

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九
革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現：
大ブロックリング工法の開発

平野創
軽部大

2006 年 8 月

CASE#06-02

本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している(詳細は <http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html> を参照のこと)。本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九
革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現:大ブロックリング工法の開発

2006 年 8 月 11 日

平野創(一橋大学商学研究科博士課程在籍)
軽部大(一橋大学イノベーション研究センター助教授)*

*〒186-8603 東京都 国立市 中2-1

Phone: 042-580-8429 Fax: 042-580-8410

Email: karube@iir.hit-u.ac.jp

<http://www.iir.hit-u.ac.jp/>

本ケースは、一橋大学21世紀COEプログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」の研究プロジェクトのひとつである「大河内賞ケース研究プロジェクト」(<http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html>)の一環として作成したものである。本稿を作成するにあたって、松田恵嗣氏(JFEメカニカル常務取締役東日本事業部長)、藤田昌男氏(JFEスチール西日本製鉄所設備部高炉改修班主任部員)、小島啓孝氏(JFEメカニカル東日本事業部千葉事業所所長付副部長)、鈴木真氏(JFEテクノロジー 技術情報事業部マネジメント支援部首席研究員)には、大変お忙しい中、貴重なお時間を割いて取材にご協力いただいた。この場を借りて深く感謝する。また、「大河内賞ケース研究プロジェクト」を進めるに際して多くのご協力をいただいている大河内記念会にも感謝する。なお、記述内容についての責任はあくまでも筆者にある。また、本稿の記述は企業経営の巧拙を示すことを目的としたものではなく、分析並びに討議上の視点と資料を提供するために作成されたものである。

I. はじめに

川崎製鉄株式会社(現 JFE スチール)、川鉄マシナリー株式会社(現 JFE メカニカル)、山九株式会社の三社¹は、「革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現:大ブロックリング工法の開発」により、第 49 回大河内賞生産賞を共同受賞した。受賞対象となった「大ブロックリング工法」とは、図表 1 に示されるように、高炉炉体を3~4の大ブロックに分割して予め建造しておき、上部より順次吊り上げて据え付け溶接する、川崎製鉄を中心にした三社によって開発された独自の工法である²。この工法が確立される以前は、重量で約 1 万tの旧炉体を 20~30tの大きさに分解し撤去した後、新炉体の部材を運び込み、狭隘な炉体設置場所にて組み立てるという方法をとっていた。大型高炉ともなると、約 12 年に一度高炉の操業を停止させ、約 130 日間かけて大規模な改修をする必要があったのである。改修による長期に及ぶ高炉の操業停止は、操業上のみならず経営上の影響も大きいため、改修期間の極限までの短縮は解決すべき課題の一つであった。

川崎製鉄は、それまでの狭隘な現場での炉体の解体・建設をやめ、炉外にて四分割にした状態の炉体をほぼ完成状態にまで作り込み、それらを炉体の設置場所に搬送し接合するのみとすることで作業の単純化及び工期の短縮化を実現した。新たな改修技術である大ブロックリング工法の確立と採用によって、改修工事の大幅な工期短縮化が可能となり、安全性も向上した。図表 2 に示されるように、1998 年に新工法の確立により、千葉第 6 高炉において従来の改修期間の半分以下の 62 日間(世界最短記録)にまで劇的に短縮されることとなった。

その後、大ブロックリング工法による改修は、2001 年に倉敷第 4 高炉において行われ、2003 年には倉敷第 2 高炉においても行われた。2005 年に行われた福山第 5 高炉の改修期間は、千葉第 6 高炉を上回る 58 日で改修を終えることに成功し、新たに世界最短記録を樹立することとなった³。

それまで単なる構想としてしか語られることのなかった大ブロック化による高炉の解体・建設は、比較的短期間の技術開発によって実現した。大ブロックリング工法という新工法は、どのような経緯で開発され確立したのか。本ケースでは、その背景と実現に至る開発過程を記述する。

II. 高炉の役割と改修工事の概要

¹ 2002 年 9 月 27 日に川崎製鉄と NKK は持株会社「JFE ホールディングス」を設立し、2003 年 4 月に川崎製鉄と NKK の鉄鋼部門は JFE スチールとして経営統合した。川鉄マシナリーは 2004 年 4 月 1 日にメンテック機工と合併し、JFE メカニカル(株)として発足している。

² 一般住宅の建設に喩えると、従来の改修方法は建設現場で熟練した職人が柱や板や釘といった小パーツを用いて建築する木造の注文住宅であり、大ブロックリング工法は工場で作成して現場ではそれらをつなぎ合わせるプレハブ住宅である。ただし住宅と異なるのは、高炉の炉体が高さ 50m を超え重さは約 1 万トンにも及ぶ巨大構造体であり、極めて高い精度での建設を必要とする点である。プレハブ住宅のように比較的簡単に部材の大ブロック化はできないため、大ブロック化は技術者の構想として語られるに過ぎなかった。

³ JFE スチール ニュースリリース 2006 年 3 月 31 日 (<http://www.jfe-steel.co.jp/release/2005/03/050331.html>)

1. 高炉とその役割

銑鋼一貫製鉄所⁴では、鉄鉱石から鉄を作り出し鋼材などの最終製品までを同一敷地内で製造する。具体的に製造プロセスは、鉄鉱石から銑鉄を作る製銑工程、銑鉄をより粘りのある鋼にする製鋼工程、高温の溶鋼を固体にし加工用途に合わせた形に整形する鑄造工程、さらに鋼板や棒鋼へ加工する圧延工程から構成されている(図表 3)。鉄製品の原料は鉄鉱石であるが、鉄鉱石は鉄が酸化した酸化鉄であるため、酸素を取り除き、鉄成分を取り出す必要がある。製銑工程とは、高炉に鉄鉱石⁵とコークス⁶を投入し、還元反応を起こすことで酸素を取り除き、鉄成分を取り出す工程である。この高炉から得られる鉄成分を銑鉄と呼ぶが、この銑鉄は多くの炭素を含むためもろい鉄である。そのため、製鋼工程で、転炉を使用して酸素を吹き込むことによって、銑鉄から炭素を低減させ、粘りのある鋼をつくる。その後、鑄造工程で、高温の液体である鋼を固め鋼片と呼ばれる半製品の形にする。さらに、圧延工程において用途に応じて整形されたスラブ、ブルーム、ビレット、ビームブランクなどの鋼片を鋼板、棒鋼、線材、H型鋼などの鋼材に加工する。

高炉の中心的な設備は、原料である鉄鉱石とコークスを還元反応させる炉体である。これは、いわば花瓶のような形をした高さ 50m の大きな釜である。この炉体の内では 2000℃にも及ぶ温度で還元反応が生じており、その温度に耐えうる構造をとっている。炉体は三層構造になっており、さらに炉体の内側は耐火煉瓦が積み上げられている。三層構造の一番外側は鉄板(鉄皮)で覆われており、この鉄皮が炉体を支えている。鉄皮の内側には、耐火物の層があり、さらにその内側には温度を下げて鉄皮を守るためにステープ⁷と呼ばれる冷却装置の層が存在する。また、炉体の内側には耐火煉瓦が積み上げられており、炉底部分は厚さ 3m にも及ぶ煉瓦が内部を覆っている。

炉体の周辺には高炉を操業するのに必要とされる各種設備が設置されている。炉体の上にはそれにかぶさるように高さ 30m の原料装入装置があり、地上からベルトコンベヤーで運ばれてきた原料(鉄鉱石とコークス)が炉体の中に投入される。また、還元反応を生じさせるために高炉に熱風が吹き込まれるが、その噴出口(羽口)が炉体の下部にある。この噴出口の点検・保守をする事ができるようにデッキがあり、これを作業床(羽口床)という。同様に、炉底部分にも炉体から銑鉄を出す作業に使用される鑄床という巨大なデッキがある。

本ケースの対象は、上述の製鉄工程のうち最上流に位置する製銑工程の設備である高炉の改修である。製鉄所の工程の中でも最上流に位置するために、改修工事に伴う高炉の操業停止は、必然的に下流のすべての工程へと影響することとなる。

2. 高炉の改修工事とは何か

高炉の改修工事とは、炉体の部分的な補修とは異なり、旧炉体の解体と新炉体の建設によって操業により損傷した旧炉体を交換する工事を指す。高炉内は高温で還元反応が為されているため、炉体が

⁴ 本稿では、特記しない限り銑鋼一貫製鉄所のことを製鉄所と表記することにする。

⁵ 実際には、鉄鉱石を粉砕し、石灰石と一緒に焼き固めた焼結鉱にした後に高炉に投入する。

⁶ 石炭を蒸し焼きにしたもの。

⁷ ステープは、冷却水を流すパイプを鑄鉄で鑄ぐるんだ板状のもの。

損傷する。炉体の損傷には、大別すると炉体側面部の損傷と炉底部分の損傷の二つがある。

炉体側面部の損傷とは、炉(特に炉を支える鉄皮)を保護する役目を果たしているステーブ(冷却設備)が損傷することを指す。ステーブが損傷すると炉内の温度が鉄皮へ直接伝わり、亀裂を生じさせる。鉄皮に亀裂が入るとその部分から高温のガスが噴出し、操業ができなくなる。一方、炉底部分の損傷とは、炉底部分に積まれた炉底レンガが損耗することを指す。レンガの損耗は炉底部分に穴があく事態にもつながる可能性がある。炉底部分には高温の溶鉄があるため、炉体の炉底部分に穴があげば溶鉄が流出することになり、冷却水と反応して爆発を引き起こす。さらに、流出した溶鉄を止める手段もないので大惨事となるおそれがあり、高炉そのものが二度と使用不可能となる事もある。製鉄関係者が最も恐れる事故の一つでもある。

炉体に損傷が見られた場合、まずは当該箇所の部分的な補修が為されるが、補修で収拾がつかない、もしくは補修そのものが不可能であるような場合は、巨大な炉体を全て交換する高炉の改修工事へと入る。炉体側面部の損傷に関しては、まずは休風(高温の風の送風中止)したり減風したりして還元反応を一時的に停止させた上で、遠隔操作でステーブの一部張替え等の応急処置をする。亀裂が一定量で収まれば問題はないが、場合によっては炉体の各所で亀裂が入り始めることがある。そのような場合は、高炉の操業を頻繁に止め補修工事をする必要があるとなり、多額の補修費用のみならず、高炉の生産性が大幅に低下することとなる。このような事態に対処するために損傷した炉体を交換する改修工事に入ることが決断される。一方、炉底部の損傷の場合は、損傷している炉底部分には高温の溶鉄があるため、修理の方法がない。炉体に穴があくまで放置すれば大惨事となる。そのため、炉体外部を温度測定することで炉底レンガの侵食具合を推定し、限界が来る前に改修工事へと入る。どちらのケースの損傷であっても、改修の決定から実施までは準備等でかなりの時間を要するため、炉体の状態に関する見極めが重要となってくる。

改修工事は炉体のみを交換する工事であるため、新設高炉の建設とは異なる困難に直面する。第一に、極めて狭隘なスペースでの改修作業を強いられる。交換対象である炉体の上部には原料装入装置があり、炉体周辺部は作業床や鋳床などの巨大な設備で埋め尽くされている。そのため、それらの設備に囲まれた狭隘なスペースで鉄板を溶接し、ステーブを取り付けるといった炉の建造をしなければならない。材料に関しても大きな搬入路が確保できないため小ブロックで搬入するしかない。

第二に、工期に関して時間的な制約がある。新設高炉は工期が延びても製鉄所全体の操業開始を延期することで対処可能であるが、改修工事の場合は工期が延びるとその分だけ川下の工程の操業停止や操業率低下といった影響を及ぼし、経営上のダメージとなる。万が一、改修そのものに失敗するようなことがあれば、長期にわたって川下工程への原料供給ができずに会社の収益に相当の悪影響を及ぼすことになる。そのため、工事の確実性も強く求められる。

