

新日本製鐵における最近の高炉改修技術

Latest Blast Furnace Relining Technology at Nippon Steel

川 岡 浩 二^{*(1)} 阿 南 邦 義^{*(2)} 津 田 昭 弘^{*(3)} 柿 内 一 元^{*(4)}
Koji KAWAOKA Kuniyoshi ANAN Akihiro TSUDA Kazumoto KAKIUCHI
 松 岡 芳 幸^{*(5)} 竹 下 博 喜^{*(6)} 西 岡 潔^{*(7)} 高 崎 洋^{*(8)}
Yoshiyuki MATSUOKA Hiroki TAKESHITA Kiyoshi NISHIOKA Hiroshi TAKASAKI

抄 録

新日本製鐵の稼働高炉基数は現在 9 基であり、内容積 5 000 m³級の超大型高炉が建設され始めた 1970 年代半ばに比べて半減している。この間高炉 1 基あたりの生産上方弾力性の向上、長寿命化、省力化、改修工期の短縮等、トータルコスト削減への要請が一層強まり、それに対応した設備技術開発と実機化を推進してきた。このような背景のもとに高炉改修時の炉容拡大、カーボンブロック品質向上による炉底の長寿命化、銅ステーブ採用によるシャフトの長寿命化、鑄床作業の機械化、大ブロック工法による改修工期短縮等の設備新技術を適用し高炉の機能と寿命を大幅に向上させ、なおかつ改修時の減産を最小限にしてきた。これら最近の高炉改修技術についてその主要な内容を述べた。

Abstract

Nippon Steel's blast furnaces in operation are nine at present, reduced by half in number, compared to those in the middle of the 1970s when large blast furnaces of the 5 000 m³-class inner volume began to be constructed. During that time, given the increasingly urgent imperatives for total-cost reduction, such as each furnace's upward flexibility in production, longer service life, labor savings, shorter relining periods, etc., we have vigorously pressed forward with the development and industrialization of corresponding equipment technologies. Some of the new equipment technologies achieved against this background include: the inner-volume expansion during relining, the hearth-wall life extension by the improved quality of carbon blocks, the shaft life extension by the adoption of copper staves, mechanization of cast house works, and shortening a relining period by the large block method. The application of these technologies has resulted in substantial functional improvement and life extension of blast furnaces, while at the same time making it possible to minimize production decrease needed during relining. This paper describes salient features of these latest blast furnace relining technologies.

1. 緒 言

高炉設備技術は 1970 年代前半における 4 000 m³級大型高炉の建設に代表される如く高度経済成長期の鉄鋼生産需要の伸びに併行して飛躍的に発展した。その後は石油危機、円高、バブル景気と崩壊さらには最近の中国特需等、需要および産業構造がめまぐるしく変化する中で、高炉設備に対する要求は高制御性、省エネルギー、省力化、資源対応、長寿命化等の一層のトータルコスト削減と生産上方弾力性向上が主となった。新日本製鐵ではこれらのニーズに対して設備技術開発を行い高炉改修時に最新の技術を適用してきた。

本報告では最近の高炉改修技術の中で主要な炉容拡大、長寿命化、鑄床作業の機械化および改修工期短縮についてその概要を述べる。

2. 炉容拡大

現在、新日本製鐵の稼働高炉基数は 9 基(北海製鉄室蘭第 2 高炉を含む)であり 1970 年代半ばに比較して半減している。このような状況下で経済情勢変化による需要増にも迅速に対応できるよう高炉改修時に順次炉容拡大を図り、高炉 1 基当たりの生産上方弾力性と機能を大幅に向上させてきた。炉容拡大に当たっては改修費削減の

^{*(1)} 環境・プロセス研究開発センター
 プラントエンジニアリング部 製鉄グループリーダー
 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511 TEL:(0439)80-3149

^{*(2)} 環境・プロセス研究開発センター
 プラントエンジニアリング部 部長(製鉄)

