

---

高炉短期改修技術

Short Term Revamping Techniques of Blast Furnace

秋本 栄治 (Eiji Akimoto) 森本 照明 (Teruaki Morimoto) 金網 照夫 (Teruo Kanetsuna) 藤田 昌男 (Masao Fuzit) 小島 啓孝 (Hirotaka Kojima) 古谷 淳一 (Jun-ichi Furuya)

---

要旨：

当社では 1990 年に水島製鉄所第 3 高炉，91 年に千葉製鉄所第 5 高炉の改修工事を各々 111 日，98 日の短期間で実施した。両高炉の短期改修工事の実現にあたって以下の工法と構造技術を開発した。工程の第 1 番のクリティカルパスとなる炉体工事に対しては，(1) 多段ラップ工法，(2) 鉄皮プレハブ工法，(3) シャフトレンガ薄壁構造，および (4) ステープとレンガの一体型構造である。次にクリティカルパスとなる炉頂装入装置の工事に対しては，(1) 大ブロック据付工法，および (2) 軽量型ホッパー支持構造である。さらに，工事全般にわたり工程と要員を効率的に管理するための工程管理システムを開発した。以上の短期改修工事の実現により，両製鉄所の銑鉄生産量の減少を最小限に押えた。

---

Synopsis：

Both No.3 blast furnace (BF) at Mizushima Works and No.5 BF at Chiba Works of Kawasaki Steel Corp. were relined in 1990 and 1991 respectively. The relinings were performed in the shortest period possible, with a required time of 111 and 98 days respectively. To complete the relining work in such short periods, the following methods and techniques were developed and employed. For work on the BF proper, which was the critical part of the relining: (1) Simultaneous work on separate multiple stages, (2) prefabrication of the BF shell, (3) thin wall construction of the shaft refractory material, and (4) mono-construction of the stove cooler and refractory material. For the material charging equipment of the BF top, which also affected the relining period: (1) Large-block construction method and (2) light weight supporting structure for hoppers. In addition, a well-organized administration system was developed and employed to ensure effective control of the relining work and manpower. As a result, the relining work was performed in the shortest possible period as planned and reductions in production of both BF's were minimized.

本文は次のページから閲覧できます。

## Short Term Revamping Techniques of Blast Furnace



秋本 栄治  
Eiji Akimoto

鉄鋼技術本部 鉄鋼技術部  
高炉改修計画室 室長(部長)



森本 照明  
Teruaki Morimoto

鉄鋼技術本部 鉄鋼技術部  
高炉改修計画室 主査(部長補)



金網 照夫  
Teruo Kanetsuna

エンジニアリング事業部  
鉄鋼技術部 主査(部長補)



藤田 昌男  
Masao Fujita

水島製鉄所 プロセス開発部  
開発設計室 主査(課長)



小島 啓孝  
Hiroataka Kojima

鉄鋼技術本部 鉄鋼技術部  
高炉改修計画室 主査(課長補)



古谷 淳一  
Jun-ichi Furuya

鉄鋼技術本部 鉄鋼技術部  
高炉改修計画室 主査(掛長)

### 1 緒 言

当社では1953年に千葉製鉄所に第1高炉を建設して以来、千葉と水島の両製鉄所で10本の高炉の建設と19回の改修を自社エンジニアリングを主力に実行してきた。これら建設と改修は計画から火入れまで短期間に遂行することが目標の一つであった。現在水島においては3基、千葉においては2基の大型高炉が稼働しており、1990年3月の水島3高炉および1991年9月の千葉5高炉の改修では特に工期の短縮が重要課題であった。当社では本格的な改修は1980年以来11年ぶりであり、この間、高炉改修を取り巻く環境は大きく変化した。すなわち、格段に高くなった工事安全管理レベルと工物品質要求、および改修工事業者の縮小化と労働者の全般的な高齢化等である。

本稿では、これら諸問題を克服し改修工事を短期化するために適用した技術を紹介する。

\* 平成4年10月13日原稿受付

### 要旨

当社では1990年に水島製鉄所第3高炉、91年に千葉製鉄所第5高炉の改修工事を各々111日、98日の短期間で実施した。両高炉の短期改修工事の実現にあたって以下の工法と構造技術を開発した。工程の第1番のクリティカルパスとなる炉体工事に対しては、①多段ラップ工法、②鉄皮プレハブ工法、③シャフトレンガ薄壁構造、および④ステーブとレンガの一体型構造である。次にクリティカルパスとなる炉頂装入装置の工事に対しては、①大ブロック据付工法、および②軽量型ホッパー支持構造である。さらに、工事全般にわたり工程と要員を効率的に管理するための工程管理システムを開発した。以上の短期改修工事の実現により、両製鉄所の鉄鉄生産量の減少を最少限に押えた。