3. 従来の改修方法

大ブロックリング工法以前の改修方法は、旧炉体の解体、新炉体の建設とも 10～20tの小ブロックにして搬出・搬入を行うもので、約 1500 人/日の熟練した作業員を動員する労働集約的な工法であった。そして、高炉の内部という狭隘な作業場所で解体・組立を順次行うため、大幅な工期の短縮は困難であ

った。この従来の改修方法は、図表 4 に示されるように、まず炉底部に溜まった溶鉄を臨時出銑させ、高炉の操業を停止し冷却させる必要がある。その後、炉底の残留物(スラグ・コークス)をショベル等で掻き出し、臨時出銑時に出ずに炉底に残った銑鉄(残銑)に発破をかけ、数十tに小分割し炉外へ搬出する。残銑を小分割しなければ炉外に搬出できないため、発破・搬出を中心に約 30 日を要する。また、残銑の量は事前にはわからないため工期のかく乱要因ともなっていた。

次に旧炉体の解体作業では、搬出路が小さいために旧炉体を 20～30tの小ブロックへと分割する必要があった。狭い高炉内にて分割作業を行う必要があるため分割に時間がかかり、数百のブロックに分割されるため、搬出にもかなりの時間がかかっていた。従来工法ではこの旧炉体の搬出に約 20 日を必要としていた。

その上で、旧炉体を搬出し開いた空間に新炉体が建設される。鉄皮、耐火物、ステーブ、配管等の部材を 10～20tずつ搬入し、旧炉体があった高炉内の狭いスペースで建設する。搬入するブロック数は 500～1000 に及ぶため搬入には多くの時間を要する。また、狭い高炉内で鉄皮を溶接し丸い形の炉体を製作するのに 25 日、その上に耐火物、約 500 枚のステーブ(5t/枚)の取り付け⁸を行うのに約 15 日かかり改修工事の工期全体のうち 40%を占めていた。この工程は高所かつ狭隘なスペースで行うために、安全面でも問題があった。

最後に炉底部分と炉底部分にレンガを積み、火入れの準備を行う。この工程に約 40 日かかり、これが完了すると改修工事は終了する。従来工法では、旧炉体の解体からおよそ 130 日を必要としていた。

4. 大ブロックリング工法の概要

これに対して、大ブロックリング工法と呼ばれる新工法は、図表 5 に図示されているように旧炉体を三分割し、大ブロックの状態で搬出する。具体的には、作業床を高さ 20m、幅 20m 程度切り取り、大ブロックの搬入搬出路を作り、解体する旧炉体下部に溜まった残留物(コークス・スラグ)を掻き出し、次に残銑に発破をかけ数ブロックに分割した上で搬出する。その上で、旧炉体を三分割にしてブロックごとに搬出するために、高炉の上部からリフトジャッキで吊下げ、旧炉体の最下部を旧炉体から切断し、スライド台車の上に乗せ、炉外にあるドーリ架構⁹の上に乗せ換え作業の邪魔にならない地点まで運ぶ。そこで、吊換設備¹⁰を利用してドーリからおろす。それが終了すると、最下部を取り去った旧炉体をスライド台車の上へとリフトジャッキを利用して降ろし、今度は旧炉体の中央部を切断して先ほどの最下部と同様に炉外に搬出する。このような作業を繰り返し、旧炉体を高炉内からブロックごとに搬出する。

その上で、図表 6 に示されるように、事前に作りこんだ炉体を炉頂、炉胸、炉腹、炉底の順に高炉内に運び込み設置する。高炉外で 4 分割した炉体を製作し、鉄皮の内側に耐火物やステーブも取り付け、

⁸ 高炉内部でクレーンを使用できないため、ステーブ1周約 50 枚の取り付けが 24 時間作業で 5～6 日かかる。大ブロックリング工法導入後は、昼間のみで 1 日で済むようになり、高度な薦作業も不必要になった。

⁹ 輸送機械であるドーリの上に鉄骨で作った台を載せたもの。ドーリの高さは高炉の底面よりも低いいため、ドーリの上に直接炉体ブロックをおくと段差ができて、炉体ブロックをスライドさせて高炉内に取り込む事ができない。ドーリ架構は、高炉の底面の高さに輸送機械の荷台の高さを合わせる下駄のような役割を果たす。

¹⁰ 大きなクレーンのようなもの。炉体ブロックを垂直方向にだけ持ち上げる事ができる。ただし、作業場所に自走して移動することはできる。

外部と接続する配管やセンサー類も取り付けできるように完成状態に近づけておく。さらに、それぞれが1000～2000tにも達する新炉体のブロックを吊換設備で持ち上げ、ドーリ架構の上に載せ、炉体ブロックをドーリで高炉の脇まで搬送し、スライド台車を利用してレールの上を滑らせてドーリ架構の上から高炉内へと移動させる。そして、炉体ブロックを高炉上部のリフトジャッキと接続し、次に搬送されるブロックの高さの分だけ高炉内で持ち上げ¹¹、空いたスペースに次のブロックを同様の方法で搬入し、二つのブロックを溶接する。これを、四つのブロックに関して繰り返し、高炉内で新炉体が完成するのである。炉底ブロックまで溶接が終わると、炉体全体を持ち上げスライド台車を炉外へ引き出し、炉体を再び高炉底部に下ろし、基礎の上に据付けて新炉体の組み立てが完了する。最後に、炉底部分と炉の側面にレンガを積み、搬入・搬出路とした高炉の側面を元通りに修復することですべての工程が終了し、火入れの準備が整うこととなる。

Ⅲ. 大ブロックリング工法開発の背景と開発過程

1. 新工法開発の背景

川崎製鉄が高炉の改修期間短縮のために大ブロックリング工法の開発に着手した理由は3つある。ひとつは、高炉の大型化に起因する各製鉄メーカーに共通する理由であり、もう一つは開発に着手した千葉製鉄所特有の事情に起因した理由である。さらに、これらの理由とは別に、従来工法での改修が困難となってきた技術的な問題も存在した。

高炉の改修期間の短縮化は、各製鉄メーカーにとっての共通の課題であった。というのも、高炉の大型化に伴い、改修による高炉の操業停止の影響が大きくなったためである。例えば、1965年から1995年にかけて銑鉄生産量(図表7)は3倍弱増加したのに対し、逆に高炉は47基から30基にまで減少している¹²。改修期間は高炉の内容積と比例するので、高炉の大型化に伴い改修期間は長くなったのである。大型高炉が長期間止まることになるので、改修による減産量は小型高炉を短期間停止する場合に比べ非常に大きいものとなっていた。通常大型高炉¹³の場合、改修には大ブロックリング工法以前は130日間を必要とし、仮に一日1万トンの出銑量を持つ高炉であれば、改修工事によって年間130万トンの減産となっていたのである。

このような理由から、各社で改修期間の短縮化の動きが見られ、川崎製鉄においても大ブロックリング工法以前にすでに工期短縮化の取り組みがなされていた。例えば、1990年の水島第三高炉改修時に当時4000m³以上の大型高炉としては当時における短期改修のトップレベルである110日間での改修に成功していた¹⁴。この際には、減産量を少しでも減らすために工期の短縮化のみならず、休止高炉を改

¹¹ 実際には、次に搬送されるブロックの高さよりも数100mm高いところまで持ち上げ、次のブロックを搬入した後にその分だけ下降させ二つのブロックを密着させ、溶接する。

¹² 鉄鋼年鑑より。いずれも年度末における稼働基数。

¹³ 一般に内容積4000m³以上の高炉のことを指す。

¹⁴ 「川鉄水島、最短110日で稼働—第3高炉、改修し能力増」『日経産業新聞』(1990年01月27日(1))

修期間中臨時稼働し減産に対応した。

このような各社に共通した事情に加え、大ブロックリング工法の開発が為された川崎製鉄千葉製鉄所には、工期短縮を求める二つの固有の理由が存在していた。ひとつは、千葉製鉄所の高炉集約化によって、結果的に残った2本の高炉をフル稼働させる必要性があったという理由である。もう一つは、千葉製鉄所の高炉の川下工程への大規模な新規投資によって、川上の高炉の銑鉄生産能力を超える生産能力を川下工程が抱えることとなった、というものである。

1995年に千葉製鉄所は、当時世界最長の寿命を誇っていた第六高炉¹⁵の改修の必要性に直面していた。しかし、当時の千葉製鉄所には第五高炉と第六高炉の二基の高炉のみで操業しており、改修期間中のみ臨時に操業する予備高炉を持ち合わせていなかった。また、第五高炉の規模は2584m³と改修対象の第六高炉の4500m³に比べ小さく、とても高炉改修に伴う減産分の穴埋めができる規模ではなかった。

さらに、この時期は千葉製鉄所に対する大規模な設備投資¹⁶が終了した直後であった。川崎製鉄では、1991年から千葉製鉄所のリフレッシュ工事に着手しており、「高級品種を生産する都市型中規模製鉄所で世界最強を目指したリフレッシュ」をコンセプトに、大幅な設備のスクラップアンドビルドが行われていた¹⁷。特に主要な新設備は、第3熱間圧延工場と第4製鋼工場であった。第3熱間圧延工場に導入されたエンドレス・ホット・ストリップ・ミルは、川崎製鉄が世界で初めて開発し、生産効率の画期的な向上を実現していた。また、第4製鋼工場は900億円を投じて1994年7月に完成し、第3熱間圧延工場は1400億円を投じて1995年5月に完成したばかりであった。新しく建設された第三ホットに十分な銑鉄の供給を行うためにも第六高炉が必要であった。川下工程に新設されたこれらの新設備は減価償却費が大きく、多額の固定資産税も課せられる上に、何より新鋭の設備を寝かせておくことによる遺失利益が存在する。それ故、収益上の観点からも長期間に渡って高炉を停止することは避けたかった。

当時千葉製鉄所に関する利益責任を持つ千葉製鉄所副所長であった数土文夫(現 JFE ホールディングス社長)は、収益上の観点から高炉改修期間短縮の必要性を感じていた。数土は当初高炉改修班¹⁸に対して工期の短縮化の実現可能性について打診したが、当時の改修班は国内外の改修方法を精査した上で、1990年に彼らが記録した110日から大幅な短縮は困難である、という結論を出していた。

しかし、数土は、そのような高炉改修班の回答にも拘わらず、更なる改修期間短縮の必要性を非常に強く感じていたため、当時千葉製鉄所の設備技術部長であった松田恵嗣(現 JFE メカニカル(株)常務取締役 東日本事業部長兼高炉改修プロジェクト長)にも打診した。松田は川崎製鉄への入社から数年

¹⁵ 千葉第六高炉は1977年6月17日に火入れされた。この時点ですでに18年稼働しており、平均が12年程度であることを考えれば非常に長寿命であった。最終的に1998年3月25日に改修工事に入るまで累積稼働日数は7503日、累積出銑量は59675535tに達し、その両方で世界新記録を達成し操業を停止した。

¹⁶ 川崎製鉄内で重点的に千葉への設備投資がなされていた。例えば、1993年には全設備投資のうち57%、1996年には76%が千葉製鉄所への投資であった。

¹⁷ 川崎製鉄株式会社社史編纂委員会(2000)川崎製鉄五十年史。

¹⁸ 川崎製鉄では高炉改修を自社で行っている。従来は三菱重工や川崎重工などの外部企業に全面的に委託していたが、コスト削減のために1977年の水島二高炉改修時に自社で改修を目指した高炉改修班を立ち上げた。水島二高炉の改修終了後も技術を温存するために高炉改修班は解散せず、1994年まで存続した。この高炉自社改修の流れは他の製鉄メーカーにも広がった。

間高炉等の設備建設に従事した後、高炉改修班に在籍し多くの高炉改修を手がけてきた。その後、高炉改修とは直接関係のない設備保全の世界へと移り、千葉製鉄所では設備技術部長を務めていた。数土が、組織上高炉改修とは直接的関係を持たない松田にこの問題を打診した背景には、松田が豊富な高炉改修経験を持つこと。二人とも前任地は水島製鉄所であり当時から交流があったこと。そして、松田には千葉製鉄所における発電機の定期修理の期間短縮化、圧延設備の定期修理の期間短縮化といった作業期間の短縮化に関する実績があったということが挙げられる。