^{*(3)} 環境・プロセス研究開発センター
 プラントエンジニアリング部 製鉄グループ マネジャー

^{*(4)} 君津製鐵所 生産技術部 生産技術グループ マネジャー

^{*(5)} 北海製鉄株式会社 製造部 マネジャー

^{*(6)} 大分製鐵所 製鉄工場 製鉄企画グループ マネジャー

^{*(7)} プラント・環境事業部 製鉄プラント第一部
 製鉄・原料グループ マネジャー

^{*(8)} 日鉄プラント建設株式会社 建設第一部 グループ長

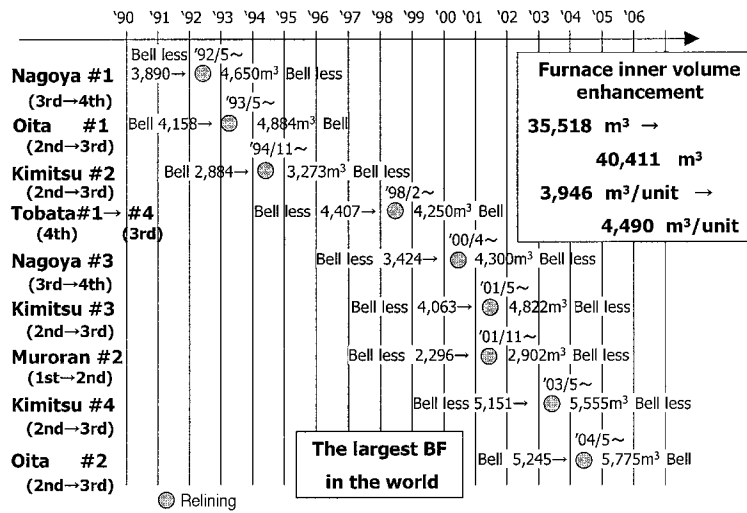


図1 最近の高炉改修時の炉容拡大
Expansion of blast furnace inner volume at NSC

ため、設備の大規模な改造を行わない範囲で行い、炉の高さをほとんど変えず炉径の拡大を主体としている。新日本製鐵の操業実績から判断すると炉容積一定の場合、高さが低く炉径が大きいタイプの方が通気の面で優位であり、増出鉄には有効であると考えている。

図1に新日本製鐵における現在稼動中高炉の最近の炉容拡大実績を示す。高炉基礎や檣等の大幅な変更をしないで経済的に炉容拡大するケースではシャフト薄壁化の効果と合わせて炉容拡大率は10~25%程度であり、君津製鐵所第4高炉(3次) 555 m³、大分製鐵所第2高炉(3次) 775 m³(世界最大)の超大型高炉を含む新日本製鐵の1基当たりの平均内容積は4,490 m³まで拡大している¹⁾。

3. 長寿命化技術

新日本製鐵では高炉改修に併せて炉寿命の律速部位である炉底部とシャフト部に対して長寿命化対策をとってきた。その結果、操業技術の進歩とあいまって出鉄比を低下させることなく、高炉寿命を延長することができた。

図2に新日本製鐵の高炉の炉寿命と出鉄比の実績を示す。1970年代頃に吹止めた高炉では炉寿命が5年から7年であったが、その後逐次10年、12年と延長し、直近の吹止め高炉の炉寿命は高出鉄比を維持しつつ約15年に延長されている。最近の吹止め高炉の累計出鉄量は10,000~12,000 t/m³のレベルにある。

炉寿命の律速要因は、一時期シャフト部の比率も高かったが、最近の吹き止め高炉では炉底が律速部位の主体となっている。この間、新日本製鐵では炉底部とシャフト部を中心に高炉長寿命化対策をとってきた¹⁻⁴⁾。