### Synopsis:

Both No. 3 blast furnace (BF) at Mizushima Works and No. 5 BF at Chiba Works of Kawasaki Steel Corp. were relined in 1990 and 1991 respectively. The relinings were performed in the shortest period possible, with a required time of 111 and 98 days respectively. To complete the relining work in such short periods, the following methods and techniques were developed and employed. For work on the BF proper, which was the critical part of the relining: (1) Simultaneous work on separate multiple stages, (2) prefabrication of the BF shell, (3) thin wall construction of the shaft refractory material, and (4) mono-construction of the stove cooler and refractory material. For the material charging equipment of the BF top, which also affected the relining period: (1) Large-block construction method and (2) light weight supporting structure for hoppers. In addition, a well-organized administration system was developed and employed to ensure effective control of the relining work and manpower. As a result, the relining work was performed in the shortest possible period as planned and reductions in production of both BFs were minimized.

### 2 改修概要

水島製鉄所3高炉(3次)と千葉製鉄所5高炉(4次)の設備仕様をTable 1に示す。各々の改修規模をTable 2に示すように、水島3高炉が111日、千葉5高炉が98日の短期改修であった。

#### 2.1 水島3高炉(3次)

今回の改修で炉内容積を拡大するとともに、溶銑コスト低減対策と設備の長寿命化のために設備の新鋭化を図った。主な改修内容を列記すると次のようになる<sup>1)</sup>。

- (1) 炉内容積を3363 m<sup>3</sup>から4359 m<sup>3</sup>に拡大

Table 1 Specifications of Mizushima No. 3 BF and Chiba No. 5 BF

Item	Mizushima No. 3 BF	Chiba No. 5 BF
Inner volume (m <sup>3</sup> )	4 359	2 584
Top pressure (Pa)	30 × 10 <sup>4</sup>	20 × 10 <sup>4</sup>
No. of tuyeres	36	30
No. of tap holes	4	2
Hearth brick	Carbon (6 layers) High-alumina (1 layer)	Carbon (4 layers) High-alumina (2 layers)
Brick (bosh to shaft)	SiC brick	SiC brick
Cooling device	Spray (hearth) Stave & cooling plate	Spray (hearth) Stave & cooling plate
Furnace top	Bell-less type	3 bells type

Table 2 Construction scale

	Mizushima No. 3 BF	Chiba No. 5 BF
Revamping period (d)	111	98
Dismantled weight (t)	22 200	8 096
Erection weight (t)	13 477	7 204
Labor (man-hour)	1 157 000	56 400

- (2) 炉体の鉄皮, ステープおよび耐火物を一式更新
- (3) シャフト上部にステープを新設
- (4) 炉頂装入装置はベル式を3パンカー式ベルレスに変更
- (5) 鋳床は作業環境改善のため床を平坦化
- (6) 同じく省力のための機械化および自動化
- (7) 熱風炉でのレンガの保熱管理と弁類の補修
- (8) 原料切出設備に粒度管理設備を新設
- (9) メータ室の全面改造およびCRTオペレーションの導入
- (10) 水砕設備を一式改造

## 2.2 千葉5高炉(4次)

劣化更新の単純改修が基本的方針であった。そのため炉内容積は現状を維持し、生産能力と設備機能も改修前と同様にした<sup>2)</sup>。

- (1) 炉体鉄皮は損傷の大きいシャフト部を更新
- (2) 炉底々板はガスリーク防止対策のため全面改造更新
- (3) 炉口の鉤石受け金物は再使用し、損耗部にプロテクターを新設
- (4) ステープ, 冷却板, 耐火物は一式更新
- (5) シャフト上部にステープを新設
- (6) ステープ冷却水は環水から純水強制循環式に変更
- (7) 炉頂装入装置は工場にてオーバーホールし再使用
- (8) 鋳床床構造は劣化の著しいコンクリート構造を一部鉄骨に改造
- (9) 電気・計装設備はCPUを更新し, CRTオペレーションを導入
- (10) 熱風炉は保熱管理

