して非常に破損数が少ない。Fig. 14に炉内残存レンガ厚測定結果を示す。これは、炉壁への付着物層厚さを測定した時点までの最小値を残存レンガ(ステープ)厚さと仮定している。なお測定箇所は、ステープコーナー部である。シャフト下部では火入れ9年、上部では12年までレンガが残存していたことが確認できる。Fig.

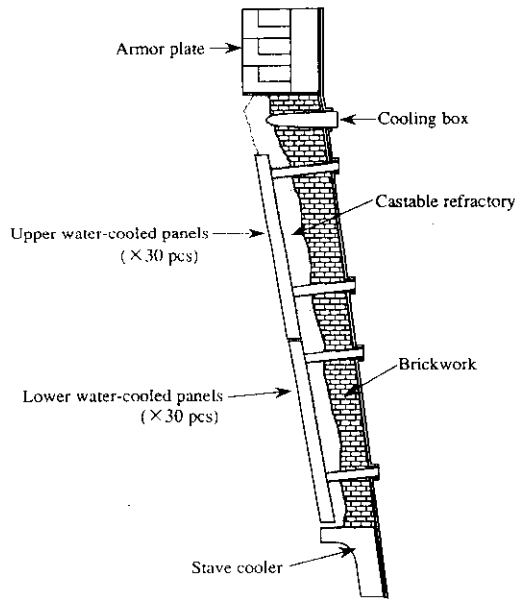


Fig. 12 Schematic drawing of upper shaft lining repair

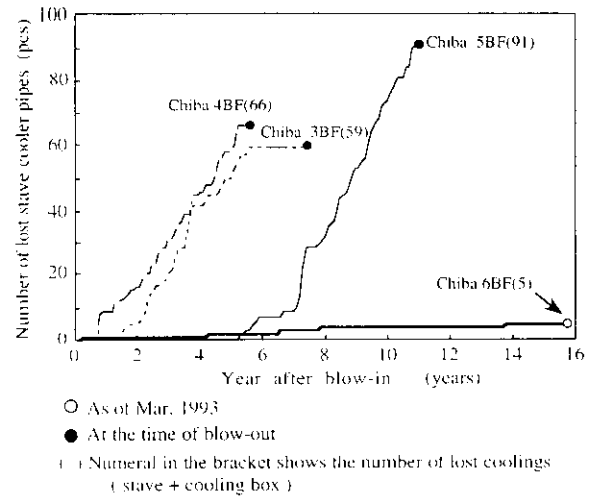


Fig. 13 Transition of number of lost cooling pipe lines

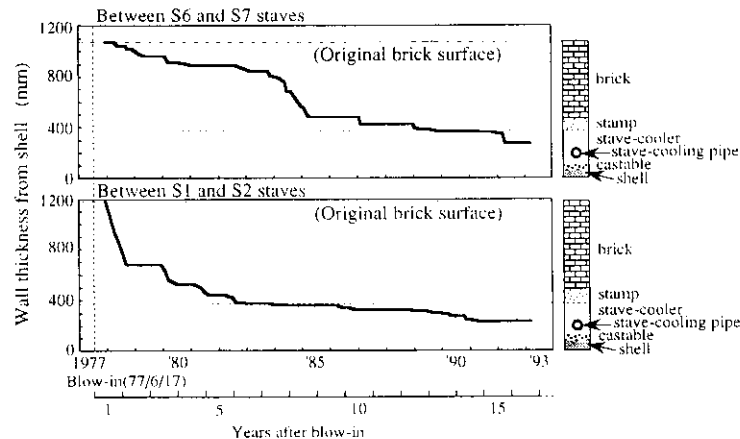


Fig. 14 Transition of shaft wall thickness (No.6 BF)

15に千葉第5高炉(3次)での炉内残存レンガ測定結果を示す。5高炉では冷却函を設置しなかったため、レンガ損傷が非常に早く、火入れ後5年経過時点では炉体全域にわたりステープ前レンガが無くなっている。その後8年目には鉄皮亀裂が発生し、以降の末期操業では鉄皮亀裂対策のために操業に非常に制約を受けた。このことから①冷却函によるレンガ支持機能の改善、②ベルレス装入装置による炉体熱負荷の適切な制御など、建設時の炉体保護の思想および炉体保護操業を考慮した操業技術は非常に優れていたと言える。