これまで述べてきた 2 つの理由のほかに、大ブロックリング工法の開発へと至らせたもう一つの理由として、従来工法が危険かつ熟練を要するものであったという技術的な問題が挙げられる。従来工法では、高炉内で炉体の解体・建設を行うため、狭い場所での重量部材の搬出・搬入作業が必要となり、落下・狭圧事故発生の危険があった。さらに、高所、狭隘な高炉内で重量部材を所定の位置に搬送し、溶接して組み立てるという作業は多数の熟練作業員を必要とした。しかし、近年は高炉の大型化によって高炉の本数が減少し、また高炉の長寿命化も進んだために、高炉の改修頻度が減り、こうした熟練作業員の確保が困難となっていた。

2. 工期の短縮化を可能にした発想転換

数土から改修期間短縮の要請を受けた松田も、当初は改修班の出した結論と同じく、110 日から大幅な短縮は困難であるということを感じていた。というのも、高炉内への搬入路が狭く、高炉内で部材を吊る際もウインチと呼ばれる小さな機械を使用する方法しかないため、部材の重量は数 10t に制約され、結果的に部材のブロック数が 500～1000 と非常に多くなる。その多くの部材を狭い搬入路から取り込むため、搬入搬出だけでも非常に時間がかかる。さらに作業スペースが狭いため、一日の工事量は多くても 10～20 ブロックに制約されることとなっていた。改修期間の更なる短縮化のボトルネックは搬入、搬出すべき部材の多さと高炉内での作業スペースの狭さにあった。

もちろん、その当時解決策につながりうるアイデアが存在しないわけではなかった。こうした問題は、使用する部材を大型化することによって解決される。部材を大型化すれば、搬入・搬出に要する時間は短縮される。また、部材の大型化によってブロック数が減少し、狭い高炉内で行うべき工事量は削減される。そのため、改修工事にあたる技術者の間では、すでに昭和 40 年代から工期短縮化の方法として使用する部材を大型化し、部材を減らそうとするアイデアがないわけではなかった。しかし、それらのアイデアはあくまで構想の域を出ることはなかった。その理由は二つあった。

第一に、大きな部材(大ブロック)を取り込むだけの大きな搬入路を確保する事がどうしてもできなかった。大ブロックを高炉内に搬入するためには、炉体周辺にある作業床や高炉を覆う上屋などの周辺設備を撤去する必要がある。しかし、それらを解体し炉体の建設後に再び新炉体の周辺部に建設しようとするれば、当初の高炉改修のさらなる短期化の意図とはまったく逆行することになる。

第二に、数千トンもあるリング状にした炉体を必要な高さまで持ち上げ、設置する方法がない。高炉の炉体上部は、ビル 15 階に相当する地上 50m の高さになり、その高さまで数千トンもある大ブロックを持ち上げ、さらに水平移動させて高炉内部へとうまく取り込む必要がある。しかし、この垂直および水平移動に利用できる機材が存在しなかった。このような理由から、部材の大ブロック化は技術者の構想の域

を出なかったのである。

松田は、従来の大ブロック化の構想に共通していた暗黙の前提を覆すことで、それまで考えられてきた困難を克服するきっかけを掴んだ。従来は、高炉外で分割して(輪切りの状態に)製作した炉体を下から上に向かって順に高炉内に取り込み積んでいくという方法が考えられていた。それに対して、松田は炉体ブロックを最上部のものから下のものへという逆の順序で取り込みながら炉体を完成させる方法を思いついたのである。先に炉体の最上部を高炉の一番下に取り込み、それを高炉内でリフトジャッキを使用して垂直に吊り上げ、空いたスペースに上から二段目のブロックを取り込む。同様のことを三段目、四段目のブロックにも繰り返すし、上から下に向かって炉体を作るのである(図表 6)。

この発想の転換により、部材の大ブロック化は一気に実現へと近づいた。下から順に大ブロックを高炉内で積み上げていく場合、炉体搬入のために高炉の側面をすべて開口させなければならないが、炉体の最上部にあたる部分から取り込み高炉内でリフトアップする場合、高炉の最下部にブロック一つ分の搬入口さえ作ればよい。

また、ブロックを一度に高い位置まで持ち上げた上で設置場所に向かって水平方向に移動させる場合に利用できる機械が存在しないという問題も、松田の方法にすれば、高炉内へとブロックを取り込む水平方向の移動と高炉内での垂直方向の移動の二つに作業を分ける事ができ、水平方向にはドーリ¹⁹やスライド台車²⁰、垂直方向にはリフトジャッキという具合に既存の機材で移動させる事が可能となるのである。松田はこの着想について以下のように語っている。

吊る重機が限られてるやろ。要するに揚重機がない。大きなものを持ってきたとしても、30t 吊れるかどうかそこいらのもんだよ。だから、ステーブつけていくなるとんでもないことだ。それで、えんやら地上は重力に反して、うんうんうんうん上げていって、で、上、また狭いんだな。上の方行くとなあ。だから、はいらないんだよ。やぐらが邪魔して高さも制限されるし、だから、どう考えたって上から行く従来のやり方をいくら考えたってだめだと。ほんで、ぐちゃぐちゃ言うとうちに、こう積んでいくんじゃなくて、こういったらどうだ、下からこう上がっていったらどうだ、こういったらどうだと。というアイデアに変えてみたらどうだと。というのがぱっと来たんだよなあ、そんななあ。

基本的なアイデアは、95年9月に松田が数土から打診を受けてわずか二週間程度で練り上げられた。松田はこの新しいアイデアを数土に伝え、より詳細な検討に入った。そこで松田と共に開発に乗り出したのが本工法で設計を担当した藤田昌男と工事を担当した小島啓孝である。藤田と小島は共にかつて松

¹⁹ 重量物を搬送する輸送機械。板の下にタイヤをつけたいわば台車のようなものである。ゴムタイヤを履き、ディーゼルエンジンによって自走可能となっている。ドーリの上は平面になっており、そこに搬送物を乗せる。一台のドーリは幅 3m 長さ 9m 程度であるが、複数のドーリをつなぎ合わせることで様々な大きさの積荷に対応する事ができる。

²⁰ レールの上を移動するために、搬送物の下に取り付けられる台車のこと。ただし、台車といっても円状のタイヤや車輪の類を持たない。レールとスライド台車の間に油を注入し、レールの上を滑らすようにして搬送物を移動させる。

田と共に高炉改修、設備の建設や保全に従事し、本工法の開発が始まる直前²¹に高炉改修班へと移動していた。そして、松田と同様に藤田と小島も大ブロックによる改修工事に以前から高い関心を持っていた。藤田は高炉改修班に移動になると炉体の外壁である鉄皮だけでも大ブロック化できないかと考えていた。この三人によって技術開発が本格的にスタートすることとなった。

3. 直面した技術的課題とその克服

第一の課題：搬入・搬出路の捻出

すでに述べたように、大ブロックの搬入・搬出路のスペース確保の問題は大ブロック化を妨げる障害となっていた。炉体の上部から順に取り込み高炉内で持ち上げるという松田のアイデアによって、搬入・搬出用の開口部に必要とされるスペースは格段に小さくなっていたが、ブロックひとつ分の搬入・搬出路ですら 20m 四方を越える大きさであり、炉体周辺設備の一部撤去が不可欠であった。しかし、この撤去と撤去した設備の再建設には相当の時間と費用がかかる。その時間が大ブロック化によって短縮した時間を相殺してしまう可能性がある。

そこで松田らは炉体周辺設備を完全に解体せずに、そのままの形で一度高炉外に取り出し、炉体工事等が終了した後に今度は逆にそれらを高炉内へともどすことにした。障害になっていたのは炉体側面に位置する作業床と呼ばれる羽口の点検保守のためのデッキであり、この作業床を壊さずにドーリに載せて搬出し、炉体工事中は邪魔にならない製鉄所の敷地内に置き、すべての工事が終了すると再びドーリに載せ高炉まで運んで当初の位置に置き、周辺設備とつなぎ合わせるという方法をとった。作業床は重さが 1000t を超え、移動を前提としない構造物であったため、これをそのまま取り出して搬入・搬出路を作るというアイデアはかつて存在しなかった。しかし、世の中では複雑な構造の重量物の運搬が行われているのだから、この作業床の移動ができないはずがないと彼らは確信していた。工事担当の小島は各地の重量物搬送を見学しその確信を深めていた。移動対象の高炉と図面との間を何度も往復し、作業床の一体解体の方法を考えついたのであった。もっとも、この小島ですら移動させるべき作業床を目にするとその大きさに不安感を持つことがあった。

常にですね、物を考えるときにまずは図面で考えるんです。図面でやると比較的簡単にみえるんですよね、図面上では。紙の上ですから。それで、絵にして、本当は現場に行って、絵の通りにやれるかどうか、行ったり来たり行ったり来たり。そんな感じでしたよ。とはいえ、最初からあそこ行って考えたら、なんかやれそうもないと思っちゃいますよね。それを、絵で考えるの。やっぱり、最初から行ったらですね、本当にできるだろうかと。

第二の課題：炉体ブロックの製作・溶接

大きなリング状の炉体ブロックを現場で溶接する大ブロックリング工法では、炉体ブロックの精度を従

²¹ 藤田は 95 年の 4 月に、小島は 95 年の 7 月に高炉改修班に加わった。

来工法以上に高めることも必要であった。直径 20m の大きなリング状の炉体ブロックを現場で溶接しつなぎ合わせるのであるが、このリングの板厚はわずかに 55～75mm であるため、よほど精度に気をつけなければかなりの目違いが発生する。従来工法では、目違いが生じて鉄板に力を加えて修正すればよかった。しかし、大ブロックリング工法の場合は、事前に鉄皮の内側に耐火物やステーブが取り付けられているため、これに力を加えて修正を施すとそれらに亀裂が入る危険性があり、溶接直前に高炉内でその形状を修正することは不可能である。したがって、従来工法以上に事前に精度の高いリングを製作し、なおかつ高炉内での溶接直前まで接合部の精度を維持する事が不可欠であった。

このような炉体ブロックの高い精度を維持するための工夫として、第一に鉄皮の製造は日の当たらない工場内にて行われ、工場内での目違いが直径約 17m の円で 3mm 程度になるまで接合部の精度を高めるといったことが行われた。川鉄マシンナリーが高精度の製缶技術を有しており、以前造船部門が使用していた屋内の巨大なピットを保有していたことによりこのような高精度のブロックの製造が実現可能になった。また、上下のブロックの精度をあわせた際に、上のブロックにピンを、下のブロックにピンホールをつけることで、精度を合わせた上下の位置関係が現地(高炉内)で容易に再現ができるようにした。

第二に、こうして工場で作成したリングに鉄皮補強材を取り付け、鉄皮リングを拘束することで、鉄皮輸送や製鉄所内でのステーブ等の取り付けといった事前組立から実際に高炉内で炉体ブロックを接合するまで、鉄皮の変形を抑制するようにした。これらの鉄皮ブロック間の接合部分を高精度化する技術により、高炉内での接合時においても目違いは 5.5mm 以下になり、現地で耐火物等に亀裂の入る恐れのある鉄皮の形状修正を行わずにすむようになった。

