

高炉技術の系統化

Historical Development of Blast Furnace Technologies

彼島 秀雄 Hideo Kanoshima

■ 要旨

わが国の製鉄業は安政4年（1857）に大島高任が釜石大橋地区で洋式高炉を創設して以来150年を迎える。当時は、古来の「たたら法」で製造される砂鉄銑で製造した大砲の砲身強度が不十分であったことから、高温炉で精錬される均質な銑鉄を大量に製造することを目的として、釜石の塊銑石を原料として自ら翻訳したヒュゲニン著「大砲鑄造法」（日本での略称）の知識を頼りに独自の洋式高炉を創設したものであった。

明治政府の富国強兵、殖産興業政策による民間需要や日清日露戦争の勃発による軍機需要の増加に対応して、官営釜石銑山ではイギリス技術による近代製鉄法（日産25t高炉）が導入され、官営八幡製鉄所第1高炉においてもドイツ技術による銑鋼一貫製鉄法（日産160t高炉）が各々外人技師の指導で実施されたが成功しなかった。両製鉄所の導入設備は最新の性能を有するものであったが、我が国の石炭性状に対する知識や認識が甘く、高炉の大きさに相応しい強度のコークスを製造することができず安定な操業ができなかったことが原因であった。当時のわが国の石炭には強粘結炭がなく、高炉の内容積に相応しい潰裂強度を有するコークスを日本人自らの知恵で創り出す必要があった。

第2章では大島高任の洋式高炉法、釜石銑山での近代製鉄法の導入とコークス高炉法の誕生に至る推移について述べ、第3章では八幡製鉄所の創立計画の変遷と外国技術の直訳的導入に対する我が国自らの技術適応（最適化）について述べる。

第1次世界大戦後は、旺盛な鉄鋼需要の進展に刺激されて官営製鉄所と民間製鉄所が併進する体制となる。ここではわが国の銑鉄自給率の拡大と外国銑に対する価格競争力が経営課題となり、高炉の生産能力の拡大と労働集約的な作業の合理化を図るための設備投資が積極的に実施され、投融資環境も整備された。

第4章は第1次世界大戦から第2次世界大戦に至る動乱期における鉄鋼業の編成と第2次世界大戦前に於ける高炉技術の到達点について述べる。

戦後の高炉技術の発展は、戦後復興期に於ける米ソ対立、経済の高度成長戦略やエネルギーや鉄鉱資源の動向に大きく支配された。

第5章では戦後復興、高度成長期における臨海新立地での大型化と効率化の推進と地域環境対策、第6章では石油危機に端を発した量から質への転換期における脱石油・省エネ技術の展開、第7章ではプラザ合意による円高に対応した製造拠点の集約化と労働生産性の向上、21世紀における途上国の成長に伴う鉄鋼需要の世界的拡大への技術対応について述べた。

戦後の高炉の発展は多くの外国技術の積極的導入によって進められたが、高炉の大型化は設備や操業トラブルが発生した場合に極めて大きな生産リスクを伴う。設備故障を回避し信頼性を高めるために設備の完成度を高め、安定操業を確立するためには技術を標準化し付加価値を高める活動が不可欠であり、わが国独自の革新技術も生まれた。企業間の切磋琢磨による競争と協調、共通課題に対する産学官による共同研究の実施など、我が国独特のもの作り文化によってわが国の鉄鋼技術は世界最先端の水準に至った。

■ Abstract

Japan's iron industry recently celebrated its 150th anniversary. The industry began in 1857 (the 4th year of the Ansei era) when Takato Oshima built a Western-style blast furnace in the Ohashi district of Kamaishi, Iwate Prefecture. At that time, because cannon barrels constructed from sand pig iron using the traditional Tataro process lacked sufficient strength, Oshima sought to produce large volume of pig iron of uniform quality refined in blast furnaces. He built his own Western-style blast furnace using Kamaishi's lump ore and knowledge from Huguenin Ulrich's The Casting Processes at the National Iron Cannon Foundry in Luik (written in 1826), which he translated himself.

To meet the increase in demand by the military as a result of the Meiji government's policies of "Enrich the country, strengthen the military" and "Increase production, promote industry," English early-modern steel production techniques were introduced at the government-run Kamaishi mine (with a blast furnace of 25t daily output). Integrated steel production (using a 160t daily output blast furnace) was also implemented using German technology at the government-run Yawata iron and steel mill's No.1 blast furnace. Both steel mills were built under the assistance of foreign engineers, however, they were unsuccessful. While the steel mills possessed the newest facilities and capabilities, They lacked sufficient knowledge about the performance of coal. Thus coke strong enough for the size of the furnaces was not produced and the furnace could not be stably operated. Japanese needed to develop their own knowledge. At that time, strongly - caking coals were not available with Japanese coals.

The greatest technological challenge was to establish production methods for coke that has strength against breaking appropriate to the inner volume of blast furnaces.

After world war I, stimulated by growth in the demand for steel, Government-controlled and private-sector steel mills grew in tandem. The increase of Japan's self-sufficiency rate in steel and the price war against foreign steel became industry challenges. Investment in facility was actively pursued to rationalize the expansion in the production capability of blast furnaces and in labor-intensive tasks. An environment of investment and loan was also established .

After World War II ,the development of blast furnace technology was greatly influenced by the advanced economic growth strategy, and trends in energy and iron ore resources. Large-sized integrated iron and steel woks were constructed on bay sites.

In response to the strong yen set by the Plaza Accord, and the rise in the global demand of steel in the 21st century by the growth of developing countries, the intensification of production sites and improvements in labor productivity have been accelerated.

The development of blast furnaces after the Second World War has proceeded with the active introduction of foreign technologies, but this has also brought major production risks when facility and operation problems occur as blast furnaces become larger.

Work is essential to raise the completeness of the facilities to prevent incidents and improve reliability. Also needed is standardizing technology and increasing added value to establish stable operations.

These efforts have given birth to Japan's own innovative technologies. Japan's steel technologies have attained the most advanced level in the world thanks to honing by competition and cooperation among companies, research collaboration by government, industry, and academia to solve common challenges, and the country's unique artisanal culture.

■ Profile

彼島 秀雄

Hideo Kanoshima

国立科学博物館 産業技術史資料情報センター・主任調査員
日本鉄鋼協会 正会員

昭和36年 3月	京都大学工学部 冶金学科卒業
昭和36年 4月	八幡製鉄株式会社入社(現新日本製鉄株式会社)
昭和62年 7月	新日本製鉄大分製鐵所 製鉄部長
平成 3年11月	本社 製鉄技術部長
平成 4年12月	参与(製鉄技術部長委嘱)
平成 6年 7月	株式会社「鉄原」常務取締役
平成14年 6月	退任
平成21年 4月	国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

■ Contents

1. はじめに	81
2. 高炉製鉄法の特徴	83
3. 高炉製鉄法の萌芽と近代製鉄法の導入と発展	87
4. 官営八幡製鉄所での鉄鋼一貫製鉄所の建設	96
5. 戦前の官民並立態勢での高炉技術の自主的発展	105
6. 戦後復興と鉄鋼合理化計画の推進	114
7. 高度成長の終焉と量から質への転換	133
8. 産業構造の再構築と世界的再編	144
9. まとめ	156

