

高炉改修技術の変遷と 超短工期改修への挑戦

～シングルブロック工法技術の確立～

Transition of blast furnace relining technology,
and challenge to a super-short term relining technology
～Establishment of single-module method of relining technology～

田後 宏記 Hiroki TAGO
北九州技術センター 工事管理技術部
マネジャー

高崎 洋 Hiroshi TAKASAKI
北九州技術センター 工事管理技術部
ゼネラルマネジャー

鈴木 和生 Kazuo SUZUMOTO
北九州技術センター 工事管理技術部

後藤 学 Manabu GOTO
北九州技術センター 工事管理技術部
プラント工事計画室長

抄 録

高炉は稼働後15年から20年で寿命を迎え、改修工事を行っている。過去の改修工事では120日以上を要していたが、改修工事期間中の生産減を抑制するため、改修工期の短縮が求められている。2000年の大ブロック工法技術の確立は、改修工事に大きな変革をもたらした。その後も短工期改修技術は進化し、2009年には68日まで大幅に改修工期を短縮した。更にその後の技術開発により、高炉本体と櫓を一体で入れ替える超大ブロック工法で改修工期を50日程度まで短縮する技術を確立することに成功した。

Abstract

A blast furnace comes to the end of its life in 15 to 20 years after blowing-in, and restored by a relining work. In conventional methods, it took 120 or more days to complete a relining work but, in order to avoid the decrease of output during the relining work; it had been a demand of the industry to reduce the term of a relining work. In the year 2000, a large-module method was established, relining work brought major changes. Even then, the term of relining work was reduced to 68 days by the short-term renovation technology advances in the year 2009. Due to further technical development, relining work is successful in reducing to period 50 days by establishing super large-block method technology that blast furnace and structure are exchanged at single block.

1 緒言

高炉は稼働後15年から20年程度で寿命をむかえ、改修工事(炉体更新)を行っている。従来工法は、高炉炉体を全面更新する際に、短冊

状のピースに分割して解体及び据付を行っていた(以下、短冊工法)。短冊工法では、昼夜突貫工事でも120日以上もの改修工期を要していた。

改修工事期間中の生産減を極力抑えたいという客先ニーズのもと、改修工期の短縮に努めてきた。

新日鉄住金エンジニアリング技報2010年 Vol. 1では、2000年の新日本製鐵(株)(現 新日鐵住金(株))名古屋製鉄所第3高炉(4次)改修工事(以下、N3R(4))で実施した大ブロック工法の採用から、改修工期短縮技術を進化させ、2009年に実施した新日鐵住金(株)大分製鉄所第1高炉(4次)改修工事(以下、O1R(4))では、解体時に炉内に残っている内容物を炉体と一体で引き出す工法(以下、炉底一括搬出工法)及び炉底マンテルブロックに煉瓦を事前に施工し、煉瓦施工品質を確保したまま搬送する技術(以下、炉底煉瓦事前臙装技術)を採用し、改修工期を68日まで短縮できたことを紹介した。

当社は更なる改修工期短縮への開発を継続し、2016年3月にインド国JSW DOLVI第1高炉で、炉内容積の大幅な拡大を短期間で行う要求に答えるため、高炉本体と炉体槽を一体で交換する工法を実行し成功させた。本稿では、高炉改修工事技術の変遷とJSW DOLVI第1高炉で実行した超短工期工法について述べる。

2 高炉改修工法の推移と短工期工事技術の変遷

大ブロック工法の確立以降、高炉改修工法は大きく発展した。大ブロック工法は2000年のN3R(4)で初めて採用され、工事工法の大きなターニングポイントとなった。その後の工事技術の進歩により、O1R(4)では、改修工期を68日まで短縮することに成功した。表1に高炉改修工事に適用した工法技術の推移を示す。