3.1 炉底部の長寿命化対策

炉底部の長寿命化対策として、冷却強化とカーボンブロックの材質向上を図ってきた。炉底側壁部では出鉄口下部の最侵食部位で冷却強化型の鑄鉄ステープや銅ステープを採用し、併せて冷却水温度の低減を図っている。

一方、炉底部の冷却については、2段冷却やドーナツ冷却方式等により冷却能力を調整可能とし、過冷却による炉芯不活性防止を配

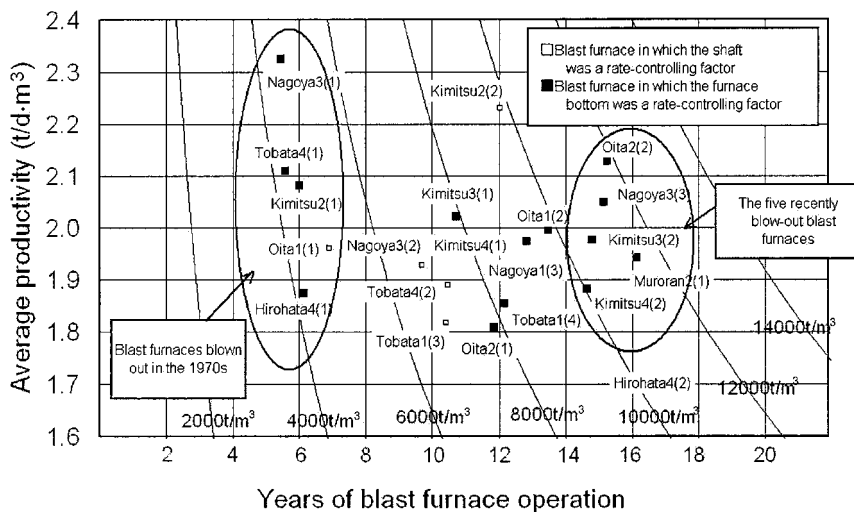


図2 高炉の炉寿命と出鉄比
Actual campaign life of NSC's blast furnaces

慮している。炉底の耐火物についてはカーボンブロック + 内接セラミック方式を採用している。

カーボンブロックは、主に耐火物材質の熱伝導率向上と耐溶銹性の向上による長寿命化を指向してきた。1965年に開発されたBC-5では耐火物寿命が5～10年にすぎなかったが、微細気孔径化を図ったCBD-2で15年、更にCBD-2RGで15年超と改善してきた。

1994年の君津製鐵所第2高炉(3次)以降の改修高炉ではCBD-2RGの改善を更に押し進めたCBD-3RGを採用している。このカーボンブロックの特徴は素材を無煙炭から人造黒鉛に変更して材質を均一化することにより、微細気孔径化、耐溶銹性を維持しつつ熱伝導性の改善を図ったことである。更に最新改修高炉の君津製鐵所第4高炉(3次)、大分製鐵所第2高炉(3次)ではCBD-3RGよりも耐食性を大幅に向上させたCBD-GT1(TiC添加カーボンブロック)を採用している。

新日本製鐵において高炉吹き止め冷却直後に炉底側壁部カーボンブロックのコアサンプルを採り、耐火物の使用実績評価を行ってきた。図3にコアサンプルの例を示す。広畑製鐵所第4高炉(2次)で使用したBC-5では炉内稼働面側に約300mmの脆化層が認められた。その後、微細気孔径化の面で改善して、室蘭製鐵所第2高炉(1次)で使用したCBD-2では炉内稼働面側で約100mm粉化してお