また、新工法では現場での溶接の前に鉄皮の内側に耐火物やステーブを取り付けるために、炉体の内側から溶接を行う事ができなくなり片面からの溶接を強いられる。さらに耐火物等があることで従来の片面からの溶接方法も採用できなくなり、新たな溶接方法の開発も必要とされた。従来、片面からだけの溶接(片面開先)を行う場合は、溶接をしない側にチルプレートと呼ばれるタブを取り付け、このタブの部分を密着させることで隙間をなくし溶接を省略していた。しかし、新工法ではチルプレートの内側に耐火物やステーブが事前に取り付けられるために、チルプレートも溶接の前、つまり上下のブロックを高炉内であわせるよりも前に取り付ける必要性が生じる。そのため、このチルプレートの部分の目違いも考慮しなければならなかった。もちろん、チルプレートを厚くすればチルプレートのどこかの部分が必ず密着することになるが、それでは耐火物やステーブにチルプレートが干渉してしまう。そのため、図表 8 に示されるように、耐火物等に干渉せず、目違いが生じて上下のチルプレートが密着する部分が残るような大きさのチルプレートを開発した。チルプレートの奥行きは 16mm になり、目違いは鉄皮の精度にあわせて 6mm まで許容される。これらの開発は川鉄マシンナリーと共同で行われた。

第三の課題：炉体ブロックの搬送

炉体ブロックの高い精度は、工場内での各ブロック製作時において維持されるのみならず、その精度を保持したまま高炉内へと搬送しなければその意味を持たない。したがって耐火物やステーブまで取り付けられた複合構造体である 1000トンから 2000トンもの巨大構造体である炉体ブロックを搬送技術が必要とされた。

炉体ブロックは、外側から鉄皮、耐火物、ステーブから成る三種複合構造体であるが、鉄皮以外の部分は搬送や揚重によって亀裂が入る恐れがあり、特に耐火物の亀裂は炉体の寿命を左右するものであるため輸送時の亀裂防止は重要な課題であった。本工法で設計を担当した藤田も、大ブロックリング工法の開発にあたって最も困難かつ重要な問題として耐火物にクラック(亀裂)をいれてはいけないという問題を指摘している。

みんな心配したのはやっぱり、耐火物を守らにゃいかんといういうことですね。耐火物が命なんで。あれを、クラックが入っちゃいかん。あれを健全なまま運ぶんだというのが一番大きかったですね。クラックがあるとそこに熱風が通ってしまって、あつという間に鉄皮を真っ赤にしちゃうんですね。それが、寿命にもろにきますから。

しかしながら、複合構造体における耐火物の亀裂発生についての知見はその当時皆無であった。そのため、実験を行って亀裂の入りにくい方法を発見する必要性があった。実物大のモデルを製作し、炉体ブロックの変形が最も大きくなる条件(炉体の四箇所を吊換設備につなぎ持ち上げる)で実験をした。すると、かなりの変形が生じると共に耐火物に亀裂まで生じた。そのため、炉内内部にスパイダーと呼ばれるつかえ棒のようなものを入れ、補強材も内部に入れた。その上で実験を繰り返しスパイダーの本数や、補強材に適切な素材を発見した。また、この実験データを応用することで、複合構造体の構造解析の精度が向上し、形状の異なる炉体ブロックに対する補強構造の設計も可能となり、複合構造体である炉体ブロックを耐火物に亀裂を発生させることなく搬送揚重することが可能となった。

第四の課題: 負荷への耐久力維持と周辺設備の簡略化

炉体ブロックの搬送にあたっては、2000tの重量に地盤や炉体を炉内に滑らせるレール等が耐えうるものでなければいけないが、時間や費用の問題からただ堅固かつ安全なものを作ることは好ましくない。そこで、工事でかかる負荷に耐えうる範囲で周辺設備の簡素化を行った。

第一に、炉体ブロックを持ち上げる吊換設備の基礎工事の簡略化をした。2000トンの炉体ブロックを持ち上げる場合、吊換設備を支える四本の支柱にはそれぞれ650トンの負荷がかかる。そのため、吊換設備が地面に沈み込み不安定になる事を防ぐために、本来はコンクリート基礎を設備の下に作る必要がある。しかし、それには時間と費用がかかる。そこで、改修工事の場合重量物を吊る時間が短いので、コンクリート基礎を作るのをやめ大型スラブを下に引くだけとした。同時に、改修工事の工程を検討し、吊換設備で炉体ブロックを吊る時間の最短化を図った。実際に事前に地盤に負荷をかけ地盤沈下量を測定し、炉体を吊っている時間内であれば沈下量の変化は問題ないことを確認した。

第二に、ドーリ架構から高炉内へと炉体ブロックを入れる際には、炉体ブロックを載せたスライド台車を、ドーリ架構の炉外レール上から炉底基礎の炉内レール上へ移動させる。このレールの上面にはステンレス板を溶接し、スライド台車の下面には特殊樹脂が貼り付けられている。レール上は平面精度を上げた設計が為され摩擦抵抗係数0.03以下が達成されている。問題は、ドーリ上の炉外レールと高炉内の炉内レールの継ぎ目であった。本来、レール上と同じ摩擦係数を維持するためには両方のレールの

溶接が必要となる。また、継ぎ目部分に段差があればそこでスライド台車が停止する危険性もある。そのため溶接を行う事が望ましいが、炉体ブロックの搬入をするたびに四回も溶接と切断を繰り返すことは時間の面からも費用の面からも避けたい。そこで接続部の構造を図表 9 に示すように炉体基礎の上にドーリ架構を乗せる形にすることで高さを安定させることとした。また、これに関しても実験により乗り越える事が可能な段差の高さを求め、スライド台車の特殊樹脂に関しても接合部を溶接しなくとも損傷しないことを事前に確かめた²²。これらの開発は、川崎製鉄と重量物輸送の経験があった山九との共同でなされた。

第五の課題：高炉内での炉体の揚重

高炉上部のやぐらにリフトジャッキを取り付けて最終的には 5000t 程度の炉体を吊り上げることになるが、高炉のやぐらは元来 1000t 程度の加重にしか耐え得ない。したがって、高炉の梁の大幅な補強が必要とされた。元来炉体を吊ることを考慮して設計されておらず、構造も複雑になっているため補強箇所、補強部材の選定は難しい。また、この当時は阪神淡路大震災から日が浅く、改修中に地震に見舞われるケースなども想定したため、より解析が複雑化していた。よって、約 100 モデル×約 30 荷重ケースの高炉架構モデルを解析する必要が生じていた。これを従来の解析システムを利用して行うと数年の月日を要する。そこで、高炉架構に特化した新たな構造解析システムである KBSD(Kawatetsu Blast furnace Structure Design system)を開発した。この解析システムによって従来 1 ケースに 2 ヶ月かかっていたシミュレーション作業が、約 2000 の部材を含んだ解析であっても数時間で解析できるようになった。これにより、複数のケースを短時間で解析でき、いくつかの補強により 5000t の炉体の加重に耐えうることと、そのための具体的な方策が明らかになった。この KBSD による解析例は図表 10 のように示される。

これらの課題解決のための要素技術の確立は、1995 年 12 月までには完了し、さらに各技術に関する実験の大半²³もそれまでに完了した。松田が数土に打診を受けてからわずか半年後で、大ブロックリング工法の要素技術がほぼすべて確立されることとなった。それは、本工法がその効果からすると革新的な工法でありながらも、既存技術の延長であったためことが大きかった。むしろ、純粋に技術開発に要した時間よりも実験により本工法の正当性・安全性を示すことに多くの時間が割かれた。

IV. 担当組織以外からの発案と正当性の確立

大ブロックリング工法に超短期改修は、本来の担当組織以外からその発案がなされたという特徴を持っている。担当組織以外からの発案であったため、より活発な議論がなされ入念な証拠の提示が為された。

²² これまで溶接をしない接合部での使用実績がなかった。

²³ 複合構造物揚重に関する実験は、実物大のモデルを必要とし、予算規模が大きいため会社の許可が必要であった。そのため、翌年の 3 月に完了することになる。

1. 担当組織以外からの発案

川崎製鉄では通常、高炉改修は専門組織である高炉改修班によって為される。高炉改修班は、改修の設計から施工までを一貫して行う。1977年の自社改修開始から1994年までは恒常的な組織であったが、この当時は改修時にのみ組織される形になっていた。また、改修技術に関する新たな技術開発は研究所等においてではなく、その開発・改良も改修班によって行われていた²⁴。

しかしながら、大ブロックリング工法は改修班のメンバーではない松田が発案したものであった。すでに述べたように、開発の中心であった松田は、設備の建設と保全をその業務とする設備技術部長であり、そもそも開発の契機となった千葉製鉄所副所長の敷土による松田への打診も、非公式なものであった。そのため、1995年9月に大ブロックリング工法の開発はスタートしたが、その開発は完全に非公式なものであった。藤田と小島は開発着手の直前に改修班に移籍していたが、改修班の業務とは関係なくこの開発に従事していた。したがって、当初は三人で休日に検討を重ね、開発を進めることとなった。

2. 正当性の確立：入念な検討と承認過程

敷土の打診から二週間で基本的な形は出来上がったが、それまで最短でも110日であった改修を半分の55日程度に縮められるとはにはわかには信じがたいことであった。特に高炉改修に関する責任を持つ高炉改修班は、新しいアイデアに対して慎重な姿勢を崩さず、高炉改修班は従来の方法での改修を中心に検討していた。

高炉改修班が慎重になるのにはそれなりの理由があった。まず、彼らは確実に計画した期日内で改修を完了させる責任があった。万が一、新しい方法に失敗して60～70日を予定していた改修期間が100日やそれ以上になれば、製鉄所全体の生産計画が狂い、大きな損失を背負うことになる。そのため、できるだけ手堅い方法を採用しようとする圧力がかかる。この改修期間の遅延の可能性は改修班のみならず、会社側も危惧していた。また、設備技術部長の松田の発案とはいえ、改修の成否に関しての責任はすべて高炉改修班が背負うことになる。したがって、成功の確証がない新技術を簡単には受け入れられず、高炉改修班は従来工法での改修を主張していた。

こうした懸念や危惧から、1995年12月に特別な審議会が開催されることとなった。審査側には、元改修班長を含む改修経験が豊富なOBが十数人集められ、彼らが新工法に対して持つ疑問や問題点を徹底的に質問し、松田、藤田、小島の三氏がそれに回答する形で行われた。

この審議会が特殊であったのは、同じ技術分野の者同士が二派に分かれて審議を行った点である。通常の審議会では、新技術を導入しようとする集団はそれを専門とする者が全員でまとめ、役員や操業系、事務系の人々を説得する形で議論がなされる。この事は、全員が必ずしも新工法に賛成でなかったことや、新規性が高いうえに失敗した場合の経営上のリスクが大きいため徹底的に議論を尽くす必要があったことを示している。

²⁴ 研究所では、より耐久性の高いレンガやステーブの開発など個々の要素についての研究を行う。工事のやり方(工法)に関しては、実際に施工する高炉改修班によって検討され、必要に応じて技術開発が為される。

この審議会において、松田らは積極的に実験による証拠を示し、提示された様々な疑問や危惧に対して回答し、最終的には懸念を持つ人々からもこの工法の妥当性への理解を得た。この審議会にのぞむ前に松田らは事前に相当数の実験をこなし、個々の要素技術の安全性を確認し、工法の安全性や確実性を準備していた²⁵。これらの実験は、施工上必要であるだけでなく、安全性に疑問を持つ人々への説得のツールでもあったため、実際の条件よりもかなり厳しい条件での実験による証明が為された。

その一例として、片面開先溶接が挙げられる。松田は川鉄マシナリーに依頼し、採用予定の溶接方法で溶接した鉄板を用意してもらい、その鉄板の両側から加重をかけた。荷重が一定の大きさになると鉄板が破断する。そのとき、溶接を行った箇所(溶接線)以外の部分で破断は生じた。つまり、溶接部は非溶接部よりも強く、片面開先溶接は強度に不安を持たないことを示した。

このほかにも、吊換設備のためにコンクリート基礎を作らなくとも良いことも、実際に地面に荷重をかけて沈下量を詳細に測定することで証明した。また、炉体搬入の際、炉外レールと炉内レールの接合部を溶接しなくとも、スライド台車は 0.5mm 以内なら段差を乗り越えられること。スライド台車の特殊樹脂が 100 回以上の段差の走行に耐えうることを多数の走行実験を行うことで検証した。結果として審議会で見出された疑問や危険性はすべて松田らによって解決され、千葉製鉄所の所長は公式に大ブロックリング工法の開発許可を出すこととなった。