表1 工法技術の推移
Table 1 Transition of blast furnace relining technology

| | 大分1高炉 3次改修 | 名古屋3高炉 4次改修 | 君津4高炉 3次改修 | 大分2高炉 3次改修 | 名古屋1高炉 5次改修 | 大分1高炉 4次改修 | |
|--------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 改修工事年 | 1993年 | 2000年 | 2003年 | 2004年 | 2007年 | 2009年 | |
| 改修工事日数 | 124日 | 93日 | 88日 | 79日 | 83日 | 68日 | |
| 炉内容積 | 改修前 | 4,125m ³ | 3,424m ³ | 5,151m ³ | 5,247m ³ | 4,650m ³ | 4,884m ³ |
| | 改修後 | 4,884m ³ | 4,300m ³ | 5,555m ³ | 5,775m ³ | 5,443m ³ | 5,775m ³ |
| 改修工法 | 短冊工法 | 大ブロック工法 | | | | | |
| 炉底マンテルブロック解体 | 発破工法 | | | 炉底一体引出工法 | | | |
| 炉底マンテルブロック重量 | | 500トン | 980トン | 3,100トン | 3,500トン | 10,000トン | |
| 炉底煉瓦事前臙装重量 | 事前臙装なし | | 80トン | 1,348トン | 2,350トン | 2,500トン | |

2-1 炉底一括搬出技術

2-1-1 ジャッキアップ式炉底一括搬出技術

炉底一括搬出技術は大ブロック工法の確立後、内容物の撤去期間の短縮を目的として開発された。新日鐵住金(株)大分製鉄所第2高炉(3次)改修(以下、O2R(3))で、高炉操業中に炉体のコンクリート基礎部を切断し、吹き止め後、炉体周りに設置した油圧ジャッキで内容物を含む約3,100トンの炉底マンテルブロックのジャッキアップを行い、ジャッキアップで得られた空間にスライドプレートを挿入し、センターホールジャッキ(以下、CHJ)で基礎の横に設置した搬送用仮設架台上まで横引きする工法である。



図1 ジャッキアップ式炉底一括搬出工法
Fig. 1 Integral hearth pullout method by jacking up

2-1-2 ジャッキアッププレス式炉底一括搬出技術

ジャッキアップ工法では、ジャッキアップ可能な重量に限界があるため、ジャッキアップを行わずに炉底マンテルブロックを横引き搬出するジャッキアッププレス式炉底一括搬出工法を開発した。この工法は、炉体のコンクリート基礎部に空間を形成し、図3の様にスライドプレートを挿入した後、高炉操業荷重を支えるためにスライドプレートの上部の空間には充填材を注入する。ジャッキアッププレス式炉底一括搬出工法は、新日鐵住金(株)名古屋製鉄所第1高炉(5次)改修(以下、N1R(5))で採用し、約3,500トンの炉底マンテルブロックの一体搬出が可能となった。