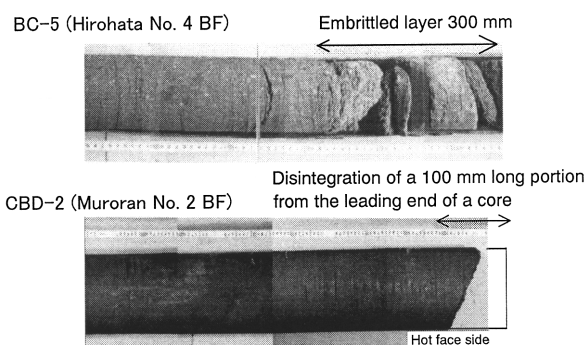


図3 炉底側壁部カーボンブロックのコアサンプル
Core samples of carbon blocks

り、脆化層は減少していた。現在、更に改善されたカーボンブロックを採用している高炉が稼働中であり、微細気孔径化等による炉底部寿命延長の効果が大幅に期待できる。

これら冷却強化とカーボンブロックの材質向上の効果を基にカーボンブロックの損耗量を推定した結果を図4に示す。炉底側壁煉瓦の残存厚が400mmまで操業可能と考え、図より炉底寿命は25年程度が期待できる²⁻⁴⁾。

3.2 シャフト部の長寿命化対策

新日本製鐵では1969年に旧ソ連より鑄鉄ステーブを導入して以来、耐久性向上のため種々の改善を図ってきた。図5に鑄鉄ステーブ冷却機能向上のための改善の歴史を示す。導入当時はステーブパイプの破損が頻発し、高炉の寿命も5年程度であった。ステーブのコアサンプリングや解体調査により、ステーブの損傷は炉内熱負荷変動による鑄鉄母材の劣化と剥離脱落によるものと推定された。このため材質をFCHからFCDに変更した。冷却システムとしては自然循環から冷純水強制循環方式へと変更した。さらに、パイプピッチの短縮、コーナーパイプの設置、背面蛇管の設置等により冷却強化を図ってきた。

第4世代ステーブにおいてはステーブに煉瓦を鑄込むことでス

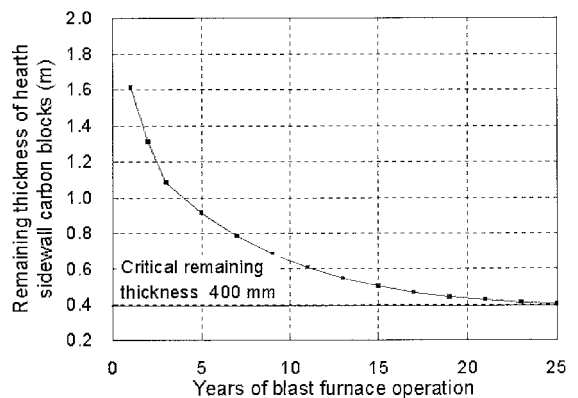


図4 炉底側壁カーボンブロックの推定損耗量
Estimated furnace bottom life after measures to prolong campaign life

	First generation	Second generation	Third generation	Fourth generation
Construction				
Main improvements		1. Perpendicularly bent corner pipe 2. Cooling with cold pure water	1. Installation of corner cooling pipe 2. Installation of serpentine rear pipe	1. Use of monolithic stave-brick assembly 2. Reduction in wall thickness
Year of introduction	1969~	1974~	1977~	1985~

図5 鑄鉄ステーブ技術の変遷
Changes in NSC's staves

テーブ+煉瓦の薄壁一体構造とし、煉瓦積み工事を不要にすると共に、高炉稼働プロフィール変化をミニマム化することによる操業安定化を図ってきた。最近ではその考え方を更に前進させ、超長寿命化、薄壁化と長期稼働プロフィール安定維持による操業安定化を目的に最新改修高炉の君津製鐵所第4高炉(3次)、大分製鐵所第2高炉(3次)に銅ステーブを採用している(写真1)。

シャフト部での銅ステーブ採用に当たっては熱伝導解析結果を基にオフラインでの耐摩耗テストを実施し、耐摩耗性の面で問題ないことを確認した。図6の3次元定常熱伝導解析では、炉内ガス温度を1200℃と仮定するとリブ先端の最高温度は約200℃となり、従来の鑄鉄ステーブの760℃に対して極めて低い温度となった。その結果、銅ステーブの母材強度が維持できるレベルにあると推定される。