## 3 短期改修のための適用技術

### 3.1 短期改修総合エンジニアリングの発揮

短期改修の完遂には Fig. 1 に示すとおり, 工事工法を早期に計画し, 必要工事量を積み上げて工期を決定し, 設備設計へそれらをフィードバックさせることが重要である。また, 吹き出し前に工事を出来るかぎり先行施工し, 本工事期間中の工事量を削減することも必要である。今回の改修では本工事工法として, 多段ラップ工法, 大ブロック工法, プレファブ工法等を採用し, さらに後述する新技術を取り入れた<sup>3)</sup>。

### 3.2 吹き出し解体

解体工程に大きな影響を与える炉内々容物を最小限とする対策と

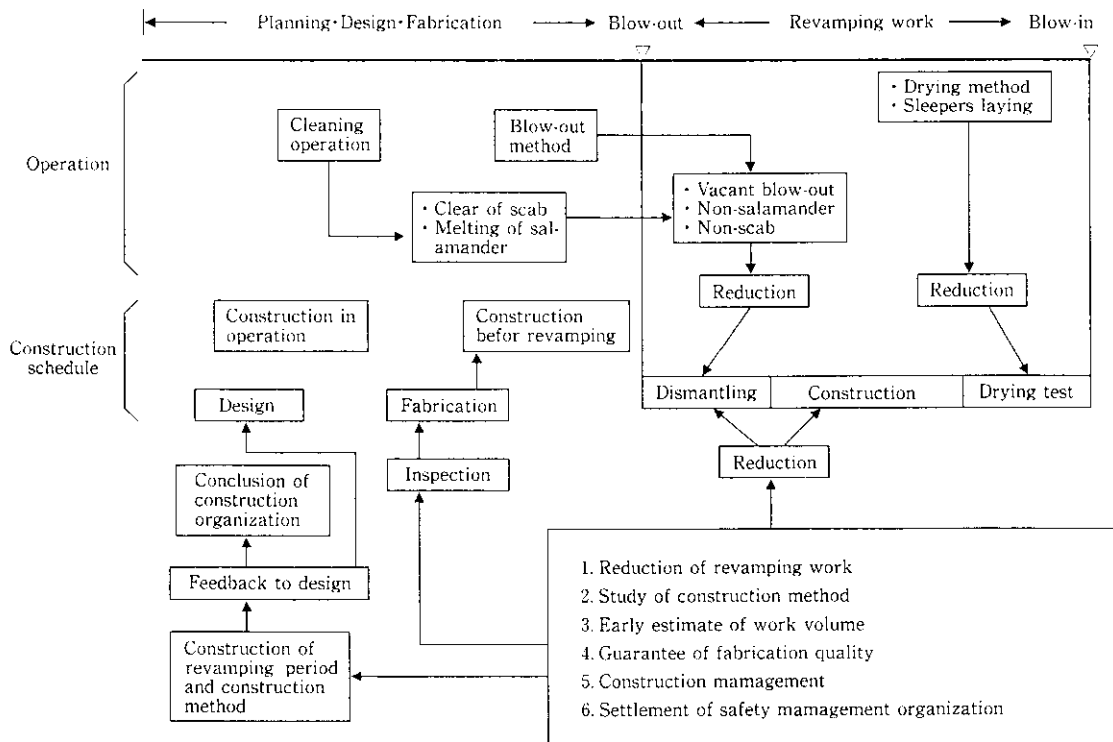


Fig. 1 Total engineering of short term revamping

して炉内壁面の付着物を操業中に除去する「クリーニング操業」と羽口レベルより上部を空にする「空炉吹き出し操業」を実施した。さらに、炉底に残留する溶銑を臨時の出銑口と樋を設置し抜き取る臨時出銑作業を行い、解体量の軽減を図った。尚、吹き出し前には境界要素法により炉底侵食ラインの推定を行い、残銑量の予測をしている。水島3高炉では臨時出銑口を2箇所設けた。このうち1箇所には連続式受銑装置を3台のトビード間に設置し、樋の切替をせずに連続して3台のトビードに受銑した。もう1箇所は緊急用として砂場で溶銑を流す樋を設置した。

### 3.3 多段ラップ工法

下部安全天井、上部安全天井および炉口開閉扉（安全天井）の設置により、

- (1) 炉頂装入装置の据付
- (2) 炉頂～シャフト上部鉄皮内工事（ウェアリング金物取付、シャフトレンガ積み等）
- (3) シャフト鉄皮内工事（ステーブ取付、シャフトレンガ積み等）
- (4) 炉底鉄皮内工事（炉底レンガ積み等）