1 はじめに

わが国の製鉄業は釜石での洋式高炉の発祥以来 150 年を迎えた。木炭と鞆（ふいご）送風を主たる生産手段とした高炉製鉄法は 14 世紀にドイツで発祥し、ダービー父子によるコークス高炉製鉄法及とバドル法による製鋼法が 18 世紀後半にイギリスで発明され、重工業と軍機を中心にイギリスが世界の覇権を確立した。19 世紀に入ってベッセマー転炉法等の近代製鋼法の発明を足がかりに欧州や独立戦争後の米国で需要産業と同期して製鉄業は発展した。わが国におけるコークス高炉法の発祥はイギリスに遅れること 160 年である。

鉄鋼は産業発達に不可欠な素材であり、明治大正期においても、戦後の経済成長期においても急増する国内鉄鋼需要を満たすためには外国発の技術を導入しキャッチアップする方法が経済的、効率的な手段であり、それ以外の選択枝はなかったと言える。製鉄部門でも外国技術を直訳的に導入し、国内条件への適応や改善を継続的に繰り返すことによって最適化を迫ってきた。その過程で新規性、進歩性のある技術が累積的に生まれる土壌や文化が形成された。

この結果、戦後の高度成長期に内容積 3,000m³ 以上の大型高炉の建設段階では世界の最先端を行く勢いで基幹産業としての責任を果たすことができた。

一貫製鉄所における高炉の役割は、多量で良質の「鉄鉄とエネルギー」を安価に製鋼以降の工程に提供することである。高炉内容積の拡大が先ず追求された。そのためには高炉内容積に相応しい潰裂強度を有するコークスを製造することが最重要な技術課題であった。わが国では強粘結炭が得られず、国内炭を中心とした石炭の洗炭、粉碎、配合技術の探索とコークス炉の建設に全力が傾注された。この結果、戦前の技術到達点として日産 1000t 高炉と副産物回収コークス炉を国産技術で建設する実力を養うことができた。

第 1 次世界大戦後は労働単価の上昇が顕著となり、外国鉄に対するコスト競争力を確保するために労働集約的作業の合理化、エネルギーの製鉄所内一貫化を実施するための積極的な設備投資が行われ投融资環境も整備された。官営製鉄所、民間製鉄所、海外製鉄所を舞台として捲上設備の機械化、熱風炉能力の拡大、炉前作業の機械化が実行された。

戦後にあっては経営資源（資本、原燃料、人材）の効率的運用を図り、高炉大型化による「規模の経済」の追求と資源投入原単位の削減（出鉄比の拡大、コークス比の低減、労働生産性の向上）を同時並行的に推

進することが高炉に課せられた使命であった。

技術シーズとして炉容積の大型化に合わせて、鉄鉱石の整粒強化と粉鉱石の塊成化、コークス強度の向上、高圧操業・高温送風・燃料吹込みなど複合送風技術の高度化が追求された。石油危機を契機にした量から質への時代では世界に先駆けて省資源・省エネルギー技術の開発に取り組み、計測制御・分析・炉材・環境・IT 技術を活用した設備技術を装備し世界最先端の技術水準を確保することができた。このような技術的な進歩を可能にした原動力として「時（機会）」と「地の利」を的確に生かした「人の力」を忘れることができない。具体的事例を紹介しよう。明治期の官営釜石鉄山の経営は鉄鋼需要の未発達が主原因で挫折するが、わずか数年後に再建された民営の釜石鉱山田中製鉄所では数十回の小型高炉の立ち上げ操業の失敗を乗り越え、イタリア・グレゴリー鉄に比肩しうる砲弾性能とコスト競争力を有する釜石鑄物鉄の製造に成功し新規需要を開拓した。その背景にある旺盛な起業家精神と強い使命感をもって一遇のチャンスを活かした事例である。また、戦後復興に際して不幸な朝鮮戦争が勃発し特需が発生するが、急増する需要を満たし見事な復興を果たした要因は、米軍当局の援助もさることながら戦後荒廃の最中で「製鉄設備調査団」を結成して各高炉、コークス炉の戦争被害調査を行い、施設復旧の工事工程、所要資金、必要資材等の綿密な事前調査を実施するなど「復興への備え」を怠らなかった先人の働きを挙げることができる。高度成長期の最大の成功要因は「臨海地区における新規立地」の選択にあるが、原料の事前処理設備の建設に必要な広大な用地の確保や原料入荷から製品出荷に至る輸送効率の高い工場レイアウトを徹底的に迫るなど、新規立地であるが故の「地の利」を最大限に生かしたことが挙げられる。

「人の力」の育成に係わる事例としては、官営八幡製鉄所第 1, 2 高炉建設に係わる設計製作はドイツに全面委託したが建設工事は製鉄所が自ら主管することによって第 3 高炉以降のエンジニアリングは自社で行う方針で組織官制と工作、修繕工場を準備し、職工育成のための人材育成施策を推進した。これによって外貨不足の中でいち早く関連メーカーを育成して高炉、コークス炉建設の国産化を達成する事ができたと評価できる。第 1 次世界大戦以降の国際的コスト競争力を維持するためには経営資源の労働集約から資本集約へ

の転換が急務との認識で大正4年(1915)に日本鉄鋼協会が設立され「鉄及び鋼ニ関スル學術、經濟ソノ他一切ノ問題ヲ研究調査シ、本邦ニ於ケル事業ノ改良発達二期スル」として先進的な技術情報の収集と伝承、産学官協同研究の推進、機関紙「鉄と鋼」の発行など情報収集と調査活動を早くから推進しており、戦後の技術導入に際しても米国からの熱管理、品質管理技術を率先吸収して現場で成果を挙げている。例えばコークス分野ではポイドメーターによる石炭配合バラツキの低減、コークス消火作業に関する工程分析によるコークス水分の低下の実現、コークス炉温、炭化時間の適正管理によるコークス強度と粒度品質の顕著な改善成果を挙げることができる。技の伝承と巧みの育成を尊重するわが国の「もの作り文化」が強い技術競争力を生む源泉であろう。

今回の技術系統化プロジェクトでは製鉄所のエネルギーとコストの要諦を占める「高炉技術」を取り上げた。わが国の製鉄技術は専門技術者によって適宜、総括されており、「わが国製鉄技術の進歩」(昭和52年)、「原燃料から見たわが国製鉄技術の歴史」(昭和59年)、「戦後復興期に於けるわが国鉄鋼技術の発展」(平成4年)などが産業政策史、製鉄技術史の立場から解説されている。

外国技術を羅針盤とした時代を終え新たな革新を追求する段階では、自己が歩んで来た道筋を見据えて出口戦略を迫り「選択と集中」によって「技術革新」に挑戦する。この意味で技術系統化は不可欠である。高炉技術変遷の節目となった革新的技術についてその社会的背景の中で追求された取り組みについて原典に近いところで時代区分に応じて調査する方針とし、革

新的技術については可能な範囲で敷衍するよう努めた。

第1章は高炉製鉄法の特徴をガイダンス的に紹介し読者の理解を深めることを目的とした。

第2章では萌芽期の洋式高炉法の成功、明治維新での釜石鉄山での近代製鉄技術の導入と発展、第3章では日清、日露戦役での鉄鋼需要拡大に対応した官営八幡製鉄所での鉄鋼一貫製鉄所の建設と発展について述べた。