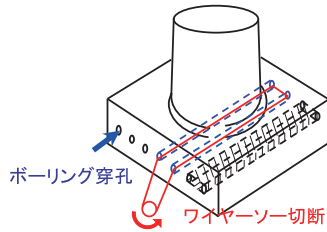


図2-1 コンクリート基礎切断方法
Fig. 2-1 Technique of cutting the concrete foundation

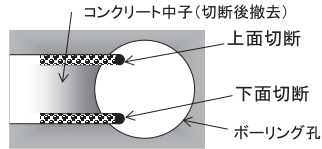


図2-2 2層切断概要
Fig. 2-2 Schematic view of 2-layer cutting

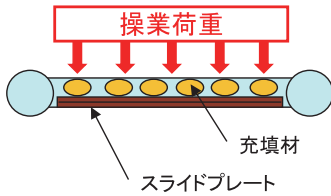


図3 荷重支持方法
Fig. 3 Technique of supporting the load

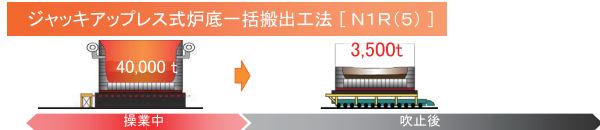


図4 ジャッキアップレス式炉底一括搬出工法
Fig. 4 Integral hearth pullout method without jacking up

2-1-3 ドーリーレス式炉底一括搬出技術

ジャッキアップレス式炉底一括搬出工法では、搬送用仮架設台上に横引きされた炉底マンテルブロックをドーリーで高炉エリア外へ運搬を行っていたが、ドーリーの搬送可能重量には限界があるため、炉底マンテルブロック横引き前に内容物をドーリー搬送可能重量以下になるまで撤去する必要があった。そこで、内容物撤去工程を短縮するために、バランスビーム上に炉底マンテルブロックを引き出した後、更にCHJでバランスビームと炉底マンテルブロックを一体で高炉エリア外まで地上を横引きするドーリーレス式炉底一括搬出技術を開発した。O1R(4)では、約10,000トンの炉底マンテルブロックを120m移動させることに成功した。

このドーリーレス式炉底一括搬出技術の開発により、従来発破等で解体していた高炉内に残った内容

物解体の危険作業が不要となり、安全面においても非常に貢献することができる。

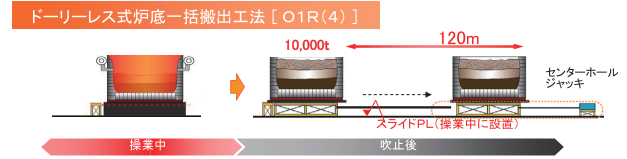


図5 ドーリーレス式炉底一括搬出工法
Fig. 5 Integral hearth pullout method without dolly

2-2 炉底煉瓦事前艤装技術

炉底煉瓦事前艤装技術は、地組場で炉底マンテルブロックに煉瓦を艤装して煉瓦の施工品質を確保したまま搬送・据付を行う技術であり、改修中の煉瓦積期間の短縮を図るものである。マンテルブロックの搬送方法は、以下の二つに大別される。

- (1) 地組場から炉体基礎横までのドーリーによる搬送
- (2) 炉体基礎横から基礎上までの圧空式浮上搬送装置による浮上搬送

これらの搬送の際に、艤装された煉瓦構造体に欠陥を生じさせないことが必要である。(1)のドーリー搬送では、炉底マンテルブロックを積載しているバランスビームの剛性アップにより、マンテルブロックの変形を抑制することが可能である。(2)の圧空式浮上搬送装置による浮上搬送の際には、搬送時に水平に浮上させ、マンテルブロックに与える変形を許容範囲内に抑える制御技術を開発した。

この技術は、新日鐵住金(株)君津4高炉(3次)改修(以下、C4R(3))で確立され、その後の改修工事では事前艤装範囲及び重量の拡大を進め、従来の1.5倍の能力を持つ圧空式浮上搬送装置の開発により、O1R(4)では、煉瓦艤装重量2,500トンを含む、総重量4,100トンの炉底マンテルブロックを搬送することができた。

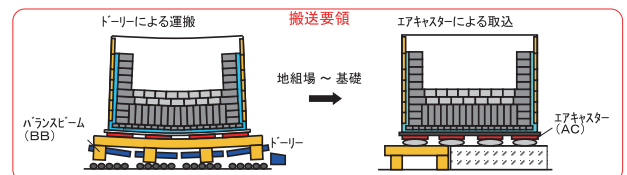


図6 炉底マンテルブロック搬送概要
Fig. 6 Schematic view of transferring the hearth shell block

3 超短工期工法への挑戦

3-1 超短工期工法の開発

JSW DOLVI 第1高炉改修(以下D1R)は、生産量を大幅に増加させるための炉容積拡大と短期間での工事完了を実現することが客先の要求であった。設備計画の結果、この生産量を確保するには、炉内容積を2,581m³から4,323m³へ拡大することが必要で、同時に高炉槽も拡大更新することが必要との結論となった。

従来の大ブロック工法は、炉体を4~5つのブロックに分割し、高炉槽に設置したCHJで仮吊りしたのち、それぞれのブロック毎に搬出入を行うもので、高炉槽を流用することが前提となる。そのため、D1Rで大ブロック工法を採用する場合、図7に示す既設高炉槽解体・据付からCHJ設置までの期間がクリティカル工程となることから、大ブロック工法では短工期改修は困難であると判断した。

