

高炉改修技術の変遷と最新の短工期改修技術

Transition of blast furnace relining technology, and latest short-term relining technology

須藤 雄二* 製鉄プラント事業部 プラント製造工事業部 マネジャー
Yuji SUDO

上田 和人 製鉄プラント事業部 プラント製造工事業部 工事管理室長
Kazuto UEDA

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。従来は改修工事に 120 日以上を要していたが、改修期間中の生産減を抑制する為、改修工期の短縮化が求められている。炉体の解体・据付工事は短冊状の分割で行っていたが、2000 年に大ブロック工法を確立し、改修工期を大幅に短縮した。更にその後の大型重量物搬送技術の開発により、改修工期を 68 日にまで短縮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 the 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. Conventionally, a blast furnace was dismantled or erected by a method to divide the furnace body into strip-shaped pieces but, in the year 2000, a large-module method was established to reduce largely the term of a relining work. Furthermore, the term of a relining work was reduced to 68 days by the subsequent development of technology in transporting large-and-heavy loads.

1. 緒言

高炉は稼働後 15 年から 20 年で寿命をむかえ、改修工事（炉体更新）を行っている。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、改修工法の開発を行い、改修工事期間の短縮に努めてきた。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 日以上もの改修工事期間を要していた。そこで、2000 年に炉体を高さ方向で 4 個の大ブロックに分割し、ブロック毎に一体で解体・据付を行う工法（以下、大ブロック工法）を確立した。これにより、改修工期の 1 ヶ月短縮を実現した。

その後もより強まる工期短縮のニーズに対応し、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、炉底煉瓦事前艤装技術）を開発し、2009 年に実施した新日本製鐵(株)大分製鉄

所第 1 高炉（4 次）改修工事（以下、01R(4)）では、改修工期を 68 日にまで短縮することに成功した。本稿では、高炉改修工事技術の変遷と最新の短工期改修技術について述べる。

2. 高炉改修技術の変遷

2-1. 大ブロック工法の確立

図 1 に短冊工法概要を示す。短冊工法は、揚重設備の能力内でマンテルを短冊状のピースに分割して解体及び据付を行う工法である。

図 2 に大ブロック工法概要を示す。これはマンテルを 4 つのブロックに分割し、檣上部に設置した複数台のセンターホールジャッキ（CHJ）で上部 3 ブロックを一旦吊り上げ、炉底部のブロックから順次搬出を行い、また、据付は解体の逆手順で施工する工法である。このとき、据付けられる各マンテルブロックは、全て高炉近傍の地組場で高炉稼働停止前に組立を完了させておくため、改修工事期間中の作業量を大幅に削減す

ることが可能となった。

図3に短冊工法と大ブロック工法の工程比較を示す。新日本製鐵(株)大分製鉄所第1高炉3次改修工事(以下、01R(3))では、短冊工法により、炉体マンテルの解体及び据付に計60日を要している。一方、2000年に実施した新日本製鐵(株)名古屋製鉄所第3高炉(4次)改修工事(以下、N3R(4))では、大ブロック工法を初めて採用し、計37日にまで短縮することに成功した。