第4章では第1次世界大戦から第2次世界大戦に至る動乱期の鉄鋼業の再編、官営、民間製鉄所、海外製鉄所並立による自立的発展について述べた。

第5章では戦後復興、高度成長期における臨海新立地での大型化と効率化の推進と地域環境対策、第6章では石油危機に端を発した量から質への転換期における脱石油・省エネ・資源対応技術の展開、第7章ではプラザ合意による円高に対応した産業構造の転換、世界的な鉄鋼再編での生産拠点集約を含めた労働生産性の向上、発展途上国の成長に伴う鉄鋼需要の拡大への技術対応について概説した。

高炉内の基本となる化学的、物理的メカニズムは発祥以来大きな変化はないが、鉄鉱石、石炭、エネルギー等の資源の処理や利用方法、高炉の運転方法、目標とすべき課題や主要技術指標は時代の社会的背景、資源動向に色濃く影響され技術革新が行われている。これらの現場での態様を具体的事例で記述するように努めた。

尚、混同混乱を避けるため固有名詞を含め「製鐵」は「製鉄」と表記したこと、引用図表での書体、フォント、旧仮名遣いの変更、原図への必要な加筆を適宜させて頂いていることをお断りしておく。

2 | 高炉製鉄法の特徴

2.1 高炉プロセスの概要

高炉とは鉄鉱石から高温の溶融した鉄鉄（溶鉄と称する）を製造するための炉である。

製鉄所の最終製品は各種の圧延工場で生産される鋼材（鋼板、厚板、鋼管、条鋼線材、電磁鋼板など）であるが、一貫製鉄所の製造工程は製鉄、製鋼、圧延加工の3工程で構成されている。高炉は、最先の製鉄工程に属し鉄鉱石とコークスを原料として、大量の品質の良い溶鉄を安価に供給する役割を果たす。高炉工場は高炉本体、鉱石やコークスを装入するための原料捲上・装入設備、高温の空気を炉内へ吹き込むための送風機や熱風炉、高炉排ガスを再利用するための高炉ガス清浄設備、高温の溶鉄やスラグを処理するための鋳床設備や環境集塵設備などの付帯設備から構成されている。高炉工場、鉄鉱石の事前処理、粉鉱を塊成化する製鉄原料工場、コークスの製造、副産物の回収を行うコークス工場を総称して製鉄部門と称する。

我が国の高炉内容積は世界最先端を行く4000m³級以上の超大型高炉がほとんどで日産1万t以上の溶鉄を製造している。

高炉各部の名称を図2.1に、高炉内の反応プロセスを図2.2に示した。

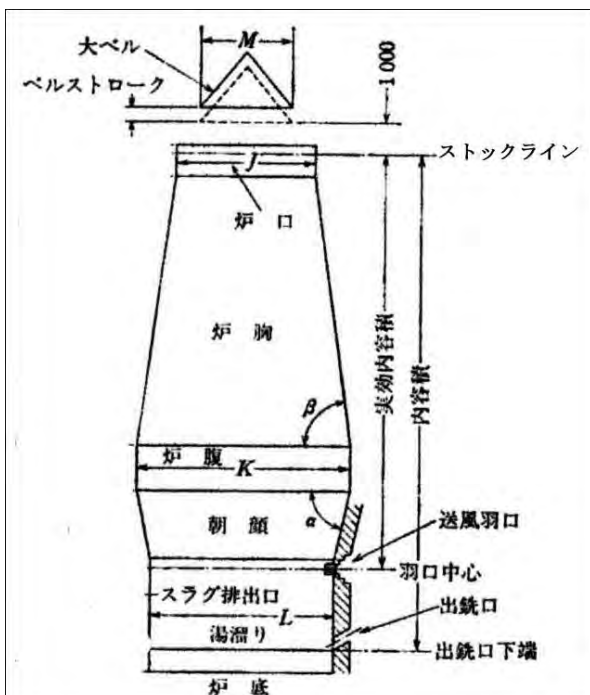


図2.1 高炉各部の名称¹⁾

高炉プロセスの内容を少し専門的に紹介して高炉製鉄法の長所、短所を明らかにしよう。

高炉は徳利型の形状をした縦型炉で下降する装入物と上昇する還元ガスが向流するタイプの反応炉である。

炉の上部の装入口（大ベル、シュート）から鉄鉱石と塊コークスを交互に層状に装入し、炉の下部に設置された多数の送風羽口から加熱された1,100～1,250℃の高温空気を吹込み、羽口先でコークスや微粉炭などの補助燃料を燃焼して2,000℃以上の高温還元ガスを生成させる。この還元ガスが高炉炉内を吹き昇る過程で、下降する装入物に熱を与え鉄鉱石を還元溶解する。その結果、炉の下部（炉腹、朝顔部）では生成した金属鉄が溶鉄（鉄鉄）と溶滓（スラグと称する）に分離して湯溜りに貯まるので湯溜り側壁部に設けた出鉄口を開孔して約1,500℃の溶鉄と溶滓を取り出す。この鋳床で行う作業を炉前作業（出鉄出滓作業）と称する。日産1万トン以上の溶鉄を生産する大型高炉では一分間に10数トンの速度で生成する溶鉄溶滓を炉外に取出して処理する必要があり、3～5個の複数出鉄口を間歇的に交互に開孔して抽出作業が行われる。

炉頂から排出する高炉ガスはCO成分を20～25%含んでいるのでガス清浄設備で清浄回収して熱風炉、発電所やコークス炉の燃料として有効エネルギーは余すところなく利用される。

装入された固体のコークスは羽口部で燃焼して気体となり、鉄鉱石は溶解し鉄鉄、スラグとして炉外へ取り出されるので、装入された固体の原燃料は自然の重力作用によって約10時間をかけて炉胸、炉腹、朝顔部を経由して炉下部へ降下するが、この過程で還元、軟化、溶解などの物理的、化学的操作が進行する。

高炉内を原燃料の存在状況により塊状帯、融着帯、滴下帯、羽口・炉芯部と区別して、それぞれのゾーンで生じる特徴ある物理的、化学的現象と各ゾーンの役割機能を図2.2に示した。

「塊状帯」では鉄鉱石、コークスがピストン流で下降する過程で予熱昇温され還元ガスによって間接還元される。塊状帯では上昇ガスから固体装入物への効率的な熱伝達が行われる結果、800～900℃程度の長い熱保存帯が生じる特徴がある。

「融着帯」では、図2.2のように層状に装入したコークス層の部分がコークススリットを形成して安定したガスの通気を確保する機能を果たし、鉱石層の部分が軟化融着状態でガスの抵抗体となる。高炉の中心部分