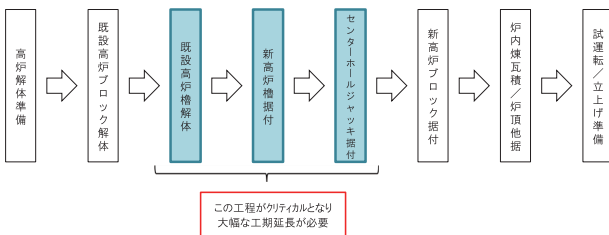


図7 大ブロック工法工事手順
Fig. 7 Construction procedure for large-module method

しかしながら、客先の短工期での高炉改修工事の強い要求に対し、従来の大ブロック工法の技術と経験から短工期に向けた検討を重ね、世界初となる高炉の炉体と槽を一体で搬出入を行う工法(以下、シングルブロック工法)を提案し、採用することが決定した。

3-2 シングルブロック工法概要

D1Rで採用した、シングルブロック工法のイメージを図8に示す。

新設高炉を操業中に既設高炉の近くで高炉槽、高炉本体及び付帯設備、炉内の耐火物施工まで完了させる。また、既設高炉は操業中に基礎切断工事等を行い、解体準備を完了させる。

高炉操業停止後、炉頂設備の解体、高炉設備の搬出に支障となる設備との縁切りや撤去を行った後、ドーリーレス式炉底一括搬出技術を使用し、既設高炉は高炉本体と槽を一体の状態では切断された基礎と一緒にCHJにてバランスビーム上まで移動させる。次に既設高炉と搬送用架台を一体で、新高炉設備の搬入に支障のない位置まで移動させる。

既設高炉設備の撤去が完了したのち、既設高炉付近で搬送架台上に築造された新高炉設備を搬送架台と一緒に高炉基礎横まで移動させる。そして、搬送架台上の高炉本体設備を、高炉基礎上へ移動させる。新高炉が基礎上の定位置に設置された後、炉頂