しかし、現在の炉体状況はシャフト下部(ステープS2レベル)、シャフト上部(ステープS6レベル)共に、ステープ前レンガはすでに消失し、ステープ鉋物の損耗が進行している。また、シャフト中上部ではステープ間の鉄皮赤熱も一部発生し、休風時に鉄皮・ステープ間にキャストブルの圧入を実施しており、今後炉体保護操業の強化が必要である。

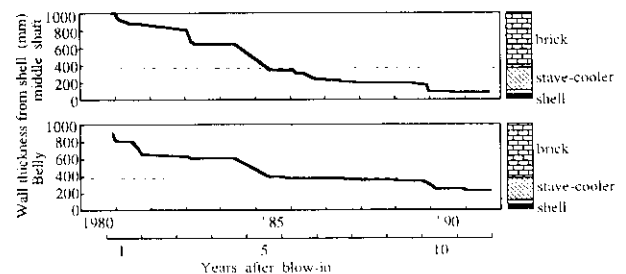


Fig. 15 Transition of shaft wall thickness (No.5 BF)

4.2 設備管理による長寿命化対策

高炉の長寿命化に伴い、付帯設備の老朽化による設備トラブルが発生しやすくなり、高炉操業に重大な損失を与えることが考えられ、設備管理の強化により設備異常・故障の早期検知と対応が不可欠である。1988年に設備遠隔監視装置、および光ケーブルを使っ

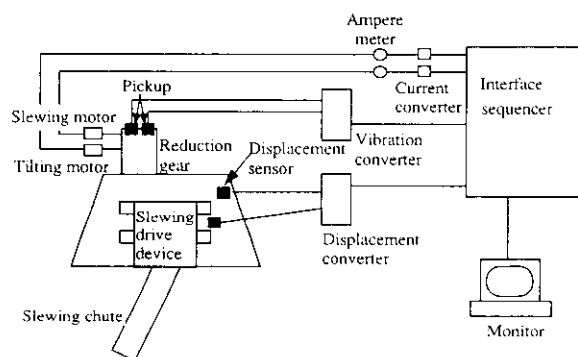


Fig. 16 Monitoring system for the bell-less drive unit

たネットワークシステムを据え付け設備遠隔監視システムを構築した。

一例としてベルレス駆動装置の遠隔監視システムを Fig. 16 に示す。分配シャフトを保持・旋回させる大型軸受の磨耗状態を監視する手段として、旋回体外部に変位計を設置し、大型軸受の回転変心量・傾きを遠隔監視している。そして、上部減速機に振動センサーを設置し、減速機入力軸受の振動監視を行っている。これらの信号の境界値、傾向値管理を行うことにより設備異常の有無の遠隔監視が可能となり、設備故障を未然に防止し、安定操業への外乱を防いでいる。

5 最近の安定操業達成課題

千葉第6高炉の現在までの長寿命化対策について報告した。しかし、これらの対策は損傷部位の修復であり、炉体全体の損傷が進行し操業への影響を及ぼすものも現れている。その一例について述べる。

Fig. 14 の炉体損傷結果からステープ鋳物の損耗が進行が確認されている。千葉第5高炉の実績から今後ステープ冷却パイプの損耗が増加することが予想され、炉体保護管理の強化を行うためにベリー・ボッシュ部に炉壁厚さの測定孔を新設した (Fig. 17)。

Fig. 18 はシャフト部の損傷状況を示したものである。炉口部の水冷パネルは設置後4年を経過し変形が生じている。一方、ステープは鋳物の損耗が進行している。このようにシャフト部では炉体上下方向での凹凸が大きくなり、また、円周方向での凹凸も大きくなっている。炉体健全時と現状のような炉体損耗時での炉下部炉体温度の変動状況を Fig. 19 に示す。炉体プロフィールの凹凸が大きくなったことにより炉体温度変動が大きくなり、円周方向でのガス流れ状態に偏差が生じていることがわかる。また、Fig. 20 に S4 ステープ温度と炉底側壁温度との対応を示す。ステープ温度上昇時に炉底側壁温度低下が発生している。また、炉底側壁温度低下と同時に出鉄孔ごとの溶鉄滓品質の偏差が発生する傾向が大きくなってきた¹⁷⁾。このような炉体プロフィールの凹凸が大きい場合には、炉体プロフィールが健全な時と異なり凸部の下方で炉壁にコークス層、その内側に鉍石層が偏析することが模型実験により確認されている¹⁷⁾。炉内降下時の原料の局所的な偏析発生による炉内状況を推測すると、炉壁部に生成するコークス層により、炉壁近傍のガス流が増加し、炉体温度が上昇する。一方、鉍石層の偏析により炉腹部での未還元鉍石の降下、炉床部での凝固層・コークス温度低下部の生