所長からの許可により、大ブロックリング工法の開発は正当性を確保し、公式的に研究開発予算や人員面で支援が得られるようになった。例えば、研究開発予算が割り当てられたことで多額の費用を必要とする複合構造物揚重に関する実験を行う事が可能となった。1995 年 12 月に予算が付き、翌 1996 年 3 月までに実験が行われた。実物大の炉体ブロックを製造し、これを様々な方法で吊り上げて、そのゆがみに関する計測を行った。ゆがみによって耐火物に亀裂が入れば、高炉の寿命を短くするので重要な実験であった。藤田も、実験をしないと他のメンバーに納得してもらえない重要な部分であったと述べている。

こうしてさらに実証が進み改修班のメンバーをより説得する事が可能となった。また、所長からの許可を得たことで、従来工法を主張していた高炉改修班のメンバーからも徐々に賛同を得る事ができるようになった。1995 年 12 月以降は高炉改修班長も大ブロックリング工法の開発の討議に加わるようになった。

開発が最終段階に入った 1996 年 3 月の役員会の前に大ブロックリング工法の説明を行い、社長から大ブロックリング工法での改修実施の許可が出された。これに先行して、千葉製鉄所所長と副所長は、開発の経過と経緯を常に社長へと報告していた。社長と副所長は製鋼技術者出身で所長は圧延技術者出身であり、製鉄部門の領域である高炉については専門外であった。しかし、三氏とも大ブロックリング工法の経営上のメリットと工法として十分に実現可能であるということを理解していた。こうした理解が可能であったのは、三氏とも過去に設備の建設に何らかの形で従事していたからである。そのため、重量物の搬送や揚重について具体的にイメージする事ができた。

²⁵ 開発から半年のこの時点ですでに 80%は証拠を添えて十分に説明ができたと言う。

3. 公式的な承認後の展開

社長による大ブロックリング工法の採用という会社としての意思決定が為されてからは、高炉改修班による詳細な設計段階へと進み、松田氏を中心として月に一回程度検討会が継続的に開催された。全体の工事関係の仕事に関しては高炉改修班が主体となり、技術開発は松田氏を中心としたグループが行うという棲み分けが図られた。

詳細設計に入ってから、当初 2 週間で練り上げられた基本コンセプトから大きく逸脱するような計画の変更が為されることはなかった。当初の見通しが的確であり、技術的には既存技術の延長線上であったため、予想外の問題が発生する事が少なかったためである。当初の計画との唯一の変更点は、炉内部のレンガ積みに関することである。当初、鉄皮と耐火物、ステーブの他に、炉の内部に積む耐火煉瓦も一体化した炉体リングを製作する予定であり、実験によりそれが可能である事が確認されていた。しかし、耐火煉瓦まで一体化することによる工期の短縮効果は小さい上に、万が一最終段階の据付で耐火煉瓦が脱落するような事があれば結果的に工期が大幅に伸びることになるため、所長の判断によって耐火煉瓦は従来どおり炉体完成後に積む方式へと変更になった。

詳細設計は 1996 年中にはほぼ終了し、改修工事の準備は順調に進んでいった。その一方で、改修工事開始の 9 ヶ月前の 1997 年 7 月に大ブロックリング工法の発案者である松田氏は千葉製鉄所から水島製鉄所へと移動となり、千葉第六高炉の改修に関してはその担当から外れることとなった²⁶。

V. 超短期改修の成功とその影響

1. 千葉第六高炉改修の成功

1977 年の火入れ以来、連続稼働、累計出銑量で世界最高を記録した千葉第六高炉は吹き止めされ、1998 年 3 月 25 日に改修工事に入った。工事に着手した後も、当初の計画変更を強いられるほどの大きなトラブルに見舞われる事はなかった。各工程も予定通りに進んでいた。唯一工期に遅れが出たのが、残銑解体・搬出工程であった。当初 300t 程度の残銑が出ると予想していたが、それを大きく上回る 800t もの残銑が出たのである。これは、千葉第六高炉が 20 年にも及ぶ長寿命を誇ったが故の結果であった。千葉第六高炉以前は、20 年も稼働する長寿命の高炉は存在せず、残銑量も少なかった。それらの高炉を参考に残銑量を予測したためにこうした結果になった。結局、千葉第六高炉の改修工事では残銑解体・搬出で 5 日間もの遅れを生んだ。そのため、計画通りの 62 日での改修実現が危ぶまれた。しかし、大ブロックの搬入で 1 日、炉底レンガ工事で 4 日工期を短縮した。炉底レンガ工事の短縮化が可能となったのは、従来は 1t のレンガを使用していたのを 3t に大ブロック化したためであった。

このように新規に導入された作業では若干の工期のずれが生じたものの、最終的には大きな問題もなく 62 日で改修工事は終了した。改修によって炉体は 4500m³ から 15% 増の 5153m³ に拡張され、当時国内最大の新日本製鐵大分第二高炉に次いで国内二番目の規模になった。また、銑鉄生産能力も

²⁶ ただし、松田は千葉第六高炉以降、すべての高炉改修に何らかの形で携わっている。

10000t/日から11500t/日へと向上した²⁷。それと同時に、炉体以外の周辺設備も改良し、年間20億円の収益改善が見込めるようになった²⁸。

2. 大ブロックリング工法開発の成果

大ブロックリング工法の開発によって、改修期間の半減や改修作業の安全性向上などの成果がもたらされることとなった。大ブロックリング工法の開発によって、従来約130日を要した改修工事は、世界最短の62日に短縮された(図表1)。特に、旧炉体の解体と新炉体の建設で大幅な工期の短縮が図られた。新炉体の建設では、組立に25日、ステーブの取り付けに15日を要していたのが、わずか5日に短縮されている。また、大ブロックを運搬するために大きな搬出路を確保した結果として、残銑も効率よく運び出す事ができるようになり、それに要する時間が半分程度にまで短縮された。図表11に示されるように、それまでの改修工事と比較しても、千葉第6高炉での改修が画期的に短縮化されたことが見て取れる。また、工期短縮のために行われた炉体の事前製作によって、結果として炉体の精度が上がり、高炉の長寿命化へとつながることも期待されている。

3. 大ブロックリング工法の進化と普及

千葉第六高炉の改修で採用された大ブロックリング工法は、その後進化を続け、川崎製鉄のみならず、NKKとの経営統合によって誕生したJFEスチールのすべての高炉改修において採用されている。こうした短期改修技術の確立により、予備高炉の廃止などの経営面への影響も見られた。また、同業他社へ大ブロックリング工法採用の動きも広がっている。

さらに川崎製鉄では、千葉第六高炉の次に改修が為された水島第四高炉(2001年改修)で新たに二つの技術を開発・確立した。一つは、より狭い敷地での高炉改修を必要とする省スペース化技術である。大ブロックリング工法がはじめて導入された千葉第六高炉は、高炉周辺に非常に広いスペース(15000m²)を確保可能な、恵まれた条件を兼ね備えていた。しかし、多くの高炉はそのようなスペースを持たない。6500m²の工事スペースしか確保する事ができない水島第四高炉では、炉体ブロックを密集させて置く必要があり、組立場で吊換架構を利用して炉体ブロックをドーリに載せかえるとドーリが他のブロックに干渉する。そのため、エアキャスターを利用して炉体ブロックを広い場所へ引き出し、そこで吊換架構を利用してドーリ架構に載せかえることにした。このような変更により、エアキャスターで炉体ブロックを搬送する技術が新たに開発された。

また、吊換架構を炉体ブロック組立場まで自走させずに、広い場所に固定したことによってもスペー

²⁷ 「川鉄千葉、連続稼働記録の高炉改修、来月下旬操業再開—生産性2倍に向上」『日本経済新聞』(1998年04月03日 地方経済面(千葉)(39))

²⁸ コークスなど原料の装入技術を進化させ、遠隔監視なども徹底した。コークスや鉄鉱石が効率よく反応するよう炉内に投入するバルレストタイプの炉頂装入装置を設置した。より安価な原料の使用が可能となった。また、炉体周辺での作業や、高炉自体の操業に関する作業を効率化するため、高炉の周辺機器の遠隔操作や自動運転状況を監視する「運転操作室」と、高炉や熱風炉の操業を制御・監視する「監視操作室」を、「統合操作室」として集約した。これにより、従来の三分の二の人員にあたる合計六人で操業できる体制を敷いた(「川鉄が新技術、高炉操業コスト、年間20億円削減」『日経産業新聞』(2000年02月10日(14))。

スの節約が為された。これらの省スペース化技術によって少ないスペースでも工事をする事が可能となった(図表 12)。すなわち、大ブロックリング工法が広く一般の高炉に適応可能となったのである。もう一つの開発技術は、残銑ブロック搬出技術である。千葉第六高炉の改修工事によって、長期間にわたって操業した高炉では従来とは比較にならないほど大量の残銑が出る事が明らかとなった²⁹。そこで、約500tの残銑を発破で小割せずに搬出する技術を開発し、これにより解体工程の工期短縮を図った。残銑を高炉内から残銑を台車で引き出し、それを吊換架構でドーリ架構に載せ換え搬出するという作業が為される。この際、不規則な形状である残銑を安全に吊り上げるために、事前に実機大・実負荷実験を行い、揚重する技術を開発した。これにより、工期に対する一番のかく乱要因である残銑をより早く解体、搬出できるようになった。

さらに、改修のたびに小さな工夫が重ねられ、それらの積み重ねもまた工期の短縮に貢献している。例えば、炉体ブロックと炉体周辺の配管類の搬出・搬入が同時に為されるようになり、工期の短縮化につながっている。炉体には多くの配管類が取り付けられる。大ブロックリング工法の導入時は、旧炉体から取り外された配管の搬出、新炉体へ取り付け配管の搬入は炉体ブロックの搬出・搬入とは別に行っていた。しかし、現在では、取り外した配管は旧炉体にワイヤーで括り付け搬出し、新炉体に取り付けられる配管類は炉体ブロックに括り付けて同時に搬入している。小さな工夫であるが、それによりかなりの時間が短縮された。また、炉体ブロックを屋外で保管する際には中の耐火煉瓦を濡らさぬように覆いをかける必要があるが、これに関しても素材や方法の工夫がなされた、取り扱いやすいものが特別に製作されている。

こうして短期改修技術の確実性が高まったことにより、川崎製鉄(現 JFE スチール)では改修に備えた予備高炉の破棄が可能となり、設備の効率的な運用が可能となった。1990 年の水島第三高炉改修時には、銑鉄確保のために休止中の水島第一高炉に簡単な改修工事を施し、改修期間中だけ臨時操業させた³⁰。この臨時操業は、2001 年の水島第四高炉改修時にも為されたが、それを最後に改修期間中の高炉の臨時操業は行われなくなり、水島第一高炉も設備廃棄されている。同様に、千葉においても第五高炉が設備廃棄され、第六高炉のみの操業となった。改修期間が短縮されたことにより、改修に備えた余分な設備を保有する必要性が小さくなったのである。

また、川崎製鉄での大ブロックリング工法による超短期改修の成功により、同業他社も大ブロックリング工法を採用するようになった。新日本製鉄は、千葉第六高炉改修の2年後の2000年に名古屋第三高炉の改修を大ブロックリング工法によって行っている。川崎製鉄と同様の方法で旧炉体の搬出を行い、新炉体の高炉内への取り込みも同様に炉体の上部から順に下部へ向かって行っている³¹。これにより、名古屋第三高炉では改修期間が93日に短縮された。その後、2003年の君津第四高炉改修では88日

²⁹ 水島第四高炉では、千葉六高炉の2倍を越える2100tの残銑が出た。その後の高炉でも1000t、2000tクラスの残銑が常に出ている。

³⁰ 「川崎製鉄(中)本業中心に合理化—NIESの追撃、逆風に備え(会社が変わる)」『日本経済新聞』(1990年02月22日(13))および「川鉄と住金、休止高炉を活用—改修時の銑鉄確保図る」『日経産業新聞』(1990年03月1日(1))

³¹ 新日本製鉄技術開発本部 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「進化」を遂げ、未来をみつめる新日鉄の高炉改修技術『NIPPON STEEL MONTHLY』2003年10月号, pp1-4.