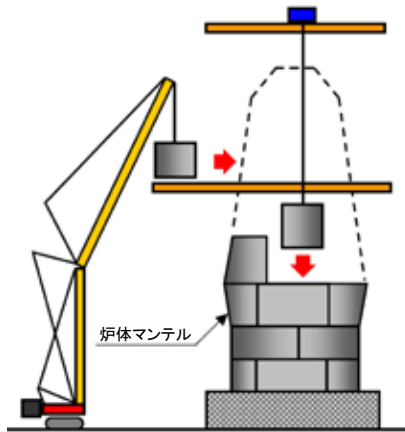


図1 短冊工法概要
Fig.1 Strip-Shape method

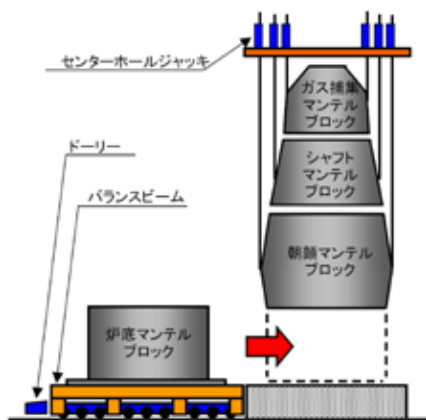


図2 大ブロック工法概要
Fig.2 Large-module method

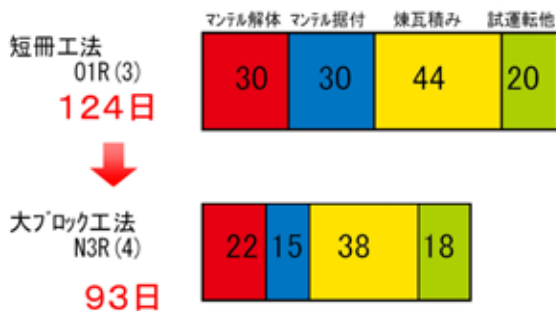


図3 工程比較
Fig.3 Comparison of methods on working days

2-2. 大ブロック工法の発展

更なる工期短縮を図るため、炉底一括搬出技術と炉底煉瓦事前艤装技術を開発した。図4に示すように、N3R(4)で確立した大ブロック工法では、炉体マンテルをブロック解体する前に、炉内に残る内容物(残銑)を全て撤去する必要がある。この内容物撤去に要する期間を短縮するために、炉底一括搬出技術の開発を行った。図5に炉体一括搬出の概要を示す。これは、作業中に炉体基礎の切断を行い、吹き止め後、内容物を含む炉底マンテルブロックごと一体で引き出しを行う工法である。

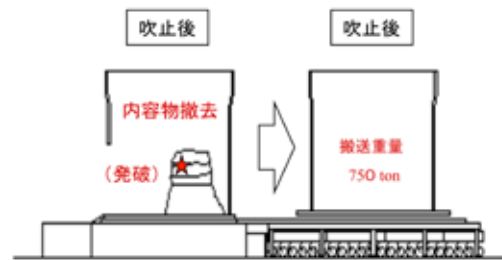


図4 大ブロック工法 炉底搬出
Fig.4 Hearth transfer by large-module method

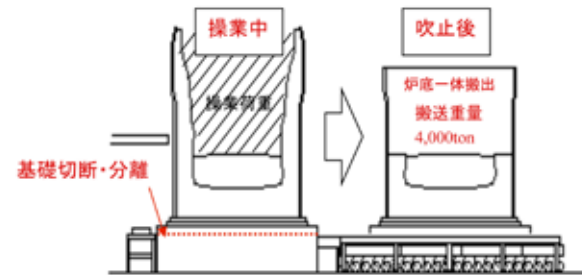


図5 大ブロック工法 炉底搬出
Fig.5 Integral hearth pullout method

図6に炉底煉瓦事前艤装技術の概要を示す。高炉の炉底部は、炉体マンテル、冷却装置、及び内面の煉瓦で構成される。煉瓦の数量は約2000個、総重量は4000トンに及ぶ。また、煉瓦は稼動中直接溶銑に接

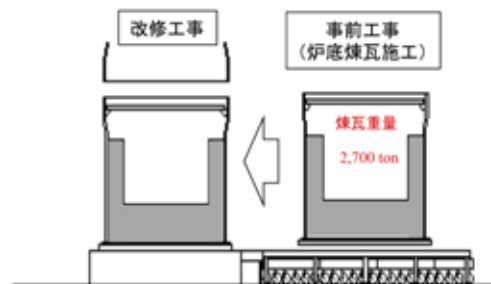


図6 炉底煉瓦事前艤装技術
Fig.6 Hearth brick prior fitting technology

触し、冷却によりその寿命を確保している。煉瓦の寿命が高炉の寿命となるため、煉瓦の据付精度は非常に高いものが要求される。従来は、炉底マンテルを据付けた後に全ての煉瓦を施工した。そこで、炉底マンテルブロックに煉瓦を事前施工し、煉瓦の施工品質を確保したまま搬送を行う技術を開発した。これにより、改修中の煉瓦施工期間を大幅に短縮することが可能となった。