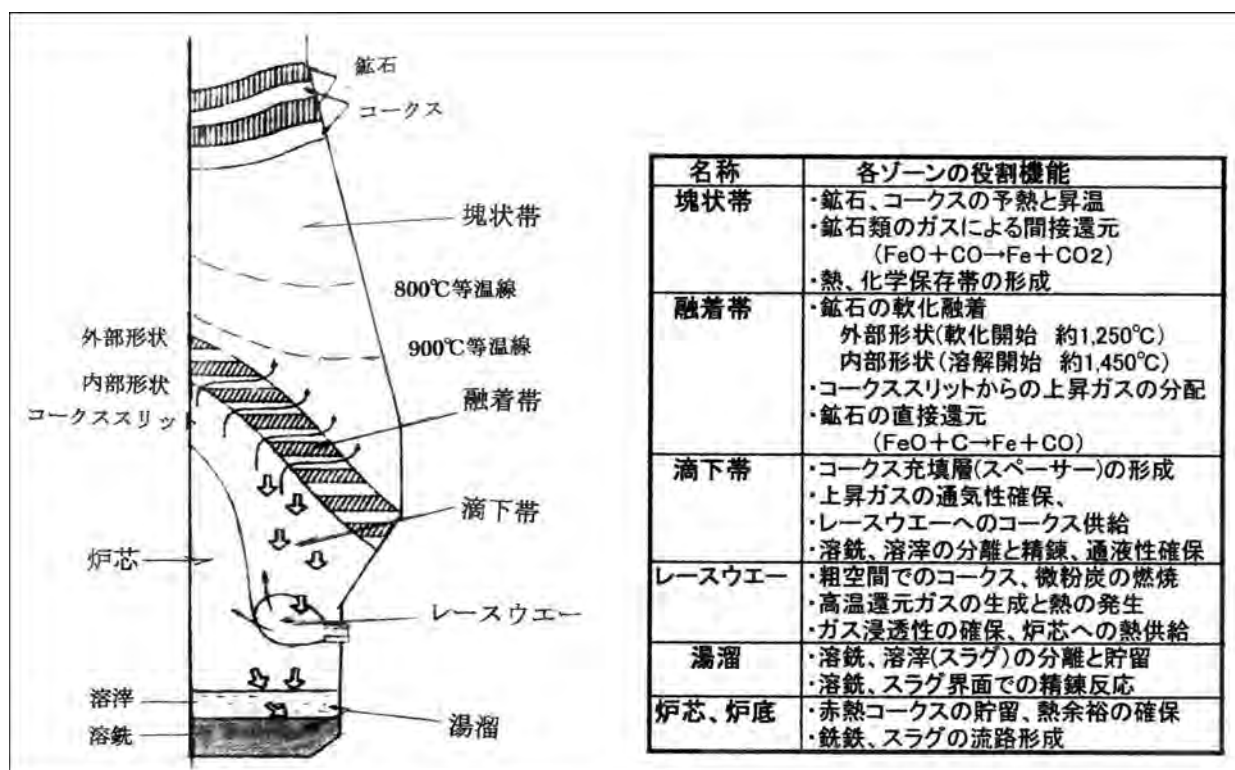


図 2.2 高炉反応ゾーンの名称と炉内反応²⁾

に大塊のコークスの装入比率を多くし炉の中間部から周辺部にかけて鉾石の装入比率を多くするように装入物の分布制御をすることによって強い中心ガス流を発生させる。この操作により炉の中心部の温度が高く保たれて融着帯の全体形状は中心部に頂きを持つ富士山形状となり、図のように幾つかの層のコークススリットが立体的に形成され、矢印のようなガス流れをすることで通気の安定化を図っている。融着帯の外部形状は鉾石の軟化が開始する約1,250℃の等温線を表し、内部形状は鉾石が溶解開始をする約1,450℃の等温線を表している。

「滴下帯」とは赤熱したコークス充填層で構成されており、鉾石類は溶融液化して塊コークス充填層の空隙に沿ってガスと向流して滴下するゾーンである。滴下帯下部の羽口に近い部分は活性コークス帯と言ってレースウエーへコークスを供給する機能を果たし、炉芯から湯溜・炉底に広がっている部分は灼熱状態のコークス充填層である。コークスは滴下帯ではガスや鉄鉄溶滓流のスペーサーとして通気、通液機能を果たし、鉄鉄の浸炭反応、溶鉄-スラグ界面でのシリコンやマンガンの還元反応や脱硫反応などが行われる。

「レースウエー」では、秒速約200m/secの風速で高温の空気が送り込まれるのでコークスが旋回できる奥行き1.5m前後の粗空間を生じる。ここではコークスや微粉炭が部分燃焼して理論燃焼温度約2,200℃を

超える高温還元ガスを発生し炉内のコークス、鉄鉄スラグに熱を供給する。

「炉芯・湯溜部」は鉄鉄、スラグの貯留と溶鉄滓の通路を形成すると同時に、コークス充填層によって全体の荷重を支え、大きな熱保有機能を果たしている。

高炉操業の最大の特徴はこのような炉内構造が鉾石、コークスが降下する過程にあって定常的に維持される、つまり新陳代謝を繰り返していることである。炉芯のコークス充填層も時間はかかるが絶えず代謝により入れ替わっているのである。融着帯以下の部分では固体はコークスのみであり、コークスは装入物の荷重を支えガスや鉄鉄・溶滓流のスペーサーとしての役割を果たすために高い熱間強度が必要となることが理解できる。以上の特徴を有する高炉法は、他の鉄鉄製造方法にない多くの長所を有する。

① 原料の予熱、熱交換、還元、ガス発生、精錬、貯鉄と言う鉄鉄製造に必要な機能を、他の手段を介することなく、高炉炉内で自然法則を利用して一体不可分の連続工程として実現し、熱効率の良い溶鉄の大量生産設備として機能している。

② 溶鉄と溶滓は高温の炉内で比重差を利用して完全に分離され、溶鉄は比熱も高く輸送中の鍋付も発生せず取扱いが容易で、炭素を飽和状態に含んでいるので転炉での酸化精錬に必要な十分な熱源を保有する結果、効率的な転炉精錬を実現している。高炉スラグはバラ

ス、碎石代替として 100%有効に利用されている。

高炉製鉄法は LD 転炉法の発展と相まって生産能力、熱効率、労働生産性の面で競争力を有する鉄鉄の量産プロセスとして発展した。

一方、大型高炉製鉄法の短所として以下の点が指摘される。

- ① 縦型の反応炉であり強度の高い塊コークスを必要とし強粘結炭が欠かせない。粉鉱石を直接使用できず焼結鉱等の塊成化プロセスを必要とするなどの資源調達面で制約がある。わが国は資源の大部分を海外に依存していることから、常に資源の価格・品質・需給の変化に対する資源対応技術の開発と習熟が欠かせない。
- ② 高炉の設備寿命は有限であり、改修等に多くの投資を必要とし、コークス炉や原料処理設備の維持保全、環境対策、資源調達投資など大規模な投資を要する。
- ③ 24 時間連続プロセスであり生産調整に対する弾力性に欠ける。昼夜交代制の勤務形態を必要とし、可能な限り故障休止を防止する生産保全体制が担保されねばならない。

わが国では大型専用船により鉄鉱石、石炭を効率的に輸入して、臨海製鉄所に大型の製造拠点を集約し新鋭大型高炉転炉法によって各種鉄鋼製品を一貫生産す

るプロセスを追求してきた。今後の方向として地球環境問題への対応などの将来的な与件の下で、製鉄インフラを活用した資源リサイクルの促進、省エネルギー技術の開発など循環型社会に貢献できる鉄鋼供給プロセスを目指して進化を続けていくことが求められる。

2.2 他の鉄鋼製造プロセス

世界の鉄鋼製造プロセスは、①高炉転炉法、②スクラップ電気炉法、③還元鉄電気炉法に大別することができる。各地域に於ける中心的な粗鋼製造プロセスは鉱石やスクラップ、石炭や天然ガスなどの価格、鉄鋼市場規模、製造コストなどの経済的要件で選択されるが環境規制、労働力、流通条件、市場要素などの社会的要件も大きく影響する。鉄鋼の大量需要があり原燃料を安価に調達できる手段を有する地域では高炉転炉法が採用され、スクラップと電力が容易に安く調達できる地域ではスクラップ電気炉法が有利であり、高純度な鉱石と安価な天然ガスが得られる地域では還元鉄による直接製鉄法が選択されている。

