

オールブロック工法を用いた更新工期短縮技術

Short-Term Renewal Technology Using “All Block Construction Method”

高橋 功 TAKAHASHI Isao JFE スチール 西日本製鉄所（倉敷地区）設備部 開発・設計室 主任部員（副部長）
藤井 貴将 FUJII Takamasa JFE スチール 東日本製鉄所（千葉地区）設備部 熱延設備室 主任部員（副課長）

要旨

製鉄所における大規模建設工事は、生産阻害を最小化すべく徹底した建設工期の短縮が求められている。従来からの技術として、高炉改修に代表される、設備を5つ程度のブロックに分割し事前に製作し据え付けを行う「大ブロック工法」が確立されているが、その機械据付精度は±10 mm 以内であり、製缶精度までの適用にとどまっていた。JFE スチールは、「オールブロック（機械設備一体）工法」を開発し、機械据付精度±0.1 mm 以内を要求される精密機械設備の据付工事へ適用を拡大、更新工期を大幅に短縮した。

Abstract:

In large-scale construction work at steelworks, it is required to radically shorten the construction period so as to minimize the production impediment. The conventional technology, “Large block construction method” which the equipment is manufactured with about 5 division blocks and installed, was established as representative of blast furnace refurbishment. However, its machine installation accuracy was within ±10 mm and was limited to the level of boiler manufacturing. JFE Steel has developed “All Block (Integrated Machine Equipment) Construction Method”, and has expanded its application to installation work of precision machinery equipment which requires mounting accuracy of machines within ±0.1 mm. It greatly shortened the renewal term.

1. はじめに

JFE スチールの各製鉄所における大規模建設工事は、生産阻害を最小化すべく徹底した建設工期の短縮が求められており、従来からの技術として、高炉改修に代表される、設備を5つ程度のブロックに分割して事前に製作し据え付けを行う「大ブロック工法」が確立されているが、その機械据付精度は±10 mm 以内であり、製缶精度までの適用にとどまっていた。近年、機械据付精度±0.1 mm 以内を要求される、精密機械設備の据付工事への適用が求められるようになってきた。本論文では、従来の「大ブロック工法」を発展させた JFE スチールオリジナルの「オールブロック（機械設備一体）工法」を開発し、製鉄所内の各種建設工事へ適用することで世界最短の建設工期を達成した事例について紹介する。

2. 従来の更新工期短縮技術

2.1 高炉改修「大ブロックリング工法」¹⁾

高炉は地上高 110 m、総重量約 10 000 t の大型構造物である。高炉の改修工事とは、炉体本体を解体し新たに組み立てる工事である。従来の高炉改修工法は、炉体を数十トン

単位で 500～1 000 のブロックに分けて解体・組み立てを行う労働集約的な工法であったが、「大ブロックリング工法」は、事前に新しい炉体を 3～4 分割した約 2 000 t の大ブロックを製作しておき、改修時にはブロックの搬送と接合作業のみを行う画期的な工法である。図 1 に従来の改修工法を、図 2 に大ブロックリング工法を示す。

JFE スチールでは、1998 年の千葉地区第 6 高炉改修以降、表 1 に示すとおり、大ブロックリング工法により従来 130 日前後であった改修期間を大幅に短縮した。