2-3. 改修工法の推移

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。表1に高炉改修工事に適用した工法技術の推移の概要を示す。工法開発への取り組みは段階的に行われた。炉底一体搬出技術は、2004年の新日本製鐵(株)大分製鉄所第2高炉(3次)改修工事(以下、02R(3))に確立し、炉底マンテルブロックの搬出重量は3100トンであった。その後、工法を更に改善し、2009年の01R(4)では、その搬出重量は6000トンに及ぶ。また、炉底煉瓦事前艤装技術は2003年の新日本製鐵(株)君津製鉄所第4高炉(3次)改修工事(以下、C4R(3))に確立し、その後事前艤装範囲を拡大し、01R(4)では煉瓦の事前艤装重量は2500トンにまで拡大することが可能となった。これらの開発の結果、大幅な改修工期短縮が可能となり、01R(3)では、短冊工法により改修工期124日を要していたが、最新の01R(4)では68日にまで短縮することに成功した。

3. 短工期改修への取組みと最新技術

3-1. 炉底一括搬出技術

3-1-1. 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。図7に02R(3)で開発したジャッキアップ式炉底一括搬出工法概要を示す。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ごと炉底マンテルブロックのジャッキアップを行い、ジャッキアップにより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で基礎の横に設置したバランスビーム上まで横引き搬出する工法である。十分な横引き力を確保するために、複数台のセンターホールジャッキを設置するが、設置可能な台数にはスペース上の制約があり、摩擦抵抗を横引き可能な数値以下に抑える必要がある。そこで、実機モデルで摩擦抵抗の確認実験を実施し、基礎切断面水平精度の目標値を定めた。基礎の切断方法を図8に示す。切断にはまず基礎にボーリング穿孔を行い、貫通孔を設ける。この貫通孔を通してワイヤーソーで切断を実施する。切断面の水平精度を確保するには、ボーリング穿孔の水平精度とワイヤーソーの切断精度の両面を向上させる必要がある。ボーリング穿孔の水平精度向上のために、コアチューブの剛性強化を図り、かつ穿孔中のコアビットのぶれを抑制する為、図9に示すようにコアチューブ先端部にスタビライザーを設置することで、穿孔の水平精度を確保した。

表1 工法技術の推移

Table1 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 3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
炉底煉瓦事前艤装重量	事前艤装なし		80トン	1,348トン	2,350トン	2,500トン

ジャッキアップ式炉底一括搬出工法 [O2R(3)]



図7 ジャッキアップ式炉底一括搬出工法
Fig.7 Integral hearth pullout method by jacking up

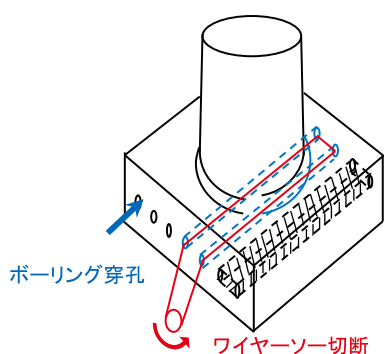


図8 コンクリート基礎切断方法
Fig.8 Technique of cutting the concrete foundation

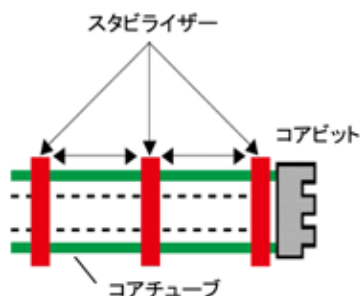


図9 スタビライザー
Fig.9 Stabilizer

また、ワイヤーソーの切断精度向上については、ボーリング孔内にガイド金物を設置し、ワイヤーを支持することで、切断レベルの安定化を図り、かつ硬化型ワイヤーの採用により、切断精度を確保した。

以上、穿孔水平精度及び切断精度の向上で、基礎切断面水平精度を目標値以内に抑えることが可能となった。また、基礎切断は全て操作中に実施されるが、切断後は基礎にワイヤーソーのワイヤー径と同等の隙間が生じる。そこで、切断による炉体の沈下を防止する為、図10に示すように、隙間に沈下防止材を充填することで操業荷重

を支持する方法を考案した。沈下防止材には充填性実験、耐荷重実験を行い、且つ長期間荷重を支持した後の剥離性を考慮して選定を行った。これにより、O2R(3)では、切断後の炉体沈下量を抑えることに成功した。