世界の粗鋼生産量の経年推移を図 2.3 に示した。20 世紀末までは年産 7 ～ 8 億 t 程度で推移してきたが、

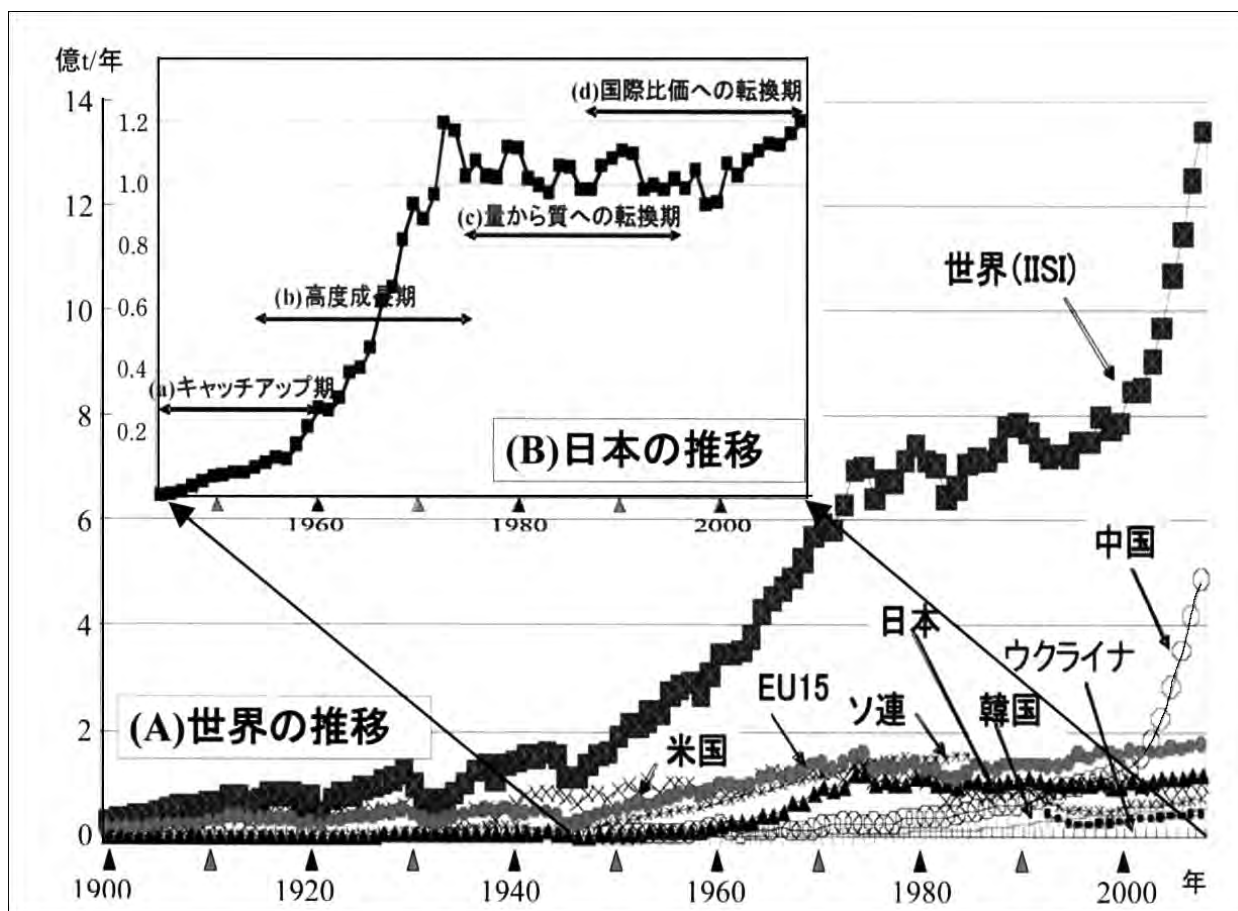


図 2.3 世界の粗鋼生産量の推移³⁾

表 2.1 世界の還元鉄生産量の推移⁴⁾

暦 年	2002	2003	2004	2005	2006
メキシコ	4, 741	5, 473	6, 345	5, 846	6, 209
ベネジューラ	6, 844	6, 646	7, 825	8, 687	8, 451
イラン	5, 280	5, 038	6, 437	6, 873	6, 929
インド	5, 731	7, 051	9, 121	10, 635	15, 087
世界生産量	32, 149	34, 509	41, 134	43, 119	49, 471

出所：IISI 生産統計

21 世紀に入って中国、インド等が高度成長期に入り粗鋼生産量は急激に増加し平成 19 年（2007）には 13.4 億を超えた。わが国の粗鋼生産量は中国に次いで世界第 2 位で年産約 1 億トン前後が生産されている。

わが国の粗鋼生産は高炉転炉法で約 7 割、スクラップ電気炉法で約 3 割が生産されている。スクラップ電気炉法はスクラップを主原料として電気炉で溶解、精錬して粗鋼を製造する方法である。最近の鉄スクラップの国内発生量は年間 40 ～ 50 百万 t と増加しているが、アジア地区の粗鋼生産量の増加によって輸出が大幅に増加し米国に次いで世界第 2 位のスクラップ輸出国となっている。

鉄鉱石を天然ガスあるいは石炭などの還元材によって還元して不純元素含有量の少ない固体または半熔融状態の海绵鉄・還元鉄を造って、これを電気炉で溶解精錬して粗鋼を製造する方法を還元鉄電気炉法と称する。

このような方法で還元鉄を製造する方法を直接製鉄法と称しているが、最近では還元鉄を溶銑まで連続し

て一貫生産する溶融還元プロセスも開発されており、直接製鉄法を広く捉えて「新製鉄プロセス」と総称することもある。

還元鉄の生産方法には天然ガスベースの MIDREX、HYL-Ⅲ、石炭ベースのロータリーキルン法があり IISI 統計では表 2.1 に示しように 2006 年での還元鉄生産量は約 50 百万 t であり総銑鉄生産量の約 5% に相当している。インドが最大の生産国である。

溶 融 還 元 法 は COREX 法、HISMELT 法、COREX・FINEX 法などが開発され、実機化が行われつつある段階である。

引用文献

- 1) 鉄鋼便覧 第 3 版Ⅱ 「製鉄・製鋼」p283 日本鉄鋼協会
- 2) 技術講座通信教育テキスト「鉄鋼概論」p38 鉄鋼学園人材開発センター
- 3) データ：IISI 国際鉄鋼協会
- 4) 鉄鋼新聞社 平成 19 年度鉄鋼技術（国際編）p346

た。南部藩では大島高任の計画書による事業には直接乗り出さなかったが、貫洞瀬左衛門が高炉建設を引受け高炉建設願、建設用材の調達、木炭製造用山林の払下げ、人夫賃等の諸経費、税金に関する民間事業としての要望書を南部藩に提出し許可された。大橋高炉は大島高任が南部藩から出向して担当する体制で建設が推進された。

大橋1号高炉は安政4年(1857)3月に着工して11月に完成し、安政4年12月1日に火入れ初出銑を行った。これを記念して12月1日が「鉄の記念日」と定められている。