の上下4段ラップ工法の実施を可能にした。Fig. 2は多段ラップ工法の工事用設備の施工例を示す。なお、工事用設備は極力軽量化を図るとともに移設使用と多機能化によって、工程短縮に寄与させた。

### 3.4 高炉鉄皮の据付

水島3高炉では、鉄皮の工場製作ブロックを大型化して、現地取り込みブロック数を最少にすることで工程短縮を図った。ここに示す例は高炉の最下部のベースプレート、ハース鉄皮、炉底冷却配管および底板受けH形鋼をプレファブ化し大ブロック化したものであ

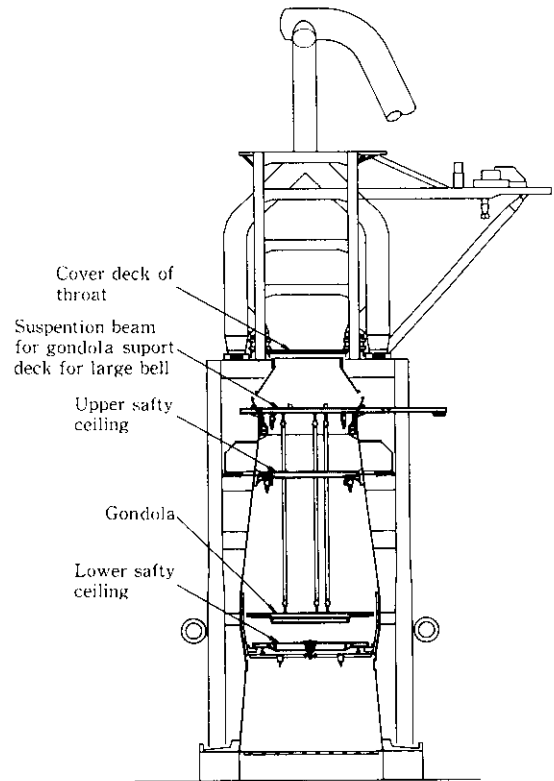


Fig. 2 Simultaneous construction

る。Photo 1は高炉への取り込み状況を示すものである。このブロックの大きさは高さ1.5m、幅6.4m、長さ19m、重量が65tであった。従来はプレハブ前の鉄皮を現地で組み立てていたが、この工

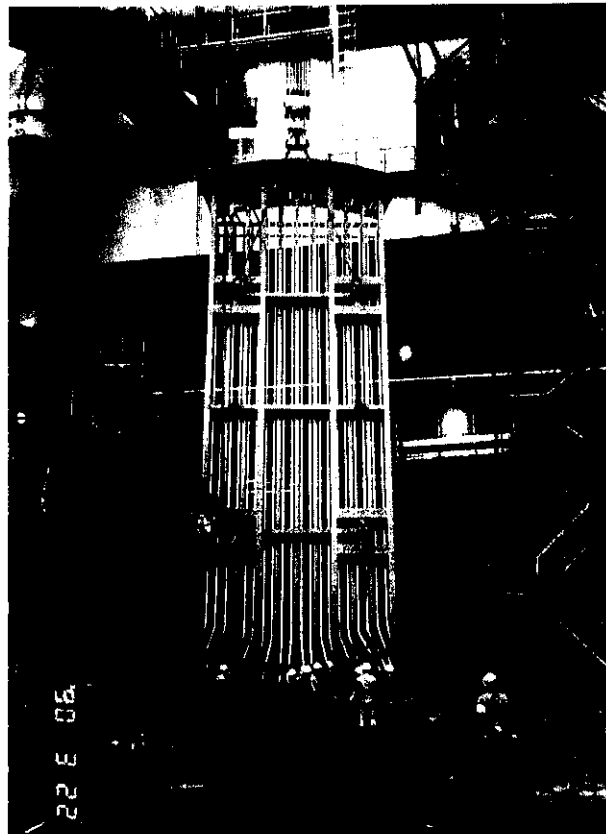


Photo 1 Erection of furnace shell

法により工期を5日間短縮することが出来た。

### 3.5 炉体冷却設備の据付および炉壁レンガ積

短期改修工事達成には、本工事における現地工事量削減が大きなポイントである。今回の改修での炉体冷却設備の据付および炉壁レンガ積みに関する採用技術を以下に述べる。

#### 3.5.1 炉体冷却設備の据付

ステーブおよび冷却板を大型化し、取付枚数を削減するとともに、炉体鉄皮、ステーブおよび冷却板の製作・据付精度向上を図った。製作精度を向上させることは、現地の組立て据付作業における寸法調整作業と手直し工事を無くし工事量を減らすことになる。この方法により、ステーブ1段当り12時間の短縮、ステーブ据付工程全体では5日間の工期短縮の成果を上げた<sup>9)</sup>。