図7にオフライン摩耗試験の方法を示す。雰囲気温度は220℃とし、押付荷重はJanssenの式から求め、装入物降下速度から試験片回転数を設定した。本試験から炉内推定平均摩耗量は0.17mm/年となり、25年換算で約5mm以下の摩耗量となり、銅ステーブは耐摩耗の面で問題ないと考えている。

図8にシャフト部の寿命推定結果を示す。冷却強化型第4世代鑄鉄ステーブでは、火入れ後20年でステーブパイプ表面まで損傷することになり、寿命は20年程度である。一方、銅ステーブでは稼働面側温度がさらに低下して機械的強度が維持されることにより摩耗速度が極めて小さいため、超長寿命の25年以上が期待できる^{2,4)}。

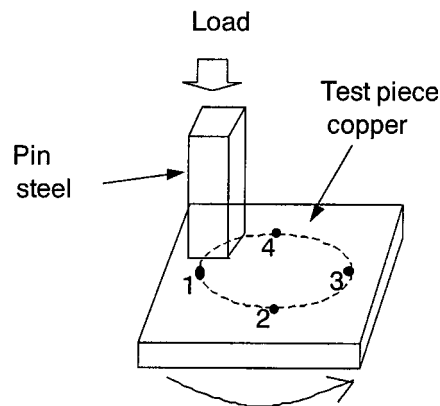


図7 銅の摩耗試験方法
Method of off-line wear test

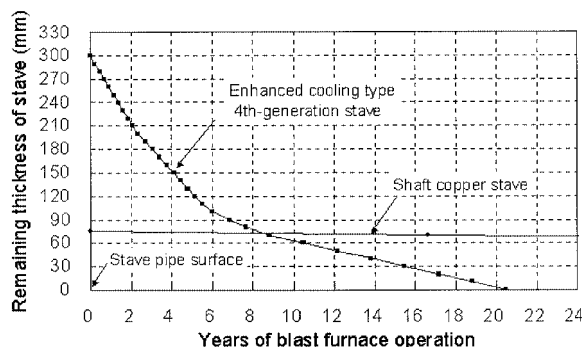


図8 シャフト部の寿命推定
Estimated shaft life

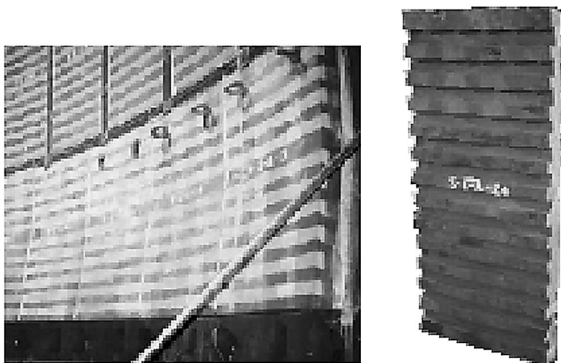


写真1 シャフト銅ステーブ
Shaft copper staves

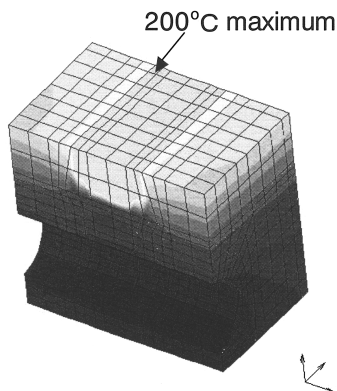


図6 銅ステーブの3次元熱伝導解析結果
Estimated temperature distribution of shaft copper staves

4. 鑄床作業の機械化

鑄床作業の省力化及び快適化を狙って、機械化、遠隔操作化、更には自動化を実施してきた。表1に主な鑄床機器の例を示す^{3,4)}。高品位マッドにも対応可能とすべく、15年前から世界に先駆けて油圧開孔機を実現させ、マッドガンのハイパワー化で出銑滓作業の確実性を飛躍的に向上させた。また、モニター画面の工夫で遠隔操作化も図り、無線操作だけでなく計器室からの操作も現実のものとなった。レベル測定、秤量精度も向上させ、溶銑傾注樋の自動切替もを行い、図9に示す機器で省力化を進めている。