勿論、当初から順調に操業が行われたわけではなく原料の事前処理や設備の改善、製造法に係わる幾多の試行錯誤が行われて基本技術が確立している。安政5年(1858)には南部藩直轄の橋野仮高炉の建設が行われ、明治2年(1869)までに大橋、橋野、佐比内、砂子渡、大蔵、栗林の6ヶ所に発展した。

当時の欧米の高炉はークス、蒸気機関動力、熱風炉を装備した技術レベルにあったが、大橋高炉群は翻訳「大砲製造法」の知識のもとで、従来の「たたら法」で用いられた木炭、水車動力、冷風送風、耐火物製造技術等の土着技術を基礎として独自に発展させたものであった。「たたら法」と比較して、①粉状の砂鉄から塊鉄鉱石を活用する道筋をつけたこと、②設備の改善によって高温、連続操業で銑鉄を製造することができたこと、③伝統的な手工業の要素技術や技能を組合わせて組織的な工業生産方式を構成し生産力の向上を図った点で、わが国製鉄事業の嚆矢として近代化前史に大きな足跡を残した事業であった。

1) 大橋地区の立地要件

北上山脈の北の「笛吹峠」と南の「仙人峠」の間に介在する一帯の鉄鉱床は水系と地形が複雑で交通条件等の制約から図3.1のように高炉の立地場所が別々に選択されている。しかし、銑工業の立地条件としては、①良質の原鉱石を至近距離内で露天掘り法によって採掘できること、②製炭原料となる森林が近距離に確保しうること、③高炉建設に必要な花崗岩や石材採取に好適であること、④送風装置に使用する水車運転の動力源となる水流が近くに確保できること、⑤東北地区での古来製銑法に従事する多数の技能者や労働者や付帯事業である炭焼、銑山労働に従事する経験者も多く、交通条件、村落等の産業基盤も整っていたなど有利な立地条件が整っていたことが成功要因であった。

2) 大橋高炉の構造

大橋高炉本体の設計図を図3.2に示した。中田²⁾によれば外郭が高さ20尺(6m)、縦横14尺(4.2m)の花崗岩積の上に、全長28尺(8.4m)の円筒德利型形状(炉腹径5尺(1.7m)、炉床径2尺(0.7m))の耐火構造体である。初期の送風装置は木製の角型ふいご2基を使用している。生産量は、最初は1昼夜50貫(約200kg)程度であったが、その後、磁鉄鉱の焙焼、水車動力による「ふいご」の改造などによって漸次改善され1日500貫(2t弱)、1炉代30日の連続操業が可能になり、木炭比は銑鉄t当たり3tを使用したと報告されている。

この成功に力を得た南部藩では慶応末年までに10座を建設している。大島高任によって直接建設されたものは大橋3座、橋野1座(3番高炉)と推定されているが、他の6座も門人たちの手で建設されたものである。

現在、橋野高炉遺跡のみが残存しているが、発掘調査が行われ、調査報告³⁾に基づいて昭和32年(1957)に国指定史跡となり、昭和59年(1984)にアメリカ

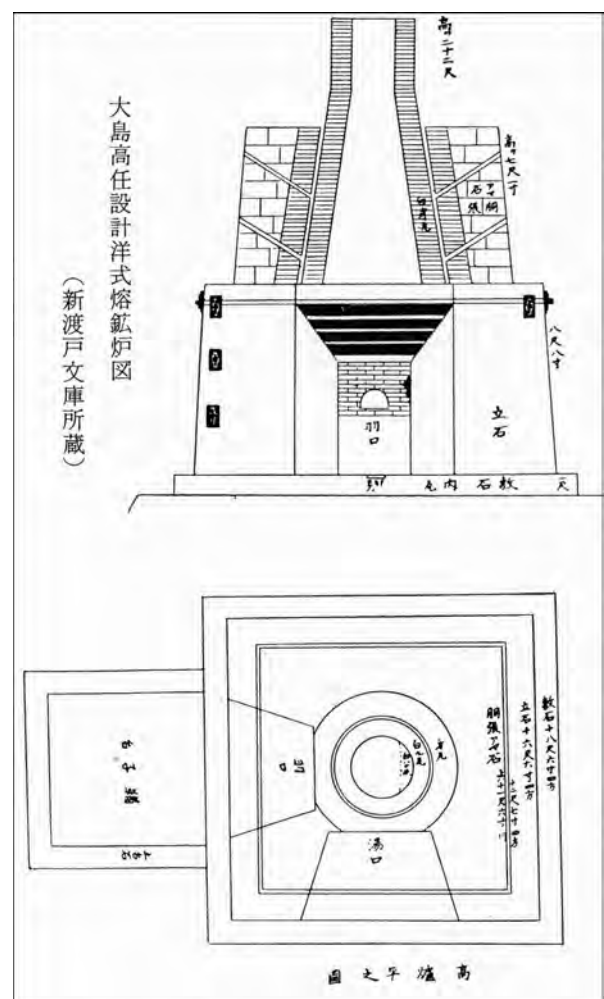


図3.2 大島高任洋式高炉図¹⁾

金属協会から歴史遺産賞として顕彰された。

平成 18 年～ 20 年度には文化財保護事業として釜石市教育委員会によって国史跡橋野高炉跡及び周辺に於ける範囲内容確認調査が実施されている。

3.2 当時の西洋での高炉製鉄法の水準

3.2.1 19 世紀後半における欧米の製鉄、製鋼

大島高任が洋式高炉法の操業を開始した時期は、欧米の列強が世界覇権に鎬を削る時代にあり軍機、造船、鉄道に対する新しいニーズから製鉄、製鋼、圧延技術が開花し製鉄業が発達した時代であった。19 世紀後半（1870～1900）における欧米に於ける鉄鋼業の状況について概説する。

高炉製鉄法は西ドイツのライン川流域で発祥したとされる。15 世紀末にイギリスに導入され多くの高炉が建設され、高炉鉄による鑄鉄砲によってイギリスは 16 世紀に海洋支配国となった。18 世紀に入るとアブラハム・ダービー父子によるコークス高炉法の発明（1735）、ベンジャミン・ハントマンによる坩堝製鋼法（1740）、ジョン・ウイキンソンによる蒸気送風機（1775）、ヘンリー・コートによるパドル法（1783）、ジョン・ピアモント・ニールソンの熱風炉築造（1829）による高温送風の実現など多くの技術進歩によって、安価な錬鉄を大量生産しうる環境が生まれた。しかし、産業革命期の技術として登場したパドル法であっても人力によるパドリング作業が制約となって軍需、民需の著しい増加に対応できなかった。19 世紀後半に入りヘンリー・ベッセマーの転炉製鋼法（1856）は時代の要請に応えた革新的技術革命であり鋼の大量生産の時代が切り開かれた。そして、マルチン父子のジーマンス加熱炉による平炉製鋼法（1864）、シドニー・ギルクリスト・トーマスによる塩基性転炉製鋼法（1879）の発明によって「鋼鉄の時代」を確立するに至った。

ベッセマー法の原理は、溶鉄中に直接空気を吹き込

むことによって不純物の珪素や炭素を酸化精錬で除去し鋼を生産する方法であり、酸化発熱反応によって 1600℃以上の溶鋼が得られ、珪素が高くリンと硫黄の少ない銑鉄を原料とする製鋼法であった。