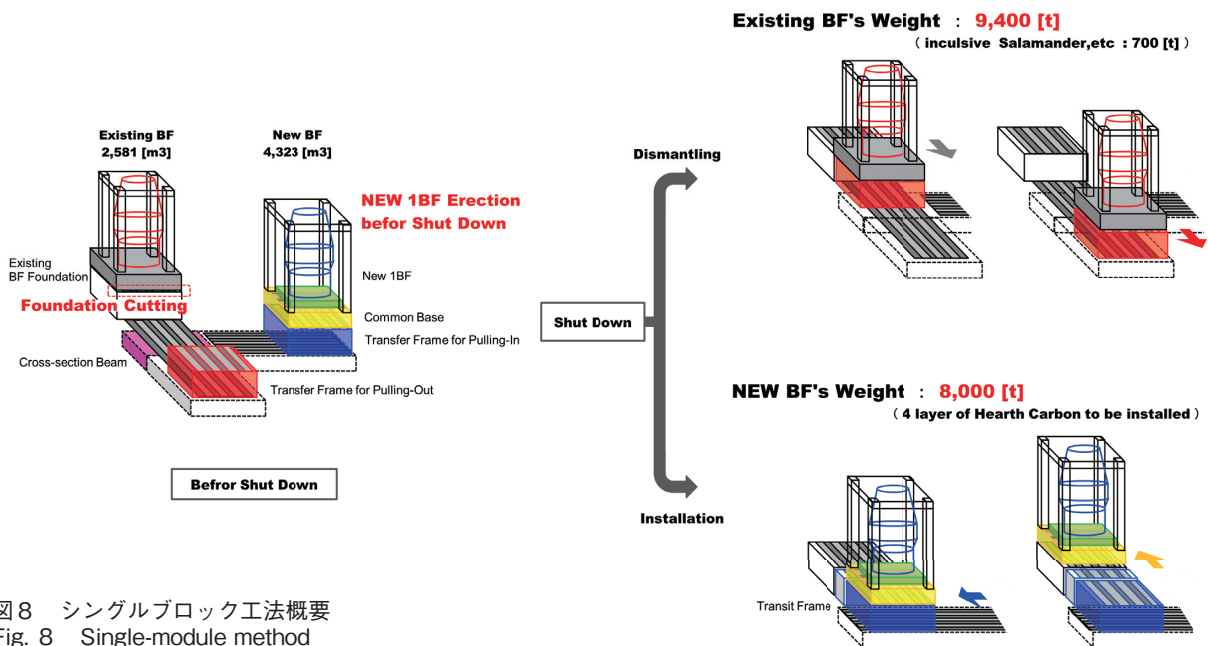


図8 シングルブロック工法概要
Fig. 8 Single-module method

設備等の据付や周辺設備との接続を行い改修工事が完了する。

このシングルブロック工法採用による工期短縮効果は、O1R(4)実績の68日工程と比較すると、解体準備(ブロック分割不要効果) - 2日、既設高炉解体 - 4日、新高炉据付 - 3日、煉瓦積及び炉頂設備据付(煉瓦積事前儀装効果) - 9日、合計18日程度の工程短縮が期待できる。つまり、シングルブロック工法採用により高炉改修工期は50日程度まで短縮することが期待できる。

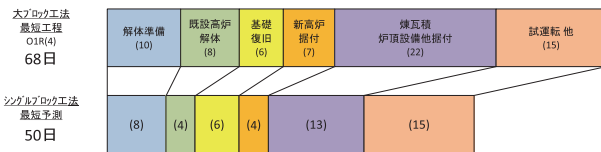


図9 改修工事工期比較(大ブロック工法-シングルブロック工法)
Fig. 9 Comparison construction period for relining work (Large-module method-Single-module method)

4 シングルブロック工法実現への取組

シングルブロック工法は、当社が持つ従来の高炉改修の大ブロック工法の技術をベースとして、過去の実績よりも大幅に搬送サイズ及び重量が増加することやレイアウトの制約による既設及び新高炉ブロックの移動のための搬送技術を開発する必要があった。

4-1 新高炉ブロック事前組立

新高炉ブロックは、炉前の既設高炉の搬出と干渉しない位置で高炉操作中に組立てられる。新高炉ブロックの移動に使用する搬送架台上に、高炉と櫓の共通ベースを設置し、その上に炉体櫓を組立てる。高炉本体設備は、事前にいくつかのリング状に組立て、ドリーで新高炉ブロック搬送架台横まで移動させる。ドリー上から高炉基礎への移動は、CHJにて横引きし、高炉櫓上に設置されたCHJで吊りあげられる。この作業を繰り返し、高炉本体ブロックを完成させる。

次に、高炉炉内では煉瓦積を行い、炉外では各床デッキや付属設備及び冷却配管の据付を並行して行う。更に熱風環状管及び送風支管の据付も行われ、

新高炉ブロックは事前にはほぼ全ての機器の据付を完了させる。(図10)

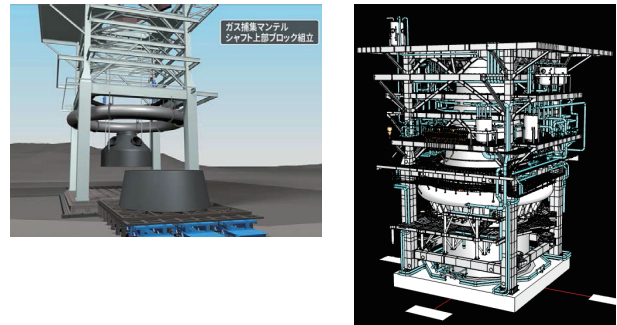


図10 シングルブロック事前組立
Fig. 10 Preliminary assembly for single module

4-2 高炉ブロック移動レール構造

シングルブロック工法では、ブロックの重量が約10,000トンになるため、新高炉ブロック築造やブロック移動するためのエリアには、ブロック荷重に耐えられる強度の基礎築造が必要となる。また、基礎上でブロックがスライドするための高い水平制度を確保したスライドレールを設置しなければならない。