#### 3.5.2 炉壁レンガ積み

炉壁における問題として、シャフト上部から炉口部の炉壁ではオールコックス操業で熱負荷が増大し、炉壁レンガの損耗が増し、炉況に影響を及ぼしている。一方、シャフト下部では炉壁レンガの早期脱落があり、ステーブの破損が発生し鉄皮の赤熱やき裂が発生していたのが過去の状況である。これらの問題に対して、炉壁レンガの支持構造を強化し、炉内プロフィールの長期安定維持を図るとともに、工期短縮化を図る目的で以下の技術を採用した。

##### (1) シャフト上部構造

炉内面側に、工場にてキャストブルを施工したステーブを設置し、現地におけるシャフト上部のレンガ積み工事を不要とした。シャフト上部からの熱損失を少なくするため、断熱効果を考慮しこの部位のキャストブルは150 mm厚とした。ステーブ形状をF型とし、キャストブルの保持機能の強化を図った。

##### (2) シャフトレンガ薄壁化構造

ステーブと冷却板の併用によりレンガ支持機能を向上させ、レンガ1枚積み構造を計画し、シャフト部に採用した。この技術により、シャフトレンガの重量、すなわちレンガ積み工事量を減らし、3日間の工期を短縮した。ステーブは水冷強化型とし、鋳物の強度低下と損耗およびき裂防止を図り、ステーブの長寿命化を

図った。

また、銅製冷却板を4段配置し炉壁レンガ支持を強固にした。炉壁レンガ積みをSiC質レンガ層積み(炉壁厚さ380 mm)とし、材質と冷却効果から操業中におけるレンガ損耗速度を遅くすることにより、長期炉壁プロフィールの安定維持を図った。

##### (3) NCD (new cooling device) の採用

炉体冷却の強化および炉壁レンガの支持機能を強化することにより炉壁の長寿命化を図り、さらに据付工期の短縮を目的として、炉体冷却設備と炉壁レンガを一体化したNCDを開発し、実炉テストを実施した。据付工事の実績では、従来のステーブ据付工程と同程度で施工でき、今後の改修工事における、現地でのシャフトレンガ積み施工を無くす技術を進展させることが出来た。NCDの特徴としては次の2点である。

- (a) ステーブ、銅製冷却板および炉壁レンガを工場で組み立て、一体構造で炉体鉄皮に据付ける。
- (b) ステーブ鋳込管のコーティング材を改良し、伝熱特性を従来品の4~5倍向上を狙う。

Fig. 3に炉壁構造断面図を示す。

### 3.6 炉頂装入装置の据付

#### 3.6.1 装置の特徴

水島3高炉では、ベルレス装入装置を採用するに当たって、装入物分布制御性と操業弾力性に優れた並列3バンカー式を開発した。この装置は、装入物の流量調整ゲートのダイナミック制御機能と、小塊の焼結鉱とコークスの多配合を可能とする多バッチ装入機能を有していることが特徴である。装入装置全体の全体構成をFig. 4に示す。改修工期を短かくするために装置の設計には次の点に配慮した。すなわち、バンカーの形状を縦長にし既設梁組内に納めることにより現地梁改造工事を最少限にし、また装入コンベヤーの高上げ工事を不要にするため低ヘッド型のシール弁を開発設置した。