トーマス転炉法はリンの高い鉱石で製造された銑鉄を大量処理する製鋼法であるが、従来のベッセマー法で常用されるシリカ系酸性耐火物では脱リン、脱硫性能を有する塩基性スラグを使用することができなかった。ドロマイトと炭素を主成分とした塩基性耐火材料が新たに開発され塩基性スラグによる精錬が可能となったことがトーマス転炉法の革新的技術要素であった。

トーマス法によってリンの高い鉱石が利用できるようになり 19 世紀後半には欧米では「錬鉄の時代」から「鋼の時代」に突入した。

19 世紀後半の主要国の鉄鋼生産高を表 3.1 に示した。明治 3 年（1870）には世界の溶鋼生産量はわずか 673 千 t であったものが明治 23 年（1890）には 11,632 千 t に増加している。1870 年にはイギリスが世界を席巻していた銑鉄、製鋼生産量は 1890 年にはアメリカ合衆国、ドイツの急速な発展の影響を受けて両国への輸出量が減少し 1890 年以降はアメリカ合衆国が最大の鉄鋼生産国となった。

3.2.2 欧米での高炉技術水準

19 世紀末の欧米高炉技術水準についてルードウィヒ・ベックの「鉄の歴史」⁵⁾の内容を引用させてもらう。ベッセマー転炉法、トーマス転炉法の開発によってイギリス、ドイツ、アメリカ合衆国を中心に高炉の大型化が進んだ。

イギリスのニューポート製鉄所では 1871 年に炉内容積 850m³（高さ 26m、炉腹径 8.6m）の高炉が稼動した。1874 年には内容積 1,416m³（高さ 32m、炉腹径 9.4m）の高炉が稼動したものの炉容拡大の効果が得られず、鉱石やコークスの品位によって炉内容積は制約を受けることが判明した。ローシャン・ベルは 1870

表 3.1 19 世紀後半の主要国の鉄鋼生産高⁴⁾（単位 1,000t）

	銑 鉄			溶 鋼			錬 鉄		
	1870 明治 3 年	1880 明治 13 年	1890 明治 23 年	1870	1880	1890	1870	1880	1890
世 界	12,146	18,327	27,627	673	4,192	11,632	6,749	7,900	8,446
イギリス	6,060	7,802	8,033	287	1,321	3,637	2,600	2,000	1,744
アメリカ	1,691	3,896	9,353	68	1,268	4,347	1,170	2,115	2,652
ド イ ツ	1,319	2,729	4,658	170	624	1,614	932	1,359	1,559
フランス	1,173	1,733	1,962	94	389	582	670	985	825
ロ シ ア	360	446	927	9	296	378	254	292	400
日 本	不 詳	6	16	0	0	0	不 詳	2	2

年のイギリスの原燃料条件では700m³が適正との意見を述べている。アメリカ合衆国では高品位鉱石と高強度コークスを使用して、数多くの羽口から積極的に炉内に風を押し込む、所謂、急速操業（RapidWork）が推進され、1897年にはカーネギー会社のデュケンズ高炉で内容積707m³（高さ30m、炉腹径6.7m）の高炉が稼動している。

高炉の外壁は鉄皮構造が普通であったが、ドイツでは1864年にレンガを鉄帯で締め付ける方法が開発され、経済的であることからドイツでは鉄带式構造が一般化した。

高炉の拡大に伴い炉壁の熱負荷が増大し朝顔部、炉腹下部に青銅製の冷却盤が挿入され、粘土系耐火物による薄壁化と冷却強化で対応する方向が定着した。装入装置には2重ペル装入装置が採用されて大塊を中心に装入することが可能となり中心流操業が志向された。送風機は蒸気機関を使用した往復型送風機、熱風炉は鉄管式熱風炉では500℃程度の送風温度しか得られないため姿を消し、ホイットウエル型やカウパー型のレンガ構造の熱風炉で800℃の送風温度が確保された。熱風炉の蓄熱室ギッターの詰まりが契機となって各種の高炉ガス清浄装置が開発された。

操業面の変化として、1879年のトーマス転炉法の発明で含リン鉱石の経済的価値が高くなり原料選択の幅が広がったが、それに伴い高炉での溶銑品質ニーズに変化を生じた。従来のベッセマー転炉用銑鉄では高珪素銑が要求されたが、トーマス転炉用銑鉄や塩基性平炉用銑鉄ではリン、マンガンを高くとって珪素、硫黄の少ない組成の銑鉄が要求された。経済的に低珪素銑を製造するためには原燃料品質の管理や操業管理を強化して低熱操業を行うことが必要とされ、その管理手段として高炉の熱バランスや物質バランスに関する操業理論の発展を促した。

アメリカ合衆国では、既に労働単価が高く資本の調達が容易であった。炉前の作業要員の合理化志向が強くなり出鉄口の閉塞機として蒸気マッドガンなど炉前作業重機の機械化が進み、溶銑は高炉鑄床での鑄込み方式から溶銑鍋で製鋼工場へ直送する方式が定常化した。

20世紀初頭のアメリカ合衆国の鉄鋼業の発展は、東部アパラチア山脈の豊富な石炭と五大湖スペリオル湖岸のメサビ鉱山の優良鉱石に支えられた。大規模な露天掘り鉱床で採掘、積出された鉱石は8,000tの大型鉱石船を蒸気船が引航してヒューロン湖を経由してエリー湖南岸の製鉄地区に大量輸送された。石炭は50t貨車を連結して東部地区から大量輸送することができた。大資本を集中した低コスト輸送システムを構築し

てピッツバーグを中心とする鉄鋼工業地帯が形成された。1901年にはピアモント・モルガンによってカーネギー会社製鉄所と西部、中部の製鉄所を包含した鉄鋼トラスト（U.S. Steel）が成立した。1901年は後述するように、わが国では官営八幡製鉄所第1高炉が稼動し銑鋼一貫体制が構築された年にあたるが、背景となる産業基盤や経営資源、技術レベルに相当の格差があった。

3.3 官営釜石鉄山、陸海軍工廠での製銑、製鋼事業

明治政府は殖産興業・富国強兵のスローガンの下、軍需と機械の基本素材である近代製鉄業の育成を促進した。銑鉄の生産に関しては工部省による官営釜石鉄山、中小坂鉱山での製銑事業の構築を、鋼の生産に関しては陸海軍工廠による製鋼事業の構築を並列的に推進した。釜石鉄山では製鋼、圧延等の加工部門に手が回らず、一方、軍需独特の品質要求もあり軍機製造機能が軍工廠に結集された。この結果、製銑と製鋼が経営的に分離され発展することになったことがわが国の特徴である。

3.3.1 官営釜石鉄山での製銑事業

明治3年（1870）10月に開設された工部省は鉱山、製鉄、鉄道、電信、灯台、造船、機械などの製作、土木、測量などの広範囲にわたる分野を所管し事業を自ら官業として行った。殖産興業、富国強兵政策の展開は、岩倉遣外使節団（明治4年10月～明治6年9月）が欧米視察から強い刺激を受けて帰国し、大久保利通の殖産産業に関する建議書では政府が工業振興の先頭に立つことを述べ、福沢諭吉も「文明論之概略」の中で「富国の基本は鉄」と喝破した。その手段としてイギリスより外人技師を雇用し技術面の指導を受けることになった。明治5年（1872）にG・H・ゴッドフレ師長が関東東北各地の巡検を実施、鉱山権頭吉井亨の視察を経て明治7年（1874）5月に大橋鉱山が官営鉄山として釜山寮釜石支庁が設置された。旧南部藩士として釜石大橋での高炉建設に豊富な技術的識見を有する大島高任は岩倉米欧使節団の一員に加えられ、米欧の鉄鋼製錬技術を視察し帰国後、工部省「鉱山助」とする技術行政官として釜石に出向した。