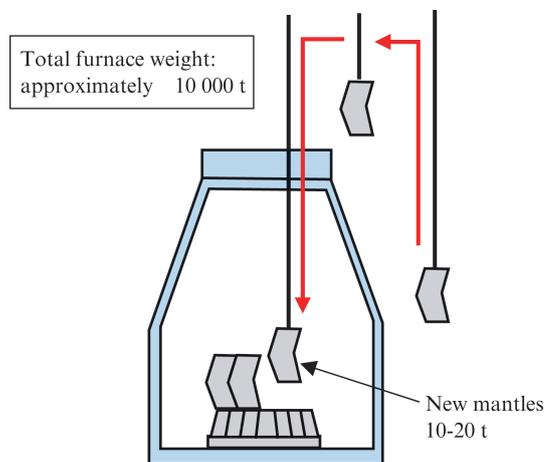


図 1 従来の高炉改修工法

Fig. 1 Conventional renewal method

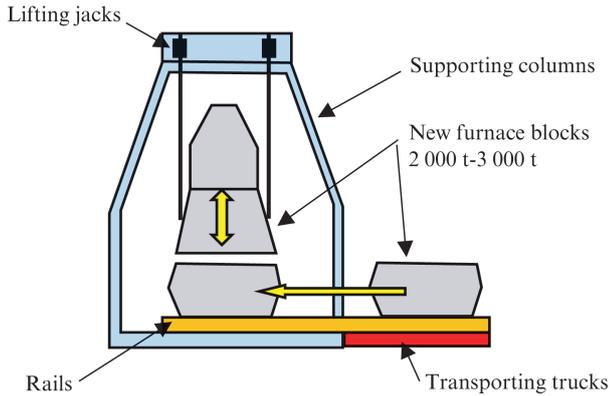


図2 大ブロックリング工法

Fig. 2 Large block ring construction method

表1 大ブロックリング工法による高炉改修期間

Table 1 Renewal duration by large block ring method

	Chiba No.6 BF	Kurashiki No.4 BF	Kurashiki No.2 BF	Fukuyama No.5 BF
Renewal duration (day)	62	70	75	58
Renewal time (year)	1998	2001	2003	2005
Inner volume (m ³)	5 153	5 005	4 100	5 500

2.2 大ブロック工法の成果

JFE スチールの各製鉄所では、高炉改修をはじめとして冷延プロセスの酸洗ラインタンク更新など溶接構造設備を対象に大ブロック工法を適用し、従来工法による更新工期を約30~50%短縮し、生産阻害の最小化を達成してきた。

また、安全に関し、従来工法では高所や狭隘な作業現場で多数の作業員を動員し、解体や組み立て作業を順次行っていたが、大ブロック工法では現地作業が従来に比べ半減し、作業リスクが大幅に低減した。

3. オールブロック工法の開発

3.1 大ブロック工法の課題

JFE スチールでは、溶接構造設備の新規建設や更新工事を対象に大ブロック工法を適用し一定の成果を上げてきたが、その機械据付精度は±10 mm以内と製缶精度までの適用にとどまっていた。

近年、JFE スチールの各製鉄所では設備稼働後40~50年が経過し、各製造プロセスの精密機械設備の更新の必要性が高まっていることから、大ブロック工法の適用拡大が求められてきた。

上記の課題を達成するためには、機械据付精度±0.1 mm以内を要求される精密機械設備の据付工事と超大重量物の

ハンドリングを両立する新たな工法の技術開発が必要であった。

3.2 オールブロック工法開発のコンセプト

従来の大ブロック工法は機械設備を5分割程度のブロックで製作し現場で順次据え付ける工法であるが、オールブロック工法は事前にオフラインで機械設備一式を組み立てた後で設備一体で据え付ける工法である。

オールブロック工法を実現する上で必要な技術を以下に示す。

- (1) 設備一体吊り上げを考慮した機械本体剛性設計技術
数百トン以上になる機械設備一式を吊り上げる際に発生する設備のたわみや応力の許容値を定量化し反映した装置設計。
- (2) 超大重量物機械設備の一体ハンドリング技術
数百トン以上になる機械設備一式を輸送する際に発生する大荷重を分散させ、安全で安定した装置搬送ができる工事設計。

3.3 千葉 3TCM 入側溶接機更新

3.3.1 背景

千葉地区 3TCM は、レーザービーム溶接機（以下 LBW）により、先行板と後行板の先尾端を突合せ溶接することで、連続的に通板し冷間圧延可能な自動車用鋼板製造ラインである。近年、自動車用鋼板分野では、車体軽量化を目的として、強度が優れ薄物化が可能な高張力鋼板（ハイテン）の需要が高まっている。しかしながら、既設 LBW の溶接最小板厚は、設備仕様上の限界で 1.8 mm であった。お客様からのハイテン薄物化の要請に応えるためには、LBW の溶接最小板厚を 1.0 mm まで薄くすることが必要であった。そこで、既設 LBW を一式更新し、新たな LBW を導入した。

更新に際しての重要な課題の一つに、ライン停止を伴う連続工事期間の短期化がある。お客様への製品デリバリーを考慮すると、ライン連続停止期間（シャットダウン：以下 SD）を 10 日間以内とすることが必須であった。また、LBW は製品板幅全幅に渡って先尾端の突合せ機械精度 0.1 mm 以内を保証する精密機械設備である。したがって、上記課題の達成のためには、機械据付精度 0.1 mm を確保しながら、大重量物の一体据付を可能とする、オールブロック工法の技術開発が必要となった。