に短縮され、さらに 2004 年の大分第二高炉では 79 日に短縮された。このように、新日鉄においても工期が次第に短縮されてきている。炉底ブロックと炉底レンガの一体化への取り組みなどの新技術も開発され、川崎製鉄がその開発と確立に先鞭をつけた大ブロックリング工法は、同業他社へも普及することとなった。

VI. おわりに

1. 開発の成功要因：発想の転換と説得、組織的支援、正当性の確立

短期改修の成功は、松田らが発案した大胆な発想によるところが大きい。その意味で、大ブロックリング工法は、炉体ブロックを従来の構想とは逆に上から製作することや作業床の一体解体といった松田らによる発想の転換によって生まれた。そうした発想の源泉は彼らが考え抜いた末に、生み出した創造性に帰される部分が大いなのかもしれない。しかしその一方で、その創造性が現実の技術的成果として実現した背景には、彼らが組織に対する説得を通じて、公式組織である高炉改修班や経営陣からの組織的支援を得たことも挙げられる。新工法に至る発想の転換が欠如しても、新工法実現のための説得や組織的支援が欠如しても大ブロックリング工法の確立はありえなかったであろう。経営陣の最終的な判断も大きい。

松田らは、高炉の建設や多数の改修工事に従事することで、個々の要素技術のスペシャリストにはならず、すべての要素技術(例えば、溶接や揚重など)を網羅する一方で、設備全体を大局から見渡す技術者としての経験を積んだ。その結果、大局から全体の工事を抜本的に見直す発想を生み出す事ができた。さらに全体の構想を具体的に個々の要素技術にブレイクダウンする事ができた。全体と個の両方を熟知している事が新しい工法を生み出す土壌となった。また、溶接や揚重といった個々の要素技術を熟知している事は説得のプロセスで大いに役立った。個々の要素技術の開発について見通しが立てられたが故に、全体としての工法の成功を確信する事ができ、個人的な確信があったからこそ、彼らは積極的に改修班や経営陣に対して説得を行う事ができた。さらに、説得が成功し組織的支援が確保できたのは、担当組織外からの私的な発案に対して、特別な審議会が開催され、技術的な議論が尽くされた。こうした議論があったからこそ、開発が正当化され、組織的支援が十分に与えられることになった。

誰もが事前に考えて合理的だと納得し、合意形成できるような開発テーマから事後的に振り返ってブレイクスルーと呼ばれるイノベーションは生まれにくい。しかし、その一方で、ある技術的解決策がイノベーションという形で実現するためには、技術的な課題の解決はもちろんのこと、その解決策が事後的に組織内外で受容され、具現化に必要な組織的支援を通じた資源の獲得が必要となる。その意味で、イノベーションのプロセスとは、知識創造のプロセスであると同時に、新たに生み出した知識の正当性と資源獲得の正当性の確立を必要とする様々な利害集団へ向けた説得プロセスでもある。

高炉の改修工事は頻繁に行われるものではないため、大胆な工法を新規に採用する動機は本来小さい。新たな工法を採用することによる改修工事の大幅な遅延のリスクを事前に最重要視したならば、従来の工法を採用し続けることが事前には最も合理的であったはずである。しかし、松田らは、単なる発

案に留まらず、実験データによる検証によって組織的支援を取り付け、大ブロックリング工法という新しい改修方法の正当性を確立していったのである。

2. 結び

大ブロックリング工法の開発という成功を生んだ体質を保持する事は容易なことではない。大ブロックリング開発に至る発想の転換は、幅広い現場経験ゆえに生まれたものであると考えられるが、近年では幅広く現場で技術的な課題を解決する経験を積むことが難しくなりつつある。例えば、JFE スチールでは、2006年度の福山地区の改修工事が終了すれば、ほぼすべての高炉の改修工事が終了する。高炉の長寿命化が進んだ今では、次の改修まで長いブランクがあり、松田らを育てた高炉の建設も現在では行われていない。そのため、高炉設備の建設・保全・改修に関する技術の伝承や、個別の要素技術に関する知見を持ちつつ、総合的判断も下せる人材を育てることが課題となっている。

2003年4月に川崎製鉄は、NKK 鉄鋼部門と経営統合し、新たに JFE スチールとして出発した。鉄鋼需要が未曾有の高まりを見せる一方で、中国・韓国等のメーカーの追い上げも激しい。その中で、JFE スチールは、昼夜を問わず新たな課題解決を積み重ねる現場の技術者によって、新たなイノベーションへの果敢な努力が続いている。

参考文献・資料

藤田昌男氏(JFE スチール西日本製鉄所設備部高炉改修班主任部員)へのインタビュー(2005年3月2,3日 JFE スチール西日本製鉄所福山地区)

藤田昌男, 小島啓孝, 松田恵嗣, 木口満「大型高炉の超短期高炉改修技術の開発について」(大河内賞ケースプロジェクト講演会用論文 2004年12月8日)

藤田昌男・小島啓孝・丸島弘也・木口満・川手修「大型高炉の超短期高炉改修技術の開発について」『山陽技術雑誌』Vol.50, 2003.

川崎製鉄株式会社社史編纂委員会(2000)川崎製鉄五十年史

松田恵嗣「大型高炉の超短期高炉改修技術の開発について」(大河内賞ケースプロジェクト講演会用パワーポイント資料 2004年12月8日)

松田恵嗣氏(JFE メカニカル常務取締役東日本事業部長), 藤田昌男氏による公演およびインタビュー(2004年12月8日 一橋大学イノベーション研究センター)

松田恵嗣氏, 藤田昌男氏, 小島啓孝氏(JFE メカニカル西日本事業部高炉改修プロジェクトコアスタッフ)へのインタビュー(2004年12月27日 JFE スチール西日本製鉄所福山地区)

新日本製鉄技術開発本部 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「“進化”を遂げ, 未来をみつめる新日鉄の高炉改修技術」『NIPPON STEEL MONTHLY』2003年10月号, pp1-4.
鉄鋼新聞社『鉄鋼年鑑』各年版.

「川崎製鉄(中)本業中心に合理化——NIESの追撃, 逆風に備え(会社が変わる)」『日本経済新聞』(1990年2月22日(13))

「川鉄が新技術, 高炉操業コスト, 年間20億円削減」『日経産業新聞』(2000年2月10日(14))

「川鉄水島, 最短110日で稼働——第3高炉, 改修し能力増」. 『日経産業新聞』(1990年1月27日(1))

「川鉄と住金, 休止高炉を活用——改修時の銑鉄確保図る」『日経産業新聞』(1990年3月1日(1))

「川鉄千葉, 連続稼働記録の高炉改修, 来月下旬操業再開——生産性2倍に向上」『日本経済新聞』(1998年4月3日地方経済面 (千葉)(39))

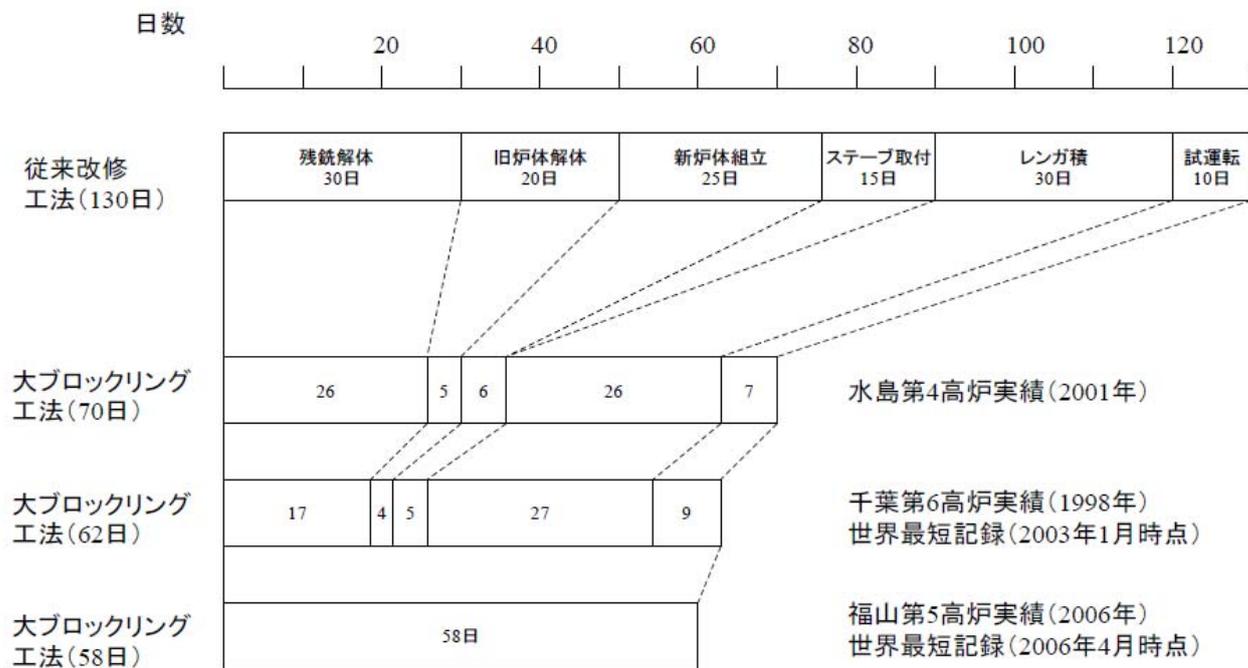
ホームページ

JFE スチール西日本製鉄所 (<http://www.jfe-steel.co.jp/works/west/>)

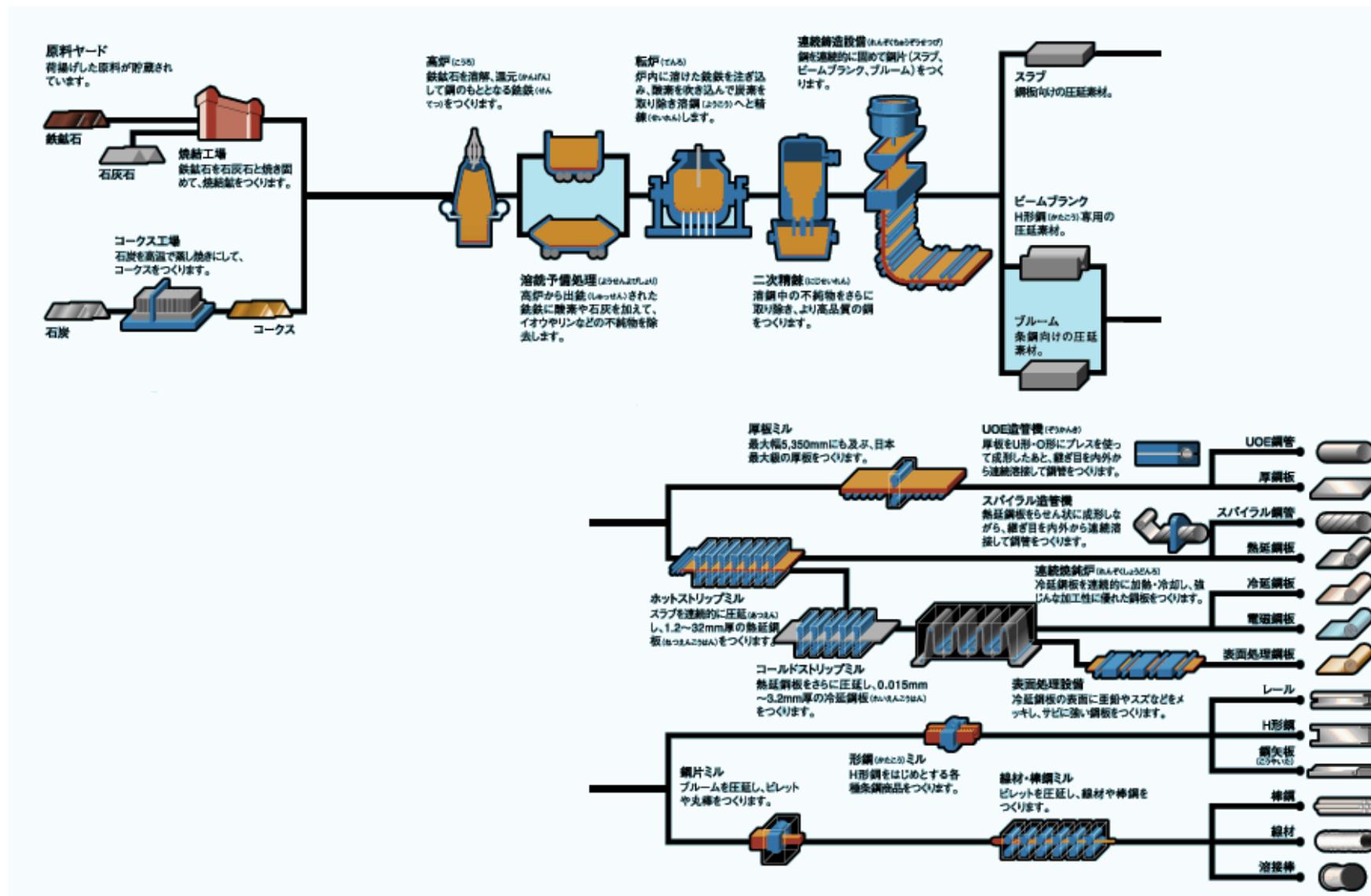
図表1 大ブロックリング工法と従来工法との比較(JFE スチール提供)