5. 改修工期短縮

高炉は高温で連続操作が行われているため、定期的な改修工事が必要になる。一方、一貫製鉄所では製品、半製品のみならず、エネルギーや物流のバランスが各ライン一定の生産をする前提で成り立つよう設計されており、無駄な余裕は無い。従って、計画的な高炉改修が実施されるとはいえ、十数年に一度、最も上工程のメインラインである高炉が長期にわたって休止することは大きなデメリットになる。

このため、新日本製鐵では全社をあげて設備技術開発と実機化を推進し、2000年4月に火入れした名古屋製鐵所第3高炉(4次)を皮切りに、改修工期の大幅短縮化を図ってきた。図10に従来改修工法と新日本製鐵で採用した大ブロック工法の比較を示す。従来の改修工法では、短冊状のマントルを高炉槽内から搬出及び搬入をしてい

表1 主な鑄床機器
Cast house equipment

	Mechanization	Remote controlled operation	Automation
High power mud gun			
Hydraulic tap hole opener			
Cover traverser			
Mud filling device			
Rod changer			
Oxygen tap hole opener			
Iron slag separation tub			
Hot metal level gauge and weigher			

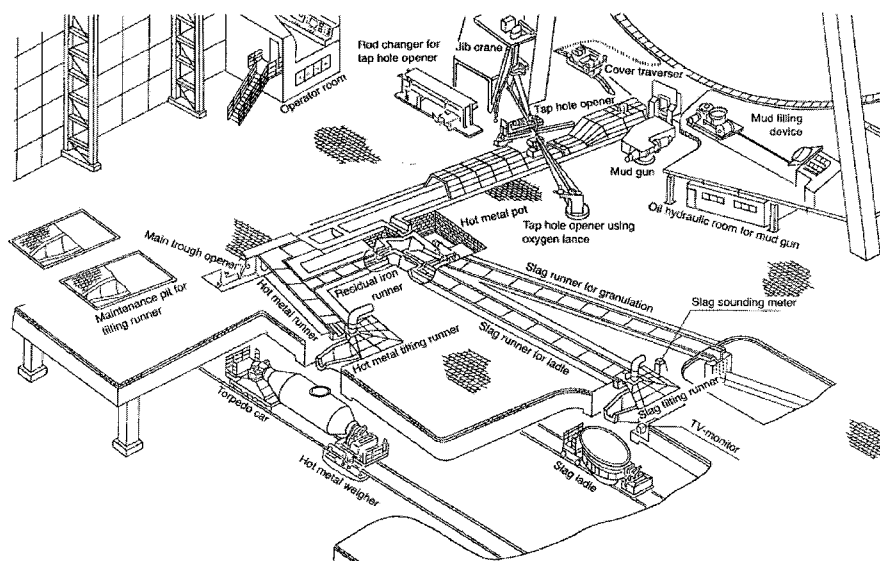


図9 鑄床省力化機器の配置

Simplified perspective diagram of cast house equipped with labor saving machines

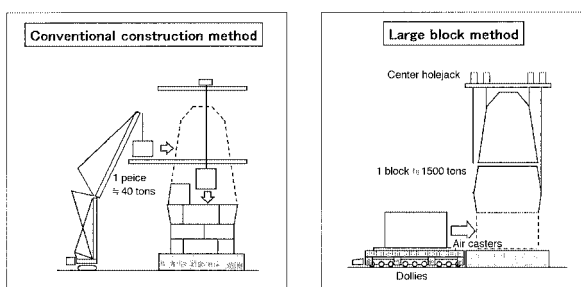


図10 大ブロック工法

Comparison between conventional and large block method

たため、現場でのマンテル切断及び溶接作業が多量に発生していた。これに対して、センターホールジャッキ、エアーキャスターやドーリーの搬出・搬入装置等を使用した大ブロック工法は、マンテルを水平方向に4ピース程度に切断してステーブとともにリング状で撤去し、据付け時は事前にリング状に組立てた後に槽内に取り込む方法である。大ブロック工法は事前工事によるオフライン作業によるので溶接の品質向上や安全性の面でも大きな効果が得られる利