3.3.2 従来工法とその問題点

3.3.2.1 従来工法の概要

これまで、他地区の LBW 更新工事では、既設 LBW の前後に空きスペースがあることから、この空きスペースを利用して新 LBW を事前に据え付けし、既設 LBW との切り替えを実施するというパララン工法を採用していた。これにより、既設 LBW で生産を継続しながら、計画的保全のための定期 SD（以下、定修または大定修）時に、数回に分けて新 LBW

の据付を行うことができた。従来のパララン工法は工事が分散できるため、1回の大定修は、通常の4~6日間程度に収めることができた。また、新LBW据付後は、既設LBWと新LBWのいずれかを選択したパララン運転が可能となるため、新LBW据付後の溶接品質を確認する試運転においても、生産障害を最小化することができた。

3.3.2.2 従来工法の問題点

千葉地区3TCMは1972年に稼動し、1988年にLBWおよびルーパー等を設置して完全連続ラインへ改造した。このLBWの前後には設備が隣接しており、空きスペースがなかった。したがって、従来のパララン工法が採用できず、既設LBWを撤去した後で同じ位置に新LBWを据え付ける、完全リプレース方式による更新が必要であった。また、LBW上部に通板設備がある設備配置となっており、クレーンによる吊上げ工事を行うためには、上部設備の取外しから復旧までの付帯工事が必要であった。以上を含めると、更新工事にかかるライン連続SDは31.5日間と長期間に及ぶものと見積もられた。3TCMのライン概要を図3、他地区TCMと3TCMの設備配列を図4に示す。

3.3.3 オールブロック工法の技術開発

完全リプレース方式でのライン連続SD31.5日間を10日間まで大幅に短縮するため、以下のオールブロック工法技術を開発した。

- (1) LBW 上部通板設備の簡易着脱構造化改造
- (2) 新LBW 一体吊上げ荷重によるLBW 本体強度設計
- (3) 天井クレーン 2台共吊りによるLBW の一体据付工法
- (4) 新LBW 発振器の事前設置および立上げによる試運転短縮

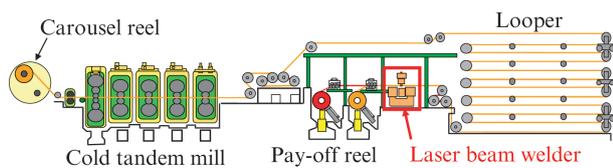


図3 千葉3TCMライン概要
Fig. 3 Outline of 3TCM facilities

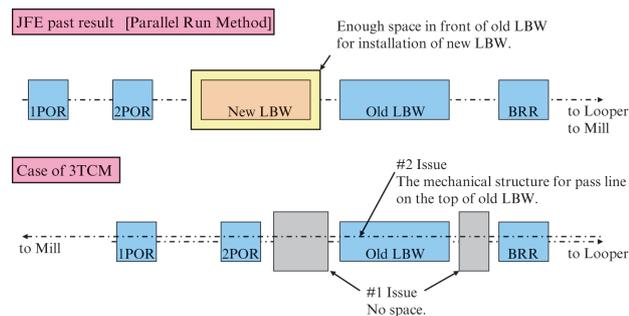


図4 他地区TCMとの設備配列比較
Fig. 4 Issue for the LBW setup

(5) 新LBW オフライン事前設置および溶接テストによる溶接条件の確立

本論文では、新LBWの一体据付工法に関する(1)、(2)について紹介する。

3.3.3.1 LBW 上部通板設備の簡易着脱構造化

LBW 上部は、ルーパーからミルまで通板されるリターンパスがある2階構造となっていた。このリターンパスには既に不使用となっていた遊休設備があった。このため、LBWを天井クレーンにより一体で吊り上げるためには、LBW上部にある遊休設備および2階デッキ架構類を全て撤去、復旧することが必要であった。このことは本工事が長期化する最大の要因となっていた。

そこで、更新事前工事として、遊休設備の撤去を定修工事ごとに分散して実施した。これにともない、既設通板設備を、サポートロールとテーブルによる簡易なものに改善できた。さらに、LBW 上部の2階デッキ架構はボルト締結構造であったが、ピン接続構造に改善し、本工事での取外しおよび復旧時間の最短化を図った。これにより、当該作業日数を当初見込みの6.5日間から見直し計画の0.8日間まで削減できるめどをつけた。