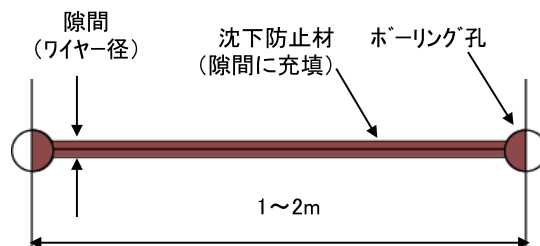


図10 荷重支持方法
Fig.10 Technique of supporting the load

3-1-2. ジャッキアップレス式炉底一括搬出技術

O2R(3)ではジャッキアップ式炉底一括搬出工法で3100トンの炉底マンテルブロックの一体搬出に成功したが、ジャッキアップ式の欠点として、ジャッキアップ可能な重量の限界がある。そこで、図11に示すジャッキアップレス式炉底一括搬出工法が開発され、新日本製鐵(株)名古屋製鉄所第1高炉(5次)改修工事(以下、N1R(5))では3500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。この時、ジャッキアップせずに切断面にスライドプレートを挿入するため、図

12に示すように基礎切断を上下2面で実施し、中間のコンクリート中子を除去することで、スライドプレート設置に必要な空間を確保した。また、スライドプレートの設置も作業中に実施することが可能となり、改修工期の短縮に繋がった。作業荷重の支持方法を図13に示す。スライドプレート設置後の上部の空間には充填材を注入し、作業荷重を支持する方法を確立した。

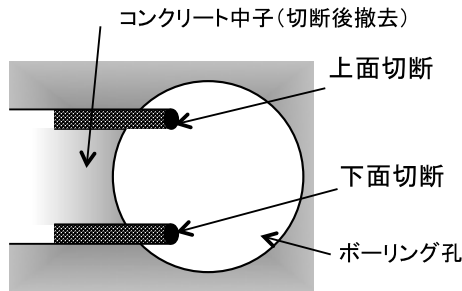


図12 2層切断概要
Fig.12 Schematic view of 2-layer cutting

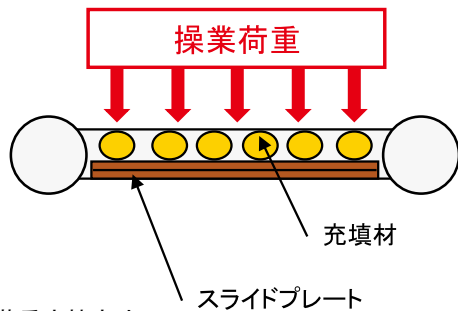


図13 荷重支持方法
Fig.13 Technique of supporting the load

3-1-3 ドーリーレス式炉底一括搬出技術

N1R(5)のジャッキアップレス式炉底一括搬出工法では、炉底マンテルブロックを基礎横に設置したバランスビーム上に引き出した後、ドーリーで高炉エリア外へ運搬を行っているが、ドーリーの搬送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のある程度撤去する必要がある。そこで、この内容物撤去工程を短縮するために、図14に示すドーリーレス式炉底一括搬出技術が開発され、01R(4)では約10000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。これは、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、更にセンターホールジャッキでバランスビームごと高炉エリア外まで地上を横引きする工法である。01R(4)では、地上の横引き距離は120mにも及ぶが、横引き時に蛇行してスライドレールから脱線することが懸念された。そこで、センターホールジャッキによる蛇行制御技術を開発した。これは、横引きの際に、移動距離計測センサーで4点の移動量を検出し、センターホールジャッキのシリンダーストロークを20ピッチに分割し、ピッチ毎に移動量の修正を行うものである。また、センターホールジャッキには、インバーター付油圧ポンプを採用し、周波数制御により、各センターホールジャッキの速度を1台ずつ変えることで移動方向の修正を行った。

ジャッキアップレス式炉底一括搬出工法 [N1R(5)]