#### 3.6.2 バンカー支持構造

バンカー直胴部ではバンカーとバンカーの間隙がほとんどないため、コーン部に三叉形状の支持梁を考案し設置した。バンカーの地

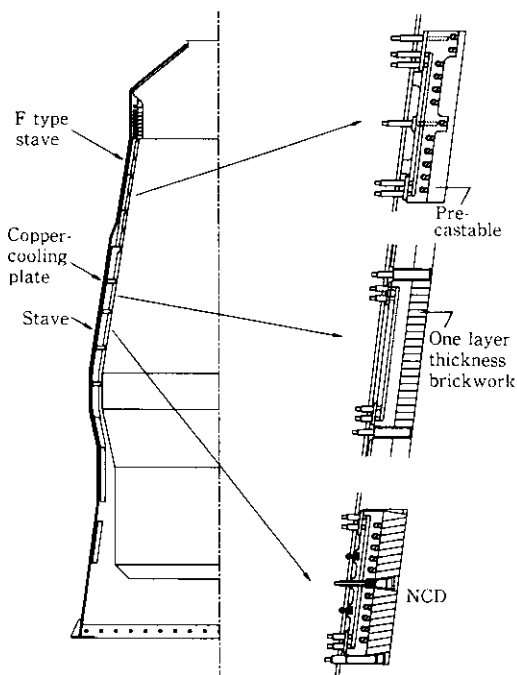


Fig. 3 Furnace cooling device

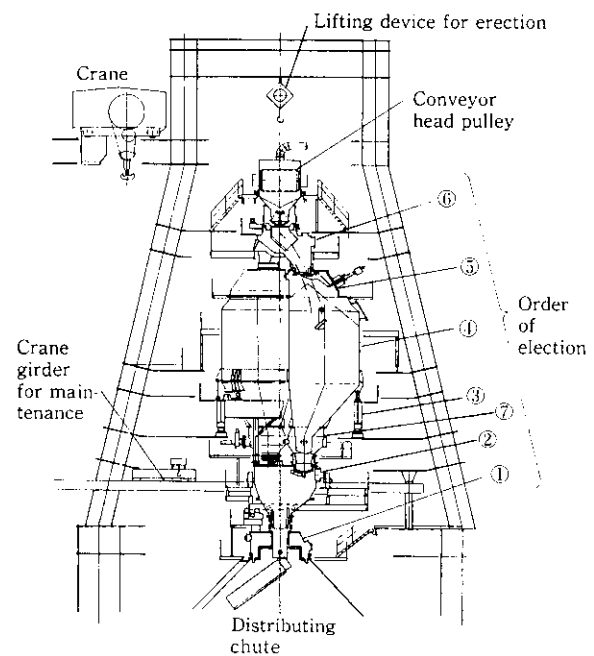


Fig. 4 Outline of the 3-parallel-bunker bell-less top at Mizushima No. 3 blast furnace

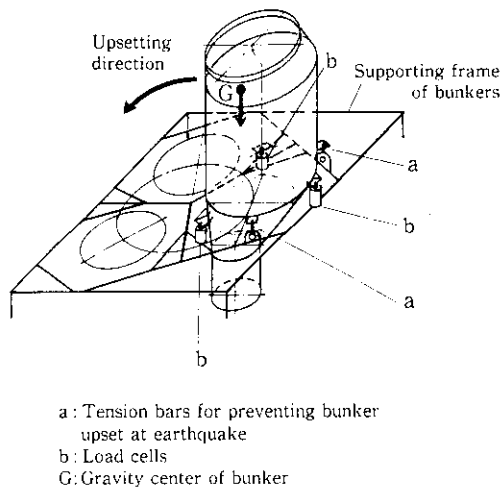


Fig. 5 Supporting device of bunkers

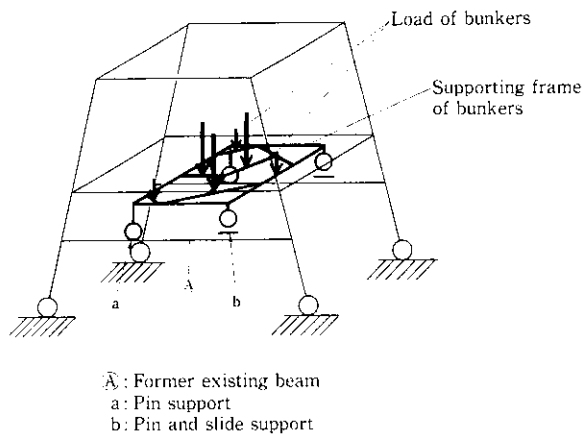


Fig. 6 Analytical model of supporting frame of bunkers

震時転倒モーメントを吸収するため Fig. 5 の a に示すテンションバーを設けた。バンカーの荷重は3基で最大810tとなり、この過半の荷重が三叉形状の梁に作用するため KBSD システム（当社開発の高炉構造解析システム）で強度チェックを行った。Fig. 6 に解析モデルを示す。

本システムは、炉体、炉体冷却設備及び支柱の構造解析を行い、かつ CAD と連結して自動的に図面まで作成することが出来る。Fig. 7 に旋回シュート交換用の炉口鉄皮開口部の解析モデル例を示す。