改修工法	従来工法	大ブロックリング工法
工法内容	10~20tの鉄皮ブロックを吊換え搬入し、現地で溶接	重量約2,000tの完成した炉体ブロックを一体で搬入
分割数	500~1,000ブロック 1ブロック;10~20t	3~4ブロック 1ブロック;約2,000t
改修期間	130日	62日

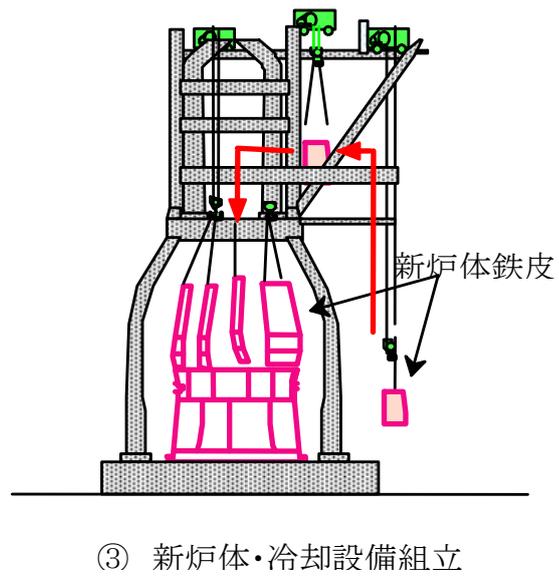
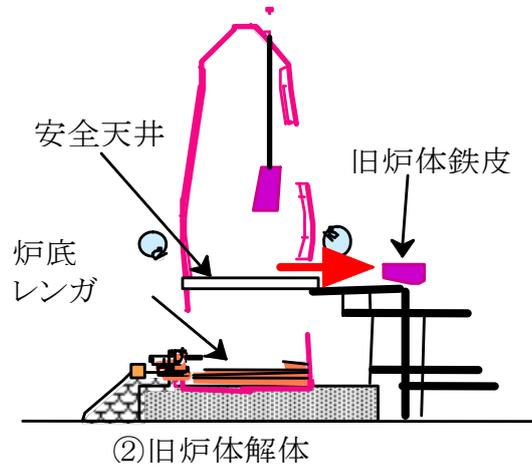
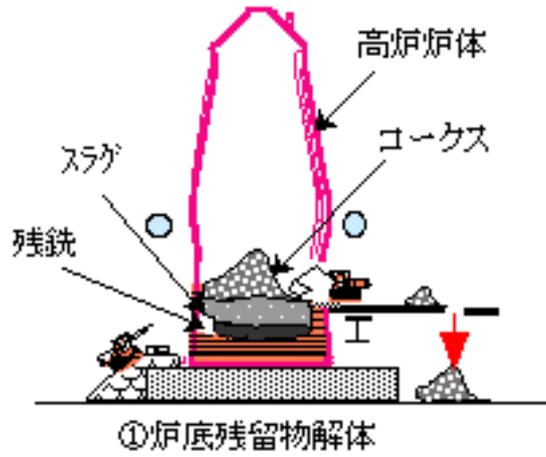
図表 2 大ブロックリング工法と従来工法との比較(JFE スチール提供資料に一部加筆)



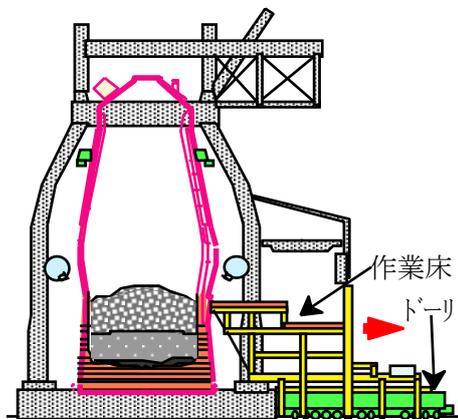
図表 3 主要設備と製造工程



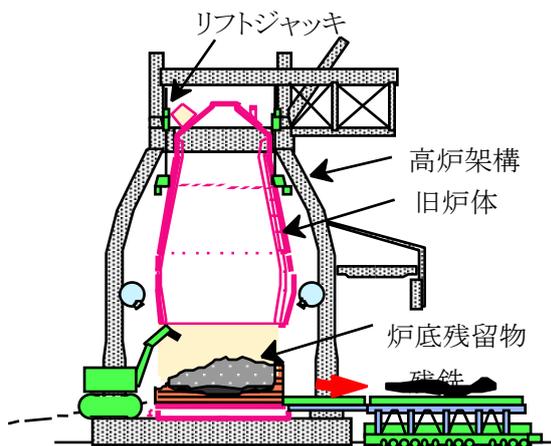
図表 4 従来の改修方法(JFE スチール提供)



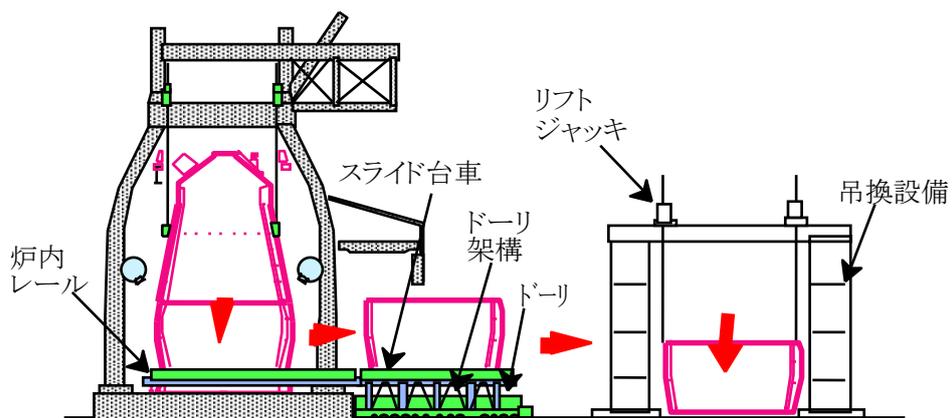
図表 5 大ブロックリング工法による旧炉体の解体工程 (JFE スチール提供)



①作業床一体解体

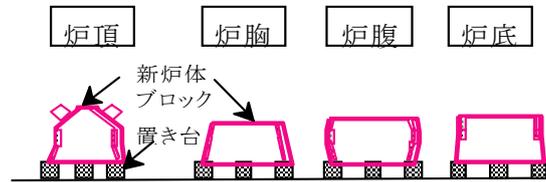


②炉底解体

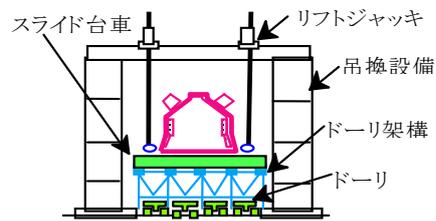


③旧炉体ブロック搬出

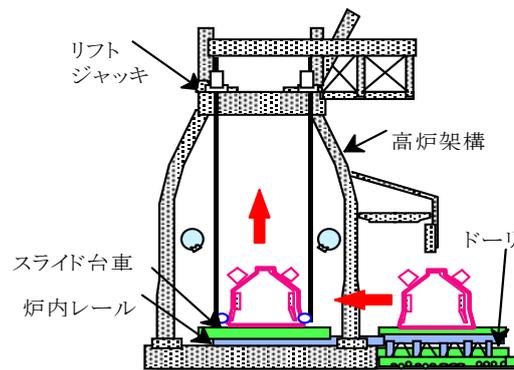
図表 6 大ブロックリング工法による炉体の組立 (JFE スチール提供)