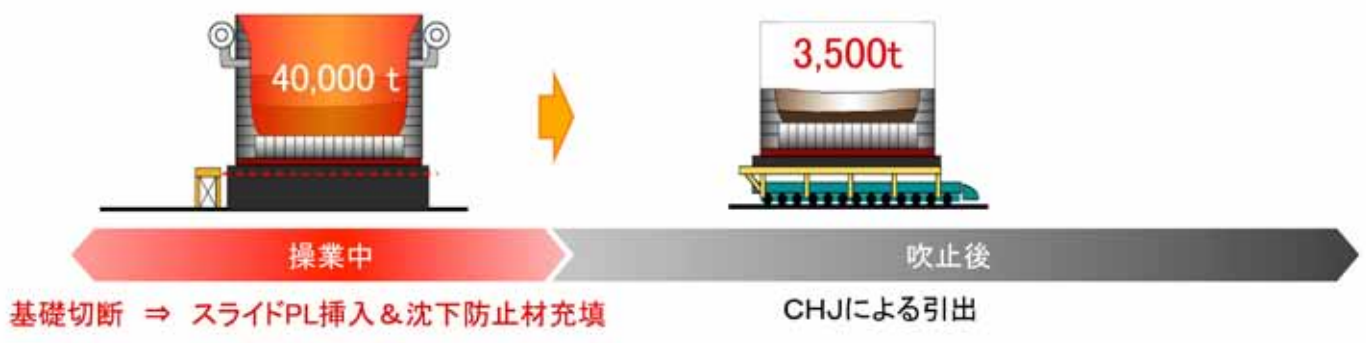


図11 ジャッキアップレス式炉底一括搬出工法
Fig.11 Integral hearth pullout method without jacking up

3-2. 炉底煉瓦事前躰装技術

3-2-1. エアーキャスター水平浮上制御技術

炉底煉瓦事前躰装技術は、地組場で炉底マンテルブロックに煉瓦を躰装して煉瓦の施工品質を確保したまま運搬・据付する技術であり、改修中の煉瓦積み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、図15に示すように次の2点に大別される。

- (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（エアーキャスター®）による浮上搬送

これらの運搬の際には、マンテルブロックに変形が生じ、躰装された煉瓦構造体に欠陥を生じさせることが懸念される。(1)のドーリー搬送については、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。一方、エアーキャスターによる浮上搬送の際は、十分な剛性を確保するのは困難である。そこで、浮上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（エアーキャスター水平浮上制御技術）を開発した。

図16にエアーキャスターの原理を示す。マンテルブロックの搬送に使用するエアーキャスターは、アルミ製の板（□1.5m）の下面に、ドーナツ形状のチューブ（トーラスバッグ）が配置されたものである。トーラスバッグ内に圧空を吹き込むことでトーラスバッグが膨らみエアーキャスター上の被搬送物を浮上させる。一方、トーラスバッグ内の圧空は僅かずつトーラスバッグ内側に抜け、更にトーラスバッグ下面を通り大気に放出される。この際に、トーラスバッグ下面に空気膜が形成され、これにより低い摩擦抵抗での搬送が可能となる。

炉底マンテルブロックをエアーキャスターで搬送する際には、マンテルブロック下全面にエアーキャスターを配置する。水平浮上制御はこれらのエアーキャスターを、図17に示すように炉体中央部と炉体周辺部を4分割した、計5つのグループに分けて制御を行うものである。

浮上時には、グループ毎の浮上量を変位センサーで連続測定を行う。昇圧は一定の速度で行い、各グループに変位のばらつきが生じた際には、昇圧速度を変化させることで各グループの浮上量を一定に保ちながら浮上させる制御技術である。

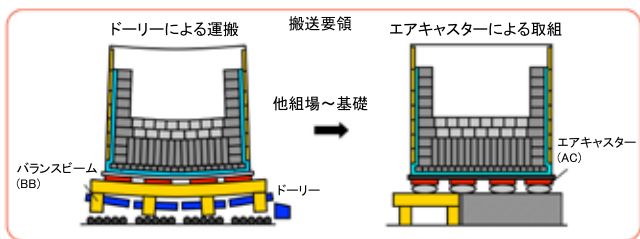
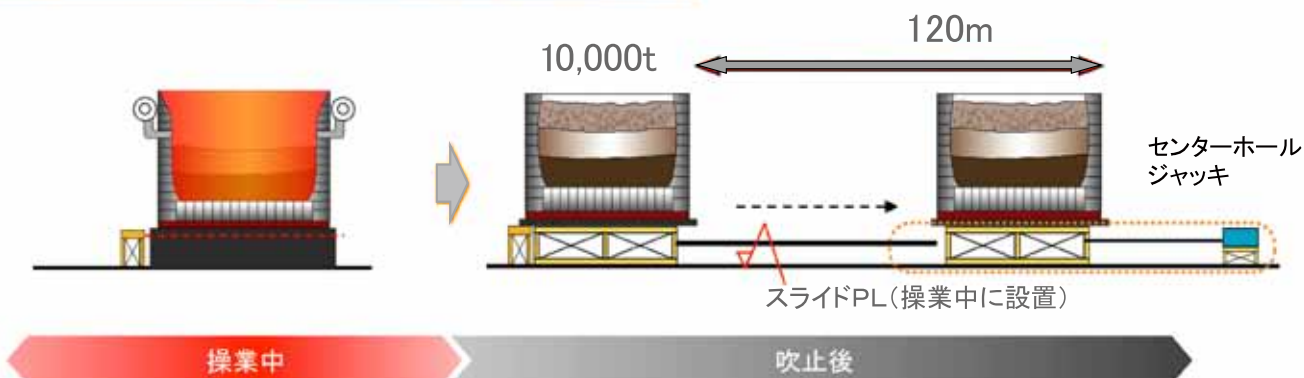