当社ではこのシステムを短期改修計画のツールとして有効的に活用している。

### 3.6.3 装入装置の据付方法

装置は、炉頂クレーンと上部架構最上に設けた揚重機により、可能な限り一体取込を実施した。特に工期短縮に有効であった対策は次の点である。

- (1) 架構関係改造で、可能なものは改修前工事とした。
- (2) バンカー支持フレームは工場組立とし、現地一体取込とした。
- (3) バンカーのライナー等は吊荷重限度まで事前に取付け、現地工事を極力減らした。
- (4) シール弁は3基分を治具で一体化して、現地据付した。
- (5) メンテナンス用走行ビームを装置取込に活用した。

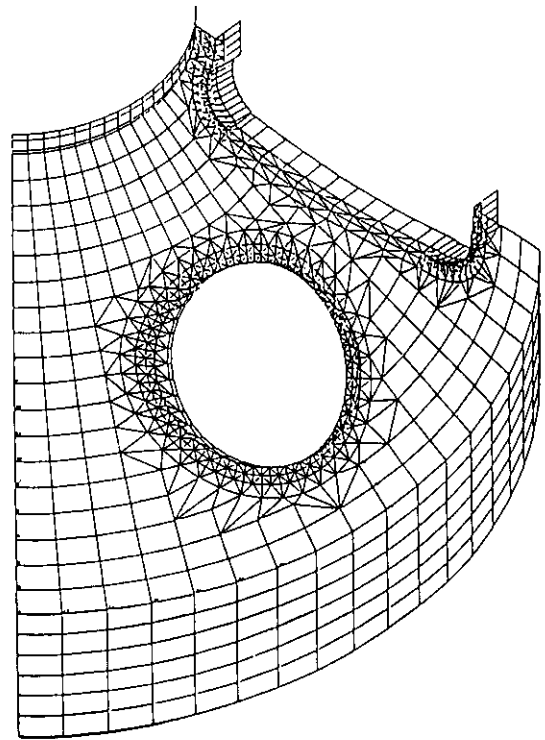


Fig. 7 Model for stress analysis of furnace top shell

## 3.7 工事管理システム

短期改修を最少の人数と最短の工期で実現するためには従来にも増して、工事諸管理のシステム化が重量課題であった。そこで、短期改修の業務効率化と次期改修時のエンジニアリングデータ収集を目的に、労務安全管理システム、予算管理システム、工事工程表作成システム等を開発し、それらを工事管理業務支援ツールとして活用した。ここでは労務安全管理システムについてその概要を述べる。

### 3.7.1 労務安全管理システムの概要

本システムは、高炉改修工事の工期の予定と実績のずれ、投入人員、安全上の指導状況等をタイムリーに把握し、主に労務および安全面から工事の進捗管理を行う。これは六つのサブシステムから構成されている。Fig. 8 にシステム全体構成図を示す。本システムは、日々発生するデータをコンピュータテーブルに入力し、工事管理のため必要なデータは毎日、週、月単位に集計して、出力データを人間が見て判断するシステムである。

### 3.7.2 工事管理システムの効果

本システムを水島3高炉の短期改修工事に適用した結果、工事管理、工事安全管理、予算管理のタイムリーな現状把握と、その対応が可能となり、短期改修工事の円滑な推進に寄与した。また、本システムの運用により、従来に比べて2名のスタッフ要員削減となった。