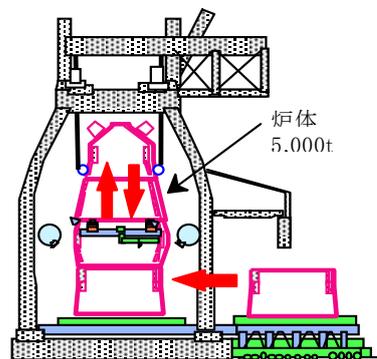
①新炉体ブロック事前施工



②新炉体ブロック搬送準備

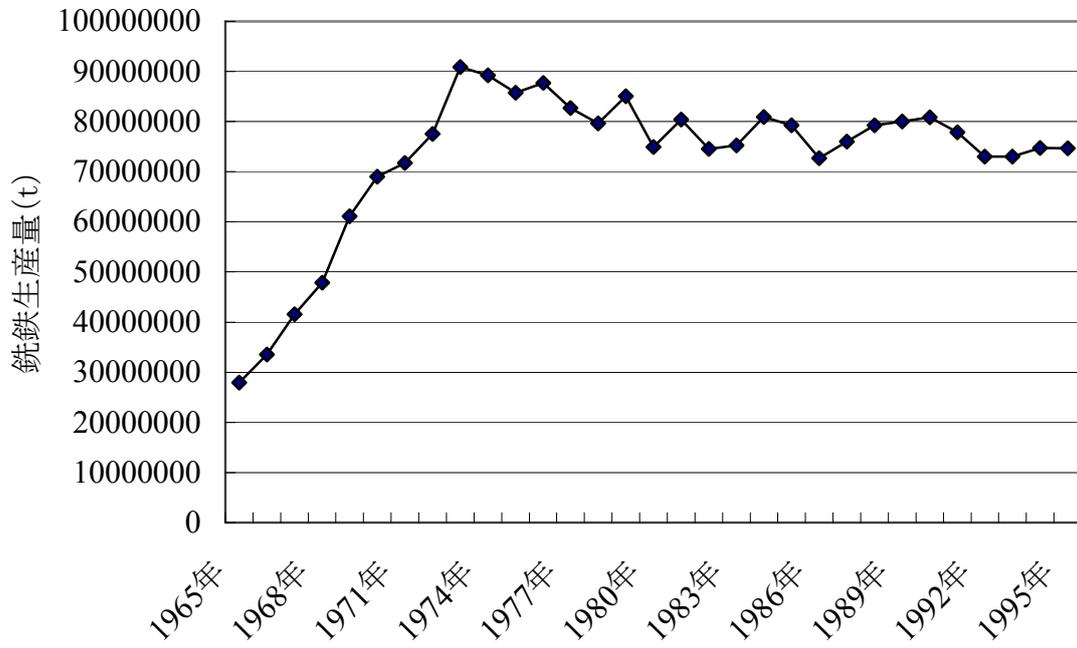


③新炉体ブロック搬入

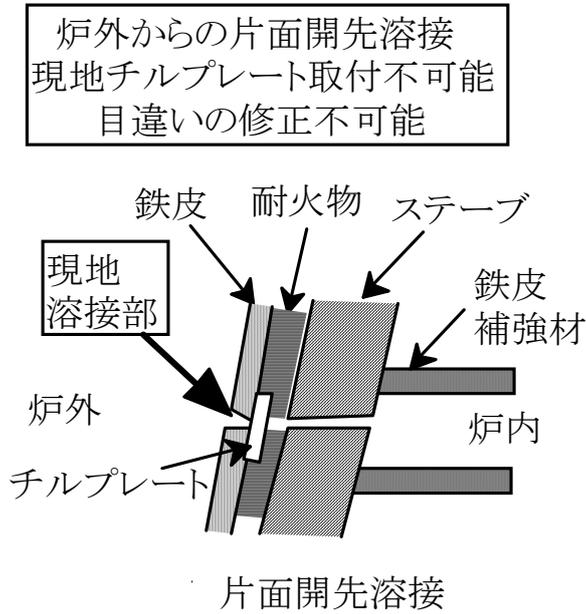


④新炉体一体吊上げ・据付

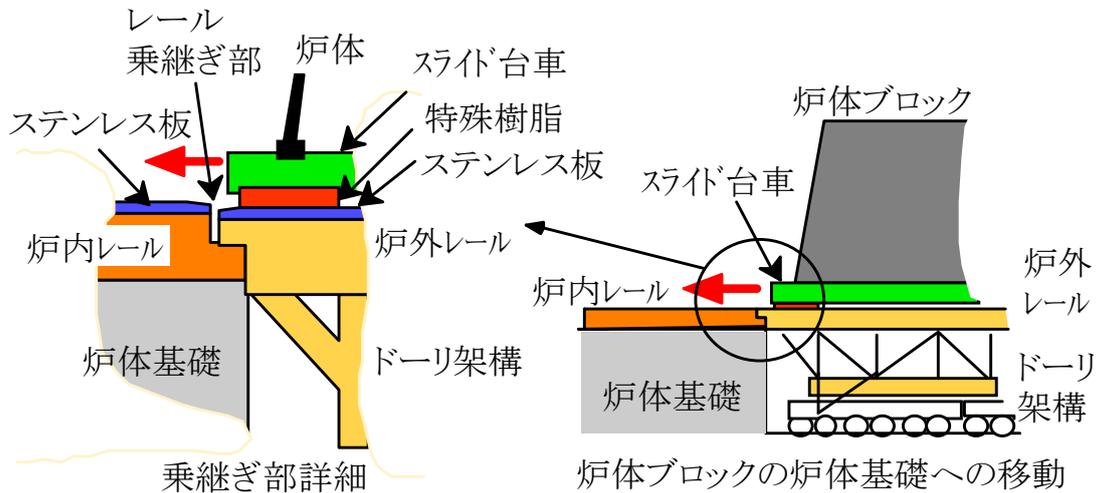
図表7 高炉による銑鉄生産量



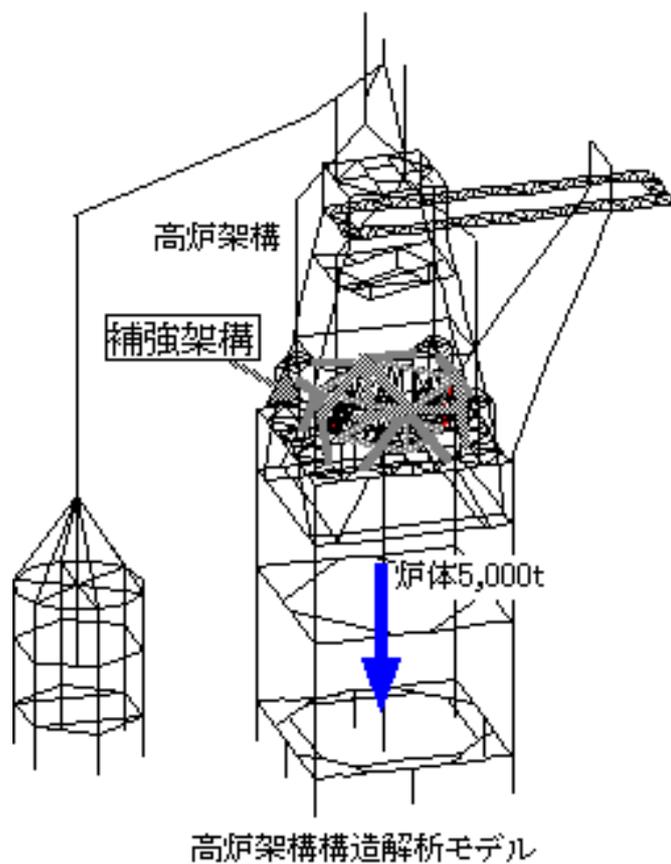
図表 8 新たな片面開先溶接(JFE スチール提供)



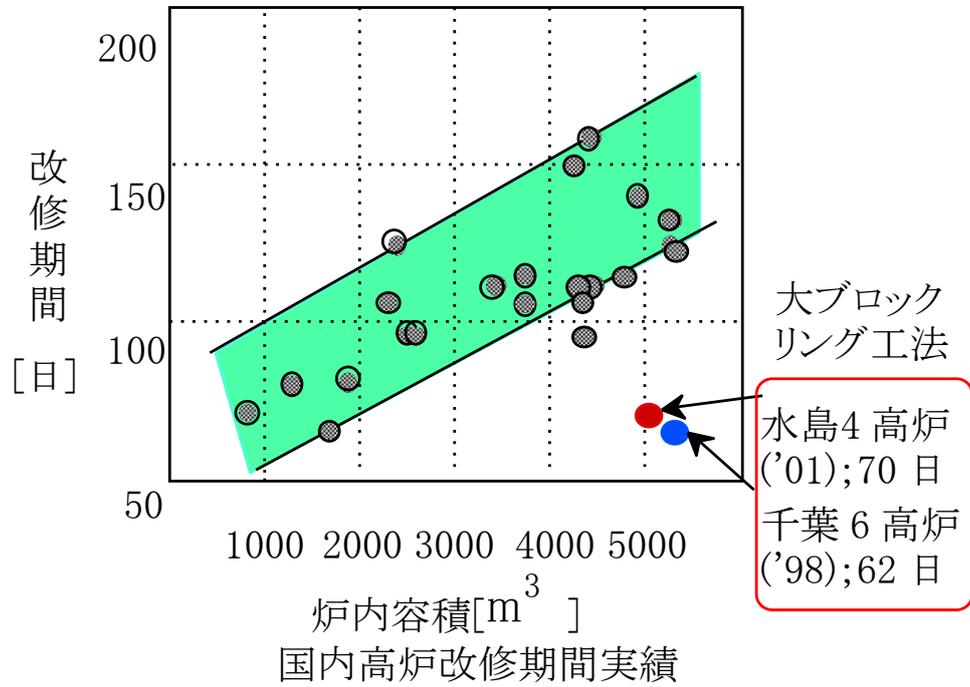
図表 9 炉外レール, 炉内レール間の溶接の省略(JFE スチール提供)



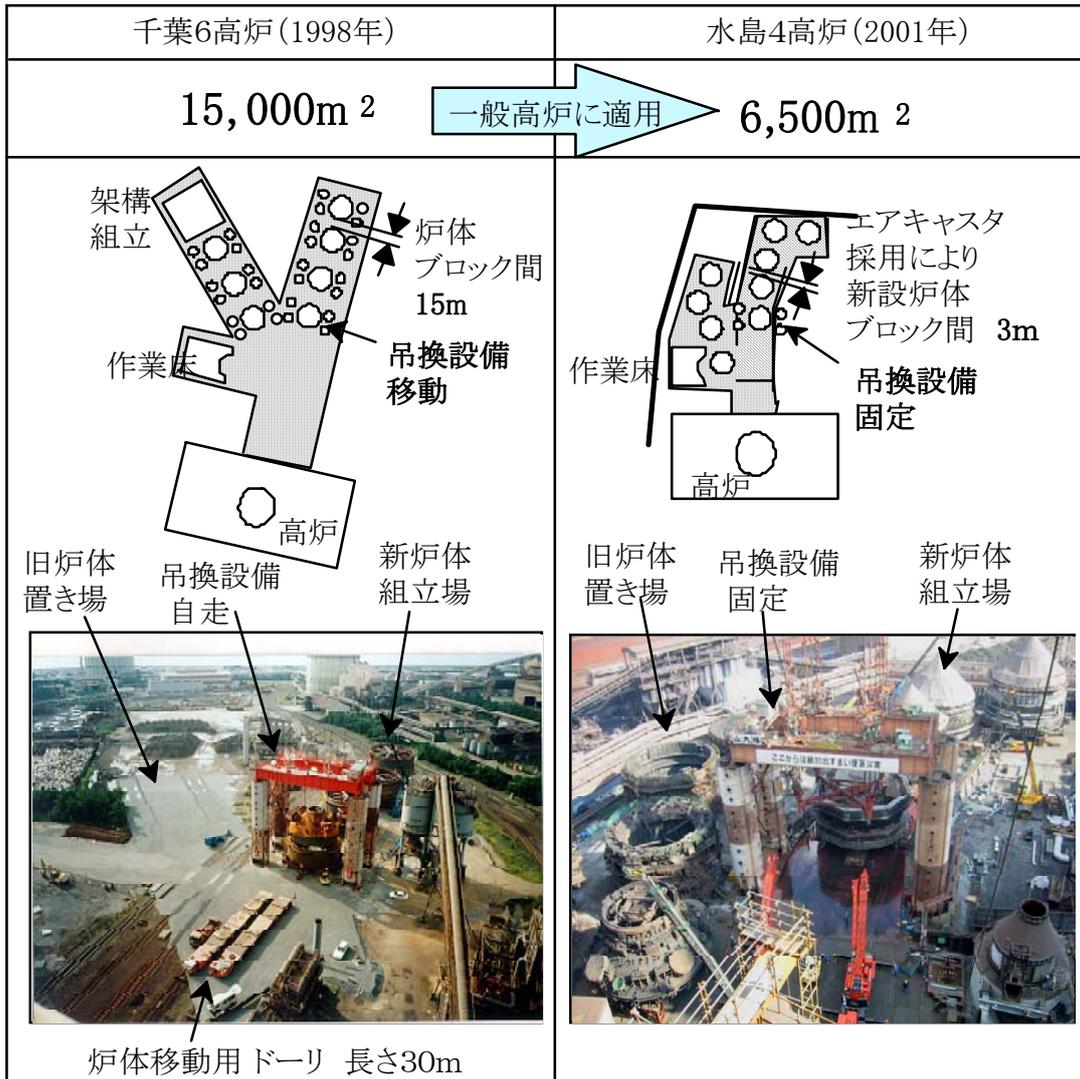
図表 10 高炉架構構造解析例(JFE スチール提供)



図表 11 改修期間の比較 (JFE スチール提供)



図表 12 改修工事の省スペース化(JFE スチール提供)



図表 13 特許出願状況(件数)

	国内	国外	合計
方法	58	14	72
装置	39		39

IIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2009

NO.	著 者	タ イ ト ル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003 年 2 月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004 年 3 月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004 年 3 月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004 年 3 月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004 年 3 月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績 V 字回復への改革」	2004 年 3 月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004 年 3 月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004 年 3 月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004 年 3 月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004 年 3 月
CASE#04-12	伊諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004 年 3 月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004 年 10 月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004 年 10 月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004 年 11 月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A): 事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B): 事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
------------	--------------	---	------------