3.3.3.2 新LBW の一体据付工法

冷延セクションにおける一体据付工法の従来技術として、薬液設備のラインタンクなど要求精度が±10 mm以内のものはよく知られている。今回対象としたLBWは本体重量約100 tで要求精度が±0.1 mm以内の大型精密機械であり、吊り上げ時のたわみや応力集中により、事前に調整された精度を損なう可能性があった。そこで、設計段階から一体据付を考慮し、LBWのフレームの剛性を向上させ、コモンベースとフレーム間のリニアウェイへ強度向上品を採用した。また、専用の吊り治具を設計し、吊点を8箇所設けることで応力の分散化を図った。さらに、C型キャリッジの倒れ防止用にバックアップローラを追加設置する設計とした。これらにより、LBW 一体吊りのFEM 応力解析を行った結果、発生応力の設計許容応力以下、シャー切断精度の許容ひずみ0.1 mm 以下を達成した。また、事前にオフラインで試し吊りを実施し、バランス異常がなく、リニアウェイのひずみ量は0.09 mmで許容値以内であることを確認した。新技術をまとめたものを図5、FEM 応力解析結果例を図6、リニアウェイのひずみ量を図7に示す。

当初、オンラインでのLBW 本体組立に4.5日間かかる想定していたが、この一体据付工法により、オフラインで事前組立を完了することが可能となり、本工事期間での本体組立を2.2日間まで短縮出来た。特に、オフラインにあるLBWを天井クレーンにより一体で吊り上げてからオンライン上へ下ろして設置するまでに要した時間は、わずか2時間であった。実際の一体吊り時の写真を写真1に示す。

3.3.4 成果

上述した複数のSD短縮アイテムの技術開発により、ライ

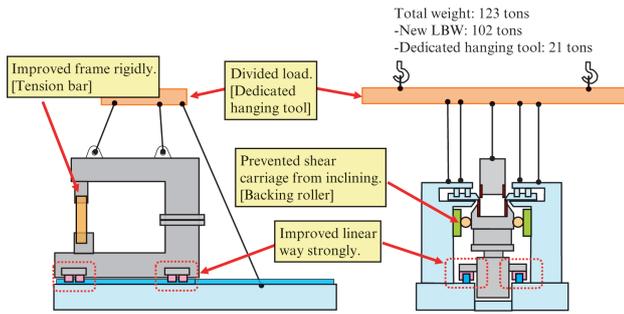


図5 LBW 一体据付技術
Fig. 5 New technology

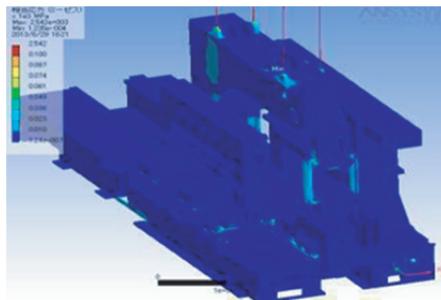


図6 LBW 自重によるFEM 応力解析結果例

Fig. 6 Example of FEM analysis of deformation due to LBW weight

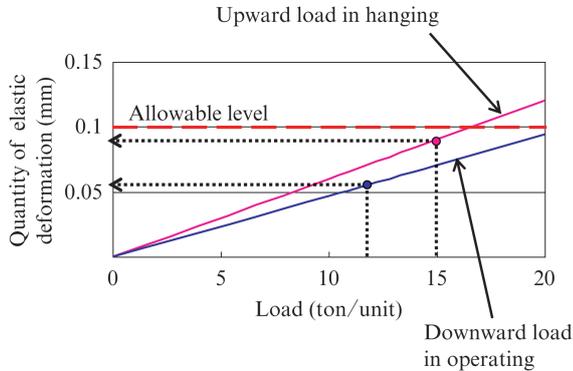


図7 リニアウェイひずみ量

Fig. 7 Quantity of elastic deformation

ン連続SDは当初計画31.5日間から見直し計画10.0日間、実績9.7日間となり、世界最速でLBWを更新できた。本工事の工程を図8に示す。

3.4 倉敷厚板ミルハウジング更新

2012年に、倉敷地区の厚板工場で圧延機ハウジングポスト部の破断が発生し、溶接復旧により操業を再開した。その後、ハウジング亀裂への抜本対策として、2014年に圧延機ハウジングを一式更新した。