## 4 結言

水島製鉄所第3高炉と千葉製鉄所第5高炉の改修で工期を短縮するために適用した技術について報告した。主な内容は以下のとおりである。

- (1) 改修工期に大きな影響を与える炉体の解体および据付工法では多段ラップ工法、鉄皮の大ブロック据付、ステーブと炉壁レ

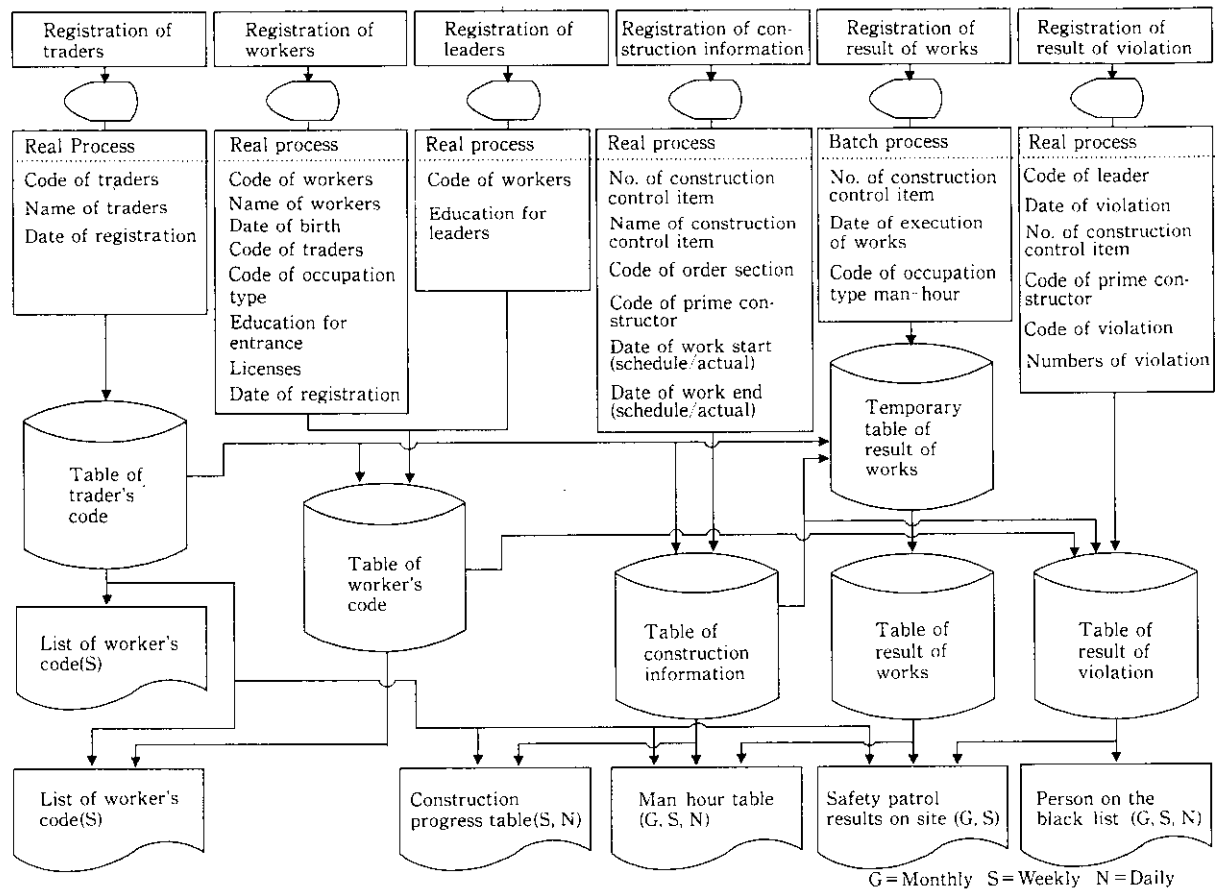


Fig. 8 General organization flow work of Blast Furnace Repair Works Control System

ソガの一体据付，シャフトレンガの薄壁化が工期短縮に有効であった。

- (2) 水島3高炉は改修時に炉頂装入装置形式をベル式からベルレス式に変えたが，工期短縮のために支持梁の改造工事を最少限とする設計を行うとともに装置の大ブロック据付工法を採用した。
- (3) 改修工事にたずさわるスタッフ業務の効率化と，工事状況を

タイムリーに把握し管理するために開発した工事管理システムが工期短縮に有効であった。

以上のように両高炉は111日と98日の短期改修を実現したが，火入れ立上げも順調で設備トラブルもなく操業が続いている。当社では今後も水島，千葉で高炉の改修が予定されており短期改修の必要性はますます強くなる。本報で紹介した技術をさらに進展させ将来の改修に適用する所存である。

#### 参考文献

- 1) M. Ohgami, T. Uetani, Y. Senoo, M. Yamazaki, H. Fujimori, and S. Tamura: "Revamping and Operation of Mizushima No. 3 Blast Furnace", 50<sup>th</sup> Ironmaking Conference, AIME, Washington (USA), (1991)
- 2) 川崎製鉄: 日本鉄鋼協会共同研究会第47回設備技術部会資料，私信
- 3) K. Tokuda, H. Fujimori, T. Morimoto, K. Kogure, S. Taniyoshi,

and T. Uetani: "The engineering and management of short term revamping at Mizushima No. 3 blast furnace," The Management and Engineering of Plant Improvements II, The Institute of Materials, London, (1992)

- 4) 秋本栄治, 金網照夫, 小島啓孝, 古谷淳一, 松本敏行: 材料とプロセス, 5 (1992) 4, 1132