ブロックが移動する範囲には、図11の様に基礎上に高い精度でレールを設置し、周辺をコンクリートで埋め十分な強度を持つ。そのレール上にスライド面となるプレートレベル調整を行い固定し、モルタル材で空間を埋める。走行面となるプレートの取り付け精度は平坦度5mm以内とし、プレートの繋ぎ部は溶接により接続し、グラインダーで凹凸を無くすことで、長距離でも移動が可能となる。

また、既設高炉ブロック及び新高炉ブロックを搬送する架台のレールとの摺動面には、摩擦抵抗が低いライニング材を張ることで、大重量物を搬送する場合でも非常に小さな力で安定的且つ容易に移動できる構造とした。

次に、既設高炉ブロック及び新高炉ブロックがレール上を移動する時に、移動方向に対し横方向にずれると、搬送架台下に設置した低摩耗ライニングがレールから外れ安定した移動ができなくなるため、横方向のズレを抑える必要がある。この対策として、図12のように移動方向に対し平行にガイドブロックを取付け、移動レール側にガイド溝を連続的に構築することで横方向へのズレを抑えることが可

能となる。このガイドブロックは前後2ヶ所以上に設置することで、移動の安定性及び高精度を確保することができる。



図11 スライドレール(写真)
Fig. 11 Sliding rail

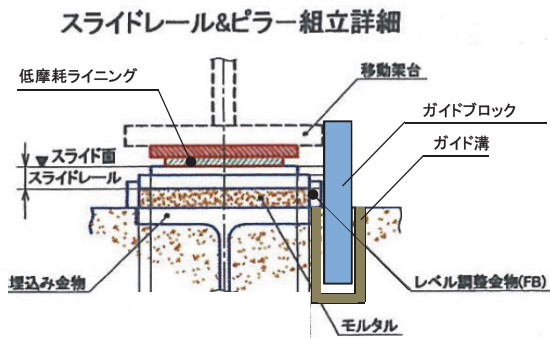


図12 スライド機構とガイドブロック
Fig. 12 Sliding mechanism & guide block structure

4-3 既設高炉ブロックと新高炉ブロックの切替え方法

DIRでは現場レイアウトより図7のように、既設高炉ブロックは直線的に移動させ、新高炉ブロックは既設高炉ブロックの移動に干渉しない位置に配置するため、搬送途中で方向転換が必要となる。

既設高炉ブロックは、従来のドーリーレス式炉底一括搬出技術を採用し、高炉稼働中に基礎切断作業及び搬送架台の組立を行い、移動させることが可能と判断した。しかしながら、新高炉ブロックの移動では、移動途中で方向転換は初めての試みであり技術的課題となった。

この課題を解決する手段として、新高炉の事前組立は、まず搬送架台を移動レール上で組立て、その上に新高炉と槽の共通架台を据付ける。次に、共通

架台上に新高炉と槽を組み立てる。この新高炉ブロックは、図13に示す様に、まず新高炉ブロックを搬送架台と共に、高炉中心の延長線上までCHJで一次引き込みを行う。この時、新高炉ブロックと高炉基礎の間の空間には、乗継架台を設置し高炉基礎に埋め込まれた移動レールと同じ高さとなるように調整し接続する。

次に、図14に示す様に、新高炉ブロックは乗継架台と新高炉ブロック用搬送架台を接続する。この時、搬送架台は乗継架台及び高炉基礎と同じ高さになるように設計されているため、同一のレベルで接続することができ、この面がブロックを移動するレールとして使用できる。その後、共通架台を高炉基礎上に設置されたCHJで二次引き込みを行うことで、高炉基礎上の所定位置まで新高炉ブロックを搬送することが可能となる。