ハウジング更新工事は既存圧延機位置での入れ替えとなるため、厚板ラインを長期間にわたって停止する必要があり、

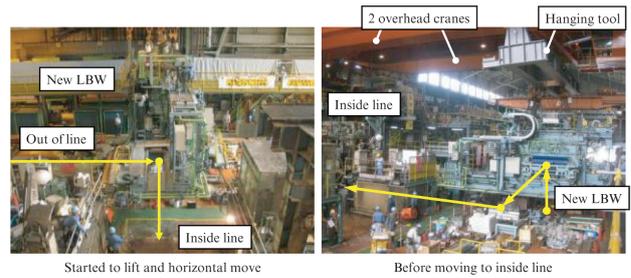


写真1 LBW 一体吊り状況

Photo 1 Actual hanging LBW of preassembled set

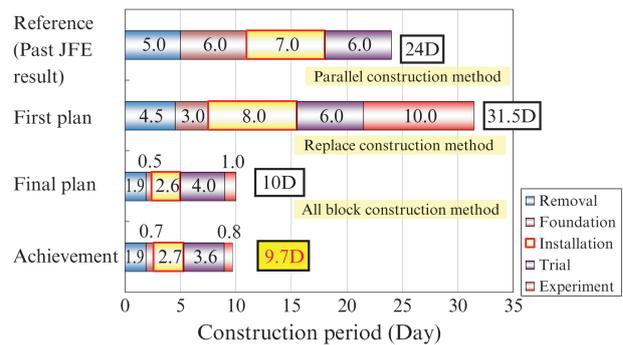


図8 LBW 更新工事工程

Fig. 8 Construction schedule table

新たな工法開発による大幅な更新期間の短縮が求められた。

3.4.1 従来の工法

圧延機を更新する際に一般的に用いられていた工法は、以下のとおりである。まず、既存の天井クレーン等を用いて、圧延機を部品毎に分解して取り外した後に、最重量物であるハウジングを取り外す。次に、新しいハウジングの取付台のベッドプレートを基礎上に設置しハウジングを据え付け、続いて構成部品を取り付ける。図9に従来の工法を示す。

天井クレーンを用いて1台あたり400tのハウジングを建て起し、ベッドプレートへの据え付けを行い、据付基準精度内におさまるように、垂直、ライン通り芯、直交芯を調整し、ベッドプレートに固定する。その後、圧延機の構成部品を順次取り付けるため、60日程度のライン停止が必要であった。

3.4.2 圧延機ハウジング一体据付工法の開発

今回の厚板ミルハウジング更新では、ライン停止期間を最短化するため、オフラインで圧延機スタンドの完全組み立てを行い、一体で横引き搬送し、ジャッキダウンによる一体据付を行うオールブロック工法を採用した。

図10にオールブロック工法の概要を示す。

オールブロック工法を採用するにあたって、以下の技術を開発した。

- (1) 旧ハウジングのブロック解体技術
- (2) 新ハウジングの一体横引き搬送技術
- (3) 新ハウジングの一体ジャッキダウン据付技術

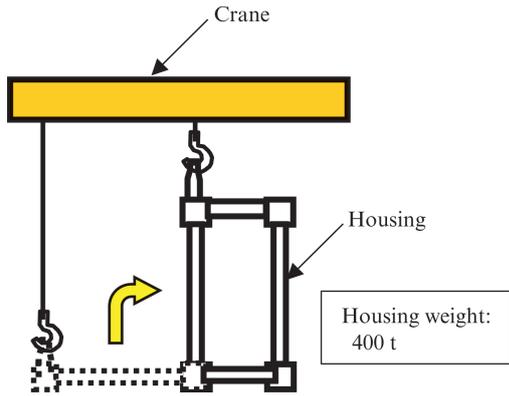


図9 従来のハウジング据付工法
Fig. 9 Conventional renewal method



写真2 ハウジングユニット一体横引き搬送
Photo 2 Actual transporting housing unit

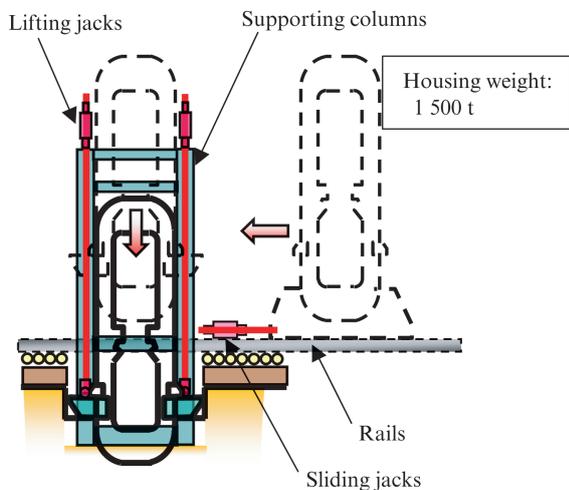


図10 ハウジング一体据付工法
Fig. 10 All block construction method

本論文では、圧延機ハウジング一体据付工法に関する(2)、(3)について紹介する。

3.4.2.1 一体横引き搬送技術

1台あたり400tのハウジングと、ハウジングの取付台と、ハウジングの上部を連結するセパレータを持つハウジングユニットを、工場の屋外に設けた搬送台車を兼ねた仮組み架台上で組み立て、据付基準精度内におさまるように、垂直、ライン通り芯、直交芯を調整した。