図15 炉底マンテルブロック搬送概要

Fig.15 Schematic view of transferring the hearth shell block

ドーリーレス式炉底一括搬出工法 [O1R(4)]



基礎切断 ⇒ スライドPL装入 & 沈下防止材充填

センターホールジャッキによる引出

図14 ドーリーレス式炉底一括搬出工法

Fig.14 Integral hearth pullout method without dolly

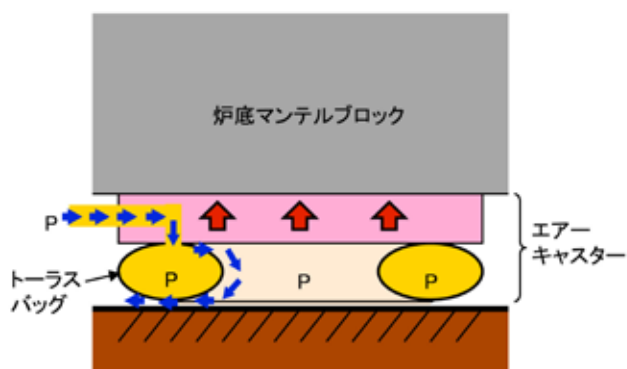


図16 エアークャスター原理
Fig.16 Principle of transfer by air caster

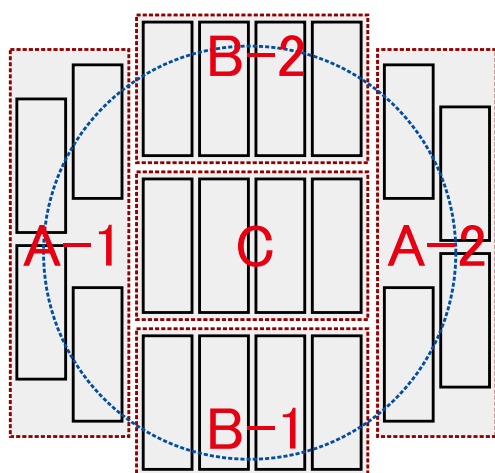


図18 エアークャスターグループ分割
Fig.18 Arrangement of air caster groups

3-2-2 能力エアークャスターの開発

炉底マンテルブロック下部に配置できるエアークャスターの台数には限界があり、設置可能台数は炉底マンテルブロック下面の面積によって決まる。炉底煉瓦事前艤装技術は、C4R(3)に確立され、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てきた。01R(4)では煉瓦艤装重量は2500トン、炉底マンテルブロック総重量は4100トンに及ぶ。01R(4)の炉底マンテルブロック下全面にエアークャスターを配置しても、従来型エアークャスターでは最大3600トン程度しか浮上搬送させることができない。そこで、高能力エアークャスターの開発を行った。これは、従来型エアークャスターと同一寸法で、各部位の強度アップを図り、従来型エアークャスターの約1.5倍の能力を

有するものである。01R(4)では高能力エアークャスターを使用することで、炉底マンテルブロックの浮上搬送を可能とした。

4. 結言

これまでの高炉改修工期短縮への取り組みと最新の改修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の開発により、改修工法は大きく変化し、改修工期も従来の約半分にまで短縮することに成功した。今後も、より効率的な炉体マンテル解体工法の開発、及び高能力エアークャスターをフル活用することによる炉底煉瓦事前艤装範囲の拡大に努め、改修工期の更なる短縮に取り組んで行く。