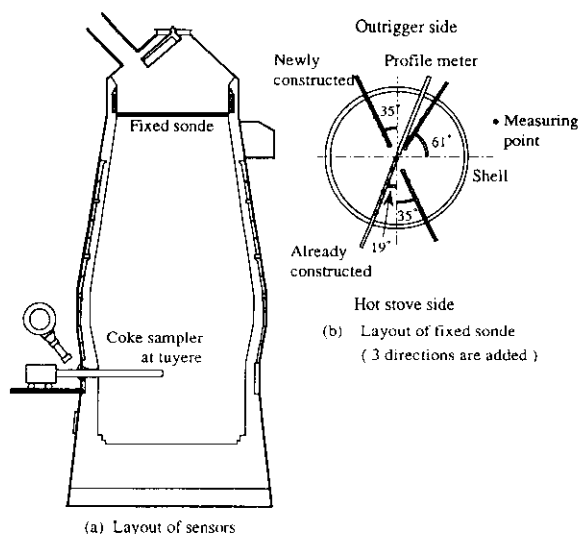


Fig. 17 Configuration of recently installed sensors

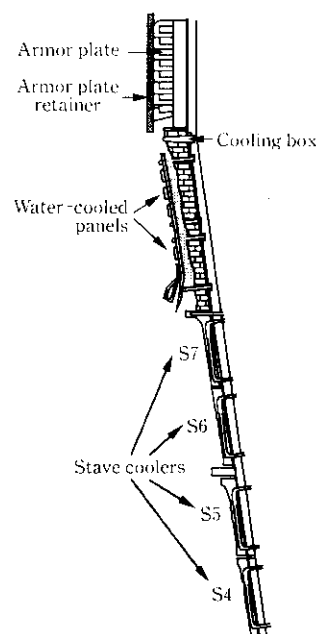


Fig. 18 Schematic illustration of upper shaft profile

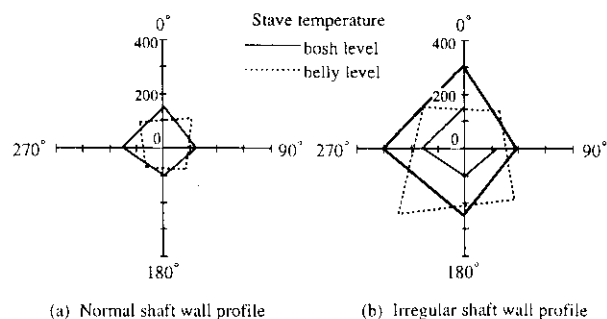


Fig. 19 Comparison of stave temperature variation

成 (炉底側壁温度の低下) が発生したと考えられる。このことにより溶鉄滓の流れが変化し偏差が発生すると推定される。この対策と

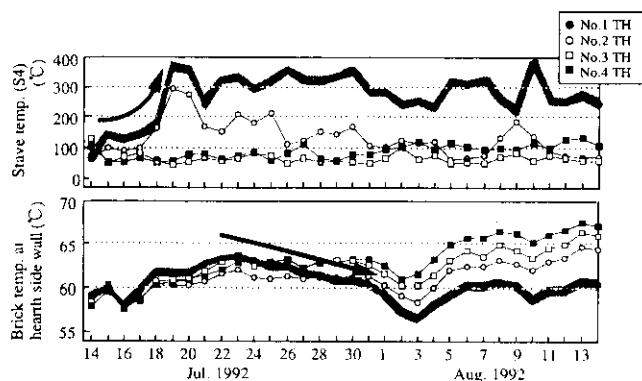


Fig. 20 Relationship between stave temperature (S4) and brick temperature at the hearth side wall