これを一体で異動させるためには、ジャッキダウン用の架台を含めて1500tの超大重量となるハウジングユニットを、所定の圧延機据付場所へ短時間で安全に搬送できる一体横引き技術の開発が必要であった。

ハウジングユニットは、圧延テーブルロール上に設けた搬送用レール上を、油圧ジャッキを用いて約90m摺動搬送する。

搬送用レールについて、1500tの荷重を分散させ、発生応力を許容応力以下とし、かつたわみ量を許容値の1/600以下となるよう鋼構造設計を行った。

今回の工事におけるハウジングユニットの一体横引き搬送の時間は、わずか3時間であった。

実際の一体横引き搬送時の写真を写真2に示す。

3.4.2.2 一体ジャッキダウン据付技術

本技術の概要を以下に示す。まず、一体横引き搬送で所定の据付位置に搬送したハウジングユニットを、あらかじめユニットに取り付けたジャッキダウン用の架台ごと油圧ジャッキで支持する。その後、横引き搬送で使用した搬送台車及び搬送レールの取り外しを行い、ハウジングユニットをジャッキダウン用架台に設置した昇降装置によって吊り下げた状態で保持する。さらに、昇降装置を下降させることで、あらかじめ基礎上に配置したレベリングプレートへ着床させ、基礎ボルトを締結することでハウジングユニットの据付が完了する。

ハウジングユニットのジャッキダウン用の昇降装置には、ストランドジャッキ装置を8台使用した。ストランドジャッキ装置は、1台あたり直径28.6mmのワイヤ8本を装備しており、合計64本のワイヤの下降量を同調制御することが必要であった。各ワイヤに装備したリニアエンコーダで下降量を常時検出し、各ワイヤの下降速度を一定に保つようワイヤチャック機構の油圧をコントロールすることで、下降量の同調制御を行うことができた。

今回の工事では、ハウジング下降時の水平精度を1mあたり0.4mm以内の傾き(目標0.5mm以内)で制御し、ハウジングユニットの事前組立精度を維持したまま据え付けることができた。

実際の一体ジャッキダウン開始時の写真を写真3に、一体ジャッキダウン完了後の写真を写真4に示す。

3.4.3 成果

上述したハウジングユニット一体搬送技術、ハウジングユニット一体ジャッキダウン据付技術の開発により、ライン停止時間を従来工法と比較して20日間短縮し、停止実績40日間と世界最速で厚板ミルハウジングを更新した。本工事



写真3 ハウジング一体ジャッキダウン開始
Photo 3 At the start of jack down



写真4 ハウジング一体ジャッキダウン完了
Photo 4 At the end of jack down

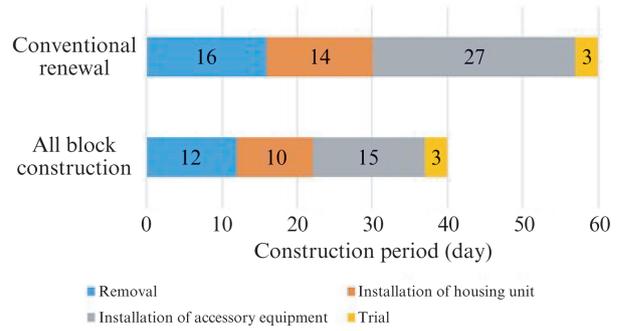


図11 厚板ミルハウジング更新工事工程
Fig. 11 Construction schedule table

の工程を図11に示す。

4. おわりに

本報では、JFE スチール各製鉄所における大規模建設工事の建設工期短縮技術について紹介した。今後とも要求精度の高い製造設備の開発や高経年化に伴う製鉄設備の老朽更新が継続していく中、お客様への安定した製品供給のため、建設工事の短縮技術開発を積極的に推進していく。

参考文献

- 1) 藤田昌男, 徳田敬一郎, 小島啓孝. 大型高炉の超短期改修技術. JFE 技報. 2006, no. 11, p. 1-8.



高橋 功



藤井 貴将