点がある。

名古屋製鐵所第3高炉(4次)では新日本製鐵として初めて大ブロック工法を採用した。君津製鐵所第4高炉(3次)ではブロック規模を拡大した炉底煉瓦先行艱装工法を適用し、大分製鐵所第2高炉(3次)では先行艱装範囲の更なる拡大(写真2)と炉底一括搬出工法でブロック重量の増加に対する技術開発を進め、炉容拡大の条件下で改修工期短縮を実現してきた⁶⁻⁸⁾。



写真2 炉底ブロックの事前先行艱装
Module construction

図11は名古屋製鐵所第3高炉(4次)の従来法による改修工期(計画)と大ブロック工法による工期短縮実績、君津製鐵所第4高炉(3次)、大分製鐵所第2高炉(3次)の工期短縮実績の比較を示す。名古屋製鐵所第3高炉(4次)では従来法に対して改修工期を35日間短縮し、これは27%の工期削減に相当し大幅に改善した。最近改修新技术を適用した君津製鐵所第4高炉(3次)の改修では工期88日、大分製鐵所第2高炉(3次)改修では工期79日と更なる工期短縮を達成している¹⁾。

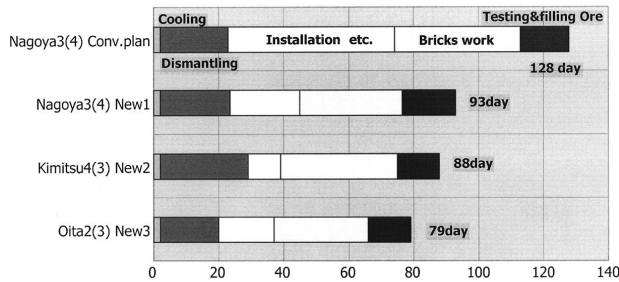


図11 最近の高炉改修の工期短縮実績
Comparison of relining terms Nagoya No. 3, Kimitsu No. 4 and Oita No. 2

6. 結 言

新日本製鐵の最近の高炉改修技術の中で、主要な炉容拡大、長寿命化、鑄床機械化および改修工期短縮の新技术について述べた。これら新技术の採用は大型高炉での生産性や操業安定性の向上および長寿命化等に寄与してきた。特に、高炉寿命では今後25年以上が期待できる。今後も操業技術の一層の高度化を支える設備技術開発を推進し高炉設備技術水準を高めていく所存である。

参考文献

- 1) Miwa, T., Anan, K.: VDEh Blast Furnace Committee. Dusseldorf, 2005, Private letter
- 2) Shiga, A., Nakamura, H., Akagi, K., Omatsu, Y., Higuchi, M.: La Revue de Metallurgie-ATS-JSI. 6(2002)
- 3) Omatsu, Y., Anan, K., Akagi, K., Shiga, A., Nitta, M.: 3rd International Conference on Science and Technology of Ironmaking. 2003, p.376
- 4) Anan, K., Takatani, K., Yadomaru, N., Fujiwara, Y., Nakamura, H.: Asia Steel International Conference-2003. p.1.g.1.1
- 5) 新田法生:ふえらむ .10(8別) 34(2005)
- 6) Nippon Steel Monthly. 132, 1(2003)
- 7) PMD News: (4), 5(2004)
- 8) PMD News: (5), 10(2005)