してステーブ温度上昇時には、偏差が発生する前から炉頂バンカー振替えを積極的に実施し、偏差発生を防止している。しかし、現在のような炉体損傷状況において炉体健全時に確立された装入物分布制御技術では、ガス流れの制御が非常に困難になってきた。そこで、操業管理の強化策として円周方向でのガス流分布を把握するため、固定ゾーン温度計の増設（従来1方向→4方向）を行い、また、炉底の状態を測定するために、羽口コークスサンプラーの設置など操業管理設備の増強を実施している（Fig. 17）。

また、設備異常による操業への影響を防ぐため、電気・計装設備での劣化の激しい設備の更新を行い、設備管理を操業、保全両者で綿密に行うために、設備監視システムの増強等を実施する。

6 結言

千葉製鉄第6高炉は1977年6月火入れ後、現在まで16年の長期稼働を続けている。この長期稼働を達成するために、

- (1) 長寿命化達成のための新規設計の取り込み。
 - (2) ベルレス装入装置やGO-STOPシステムを活用した長寿命化のための操業管理の実施
 - (3) 水冷パネル設置や設備管理システムの設置による設備面からの安定操業阻害要因の排除
 - (4) 境界要素法を用いた炉底レンガ損傷状況の把握
- を実施してきた。しかし、炉体全体のプロフィールの損傷により、操業への影響が発生しており、長寿命高炉での操業管理を強化するために、新規センサーの設置を行っている。

改修計画は、1996年以降に予定されており、今後3年以上の安定操業が要求されている。稼働16年を経過しているが、千葉製鉄所における中核である溶鉄・エネルギー供給設備としての位置づけは非常に大きく、長寿命高炉といえどもコストダウンの一層の追求を行う必要がある。そのため、今後もこれまで以上の操業・設備管理の強化を行い、改修までの安定操業を継続する所存である。

参考文献

- 1) 長井 保, 栗原淳作, 丸島弘也, 高橋博保: 川崎製鉄技報, **10** (1978) 2・3, 152-159
- 2) Babarykin: *Stal in English*, Sep. (1969), 772-777
- 3) 日本鉄鋼協会: 「高炉鉄皮亀裂防止対策」, Mar. (1975)
- 4) T. Morimoto, M. Yoshimoto, T. Matumoto, H. Ando: AIME 41st Ironmaking Conference, (1982), 132-145
- 5) J. Kurihara, H. Takahashi, K. Okumura, Y. Karikome, K. Okabe, M. Kondo: *Transactions ISIJ*, **21** (1981), 192-200
- 6) 奥村和男, 河合隆成, 丸島弘也, 高橋洋光, 栗原淳作: 鉄と鋼, **66** (1980) 13, 1956-1965
- 7) 安野元造, 木村一男, 岡村通亮, 西村博文, 小林敬司, 高島暢宏: 材料とプロセス, **5** (1992) 1, 112
- 8) 安野元造, 西村博文, 小林敬司, 大西慎吾, 佐久間義朗: 材料とプロセス, **6** (1993) 1, 44
- 9) 田宮稔上, 岩村忠昭, 高橋 暁, 崎村博, 片桐秀明, 古内真積: 川崎製鉄技報, **10** (1978) 2・3, 160-173
- 10) 岡部俠児, 福武 剛, 高橋博保, 河合隆成, 岩村忠昭, 崎村 博: 川崎製鉄技報, **11** (1979) 1, 34-43
- 11) 福武 剛, 藤田 勉, 田中康雄: 川崎製鉄技報, **14** (1982) 4, 405-415
- 12) M. Nomura, S. Taguchi, N. Tsuchiya, H. Sakimura, K. Tanaka: AIME 43rd Ironmaking Conference, (1984), 111-117
- 13) 沢田寿郎, 河合隆成, 芹沢保文, 奥村和男, 篠崎義信, 田口整司: 川崎製鉄技報, **17** (1985) 2, 110-117
- 14) 安野元造, 丸島弘也, 松本敏行, 小林敬司, 佐久間義朗: 材料とプロセス, **6** (1993) 1, 45
- 15) 吉川文明, 児子精祐, 清原庄三, 田口整司, 高橋洋光, 一宮正俊: 鉄と鋼, **73** (1987) 15, 2068-2075
- 16) 秋本栄治: 第146・147回西山記念技術講座 (1993), 124-176
- 17) 安野元造, 西村博文, 高島暢宏, 西村 望, 小林敬司, 佐藤 健: 材料とプロセス, **6** (1993) 4, 896