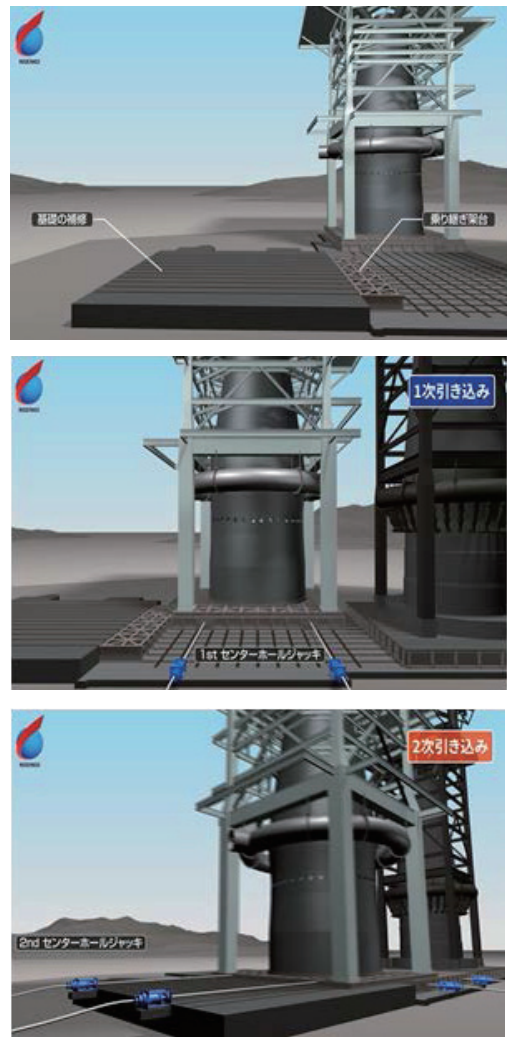


図13 新高炉ブロック搬送方法
Fig. 13 New furnace module transferring method

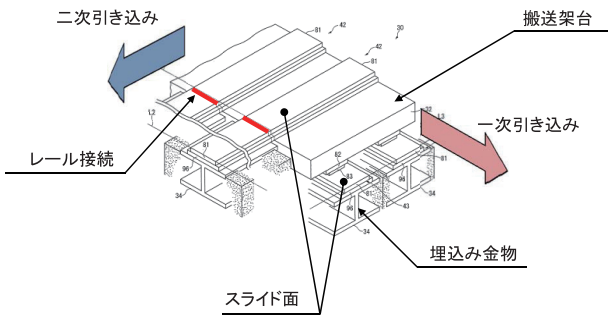


図14 新高炉ブロック搬送切替方法
Fig. 14 Change-over method for new furnace module

4-4 シングルブロック工法の確立と今後の可能性

D1Rで実行したシングルブロック工法は、当社の高炉設備の短工期改修工事技術の新たな挑戦であった。従来の短工期工事技術を発展させ、高さ約50m、重量約10,000トンの構造物を短工期で入れ替えるための新技術を開発し成功させたことは、当社の工事技術の大きな一歩となった。

このシングルブロック工法を採用することで、高炉の炉内容積を大幅に拡大しても、高炉本体と槽を一体で入れ替えることが短工期で実施できることから、設備設計の自由度を飛躍的に高めることができる。

今回のD1Rでは、シングルブロック工法は高炉本体及び高炉槽のみに適応したが、将来的には高炉本体だけでなく、炉頂設備も含めた高炉設備一体での搬送を行い、更なる工期短縮の可能性を持つ工法である。



図15 シングルブロック工法実績(写真)
Fig. 15 Single-module method records

5 結言

これまでの高炉改修工期短縮への取組みと最新の改修工事技術について述べた。大ブロック工法確立以降、大型重量物の搬送技術開発への挑戦を継続し、高炉改修工事技術は飛躍的な進歩を行うことができた。最新のシングルブロック工法の成功により、高炉改修工期は大ブロック工法を初めて採用したN3R(4)に比べ、1/2程度まで短縮することが可能となった。

今後も、客先の改修工期短縮のニーズに答えるべく、当社が持つ短工期工事技術の活用と、新たな技術開発に取り組んで行く。