大島高任は明治7年（1874）に製鉄所建議案を發議したが、立地をめぐる雇外人技師ルイス・ビアンヒーとの間で意見が対立した。ビアンヒーの主張は比較的大規模で高能率の高炉2基と鉱石を運搬する蒸気機関車による近代鉄道を使用して銑鉄及び鍊鉄を生産

し、それを圧延する工場の建設を意図した製鉄所構想であった。大島高任は従来の経験から昼夜作業に最も安全な地形を選び、高炉は比較的小規模なものの5基、鉱石の運搬手段は軌道馬車を採用する計画を意図した製鉄所構想に基づいた立地選択をしたものであり、両者の間で創業計画の考え方に大きな違いがあった。工部省の幹部は外人技師尊重の立場からビャンヒー案を選択した。大島高任は秋田県小坂鉱山への転勤になり官営釜石鉄山はイギリス式高炉2基を始め全ての設備をイギリスから輸入、新たに招いた外国技師の指導を仰いで建設される方針が決定した。明治13年(1880)9月に建設工事を完成して操業が開始された。当時の釜石鉄山の設備や操業に関しては史書「工部省沿革報告」、桑原政「釜石鉱景況報告」、杉山輯吉「釜石鉄山精鉱の景況」「釜石木炭製造概況」などを原典として記載された「鉄と共に百年」⁶⁾「釜石製鉄所七十年史」⁷⁾を中心に当時の状況を概説する。尚、杉山輯吉、桑原政は明治15年(1882)当時、工部大学校を卒業し官営釜石鉄山に勤務した工学士であり、工学叢誌(工学会編集)に掲載された官営釜石鉄山関連の上記論文は第15期・明治編(後)としてまとめて覆刻されている。

官営釜石鉄山は釜石港に隣接する鈴子に建設され、採鉱場の大橋、製炭場の小川と鈴子を結ぶ釜石鉄道が敷設された。大橋鉄山から釜石港に至る18kmの運鉱鉄道の敷設は、明治7年(1874)にイギリス人建築士によって計画され、着工は明治9年、汽車鉄道の竣工は明治13年(1880)、小川村への支線の竣工は明治14(1881)年であった。汽車鉄道の敷設に先立って馬車鉄道が敷設されたと記録されている。機関車はイギリスマンチェスター社の製作による3両である。鉄道の着工は東京新橋―横浜間に次いで我が国で2番目、開業運行は大阪―神戸間に次いで3番目となるが、産業用鉄道としてはわが国初であった。

高炉はスコットランド型鉄皮式高炉で公称能力日産25t高炉2基で内容積97m³(高さ18m、炉腹径3.4m、炉床径1.4m)、羽口は口径65mm×4本、リュールマン式鉱滓羽口を有した。高炉は1基稼動を前提として付帯設備は1基稼動対応である。炉体の朝顔部は厚壁構造で冷却箱は挿入されていない。築炉用耐火煉瓦は国内産を使用した。捲上、装入方法は手巻きでペリー式装入装置を使用した。熱風炉はホットウエル式熱風炉3基、送風機は直立単筒送風機1基、コルニッシュ式気缶3基であった。高炉設備はイギリスのHead Wrightson社によりTeesdale製鉄所で製作された。高炉のプロフィールを図3.3、全体の姿を図3.4に示した。

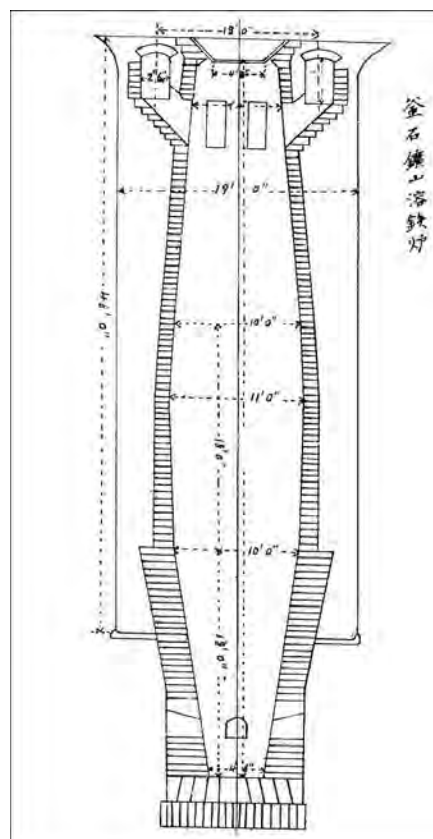


図 3.3 第1高炉プロフィール⁸⁾

鉄鉱石はの釜石鉱山の前山と新山で採掘された磁鉄鉱を大橋に運び焙焼炉にて焼成、破碎された焙焼鉱は鈴子へ鉄道輸送された。燃料は当初石炭を使用する計画であったが近隣に適当な石炭がないとして木炭に変更され、甲子村小川地区で製造された木炭が鉄道で鈴子に輸送された。

第1次操業は明治13年(1880)9月10日に開始したが、木炭の不足と小川製炭場の火災事故のため97日で操業を中止した。総出鉄量1,508t、平均出鉄量15.5t/d、還元材比(木炭比)1.429t/tであった。操業は順調であったが木炭消費量が当初計画に倍する1日1万貫(37.5t)を必要とした。



図 3.4 25t 官営高炉の建設状態図⁹⁾

木炭山は閉伊郡甲子村ほか5ヶ村に2,800町歩を有するに過ぎず、製炭場も小川1ヶ所のみでたちまち木炭の供給に円滑を欠いた。その上、失火による炭舎ほか15棟の焼失が直接原因となって、同年12月1日に第1次操業を一旦中止するのやむなきに至った。

第2次操業は明治15年(1882)2月28日に開始された。第2次操業はロンドン鉱山大学で鉱山学を修め、鉱山実務経験のある山田純安が担当し、地元の高橋亦介、村井源兵衛を含め外国人2名、助手3名、職工75名で操業にあたった。彼らは大島高任が去った後を引き継ぎ高炉の建設、工事をイギリス人技師と共に担当しており、外人技師の解約後の第2次操業に挑んだ。対策として木炭山を4,000町歩に拡大し製炭能力も増強して木炭の供給能力の拡大と石炭を燃料として使用するためビーハイブ式コークス炉48基を設置した。操業は当初は比較的順調に立ち上がり火入れ後13日目に30t/dを出鉄、当高炉の出鉄能力25t/dを上回る成績を示した。しかし、軟質木炭の品質が悪く粉化して通気性を阻害して次第に炉内温度が低下して出鉄率を妨げていった。120日間の木炭操業からコークスに切替えたが火力が炉内に行き渡らず炉況が悪化している。コークスの性状不良、焙焼不足による大塊生鉱石の直接使用等の結果、炉床が冷込み鉄滓が凝固して操業不能となり196日で操業を休止する悲運に終わった。第2次操業での出鉄量は累計4,313tであった。釜石鉄山における第1次、2次操業での総出鉄量は約5,812t、平均出鉄量26.2t/d、還元材比1.25t/tであったと記録されている。

「工部省沿革報告」¹⁰⁾には外人技師の言として「数年熔鉱に従事経験せしも、かくの如き変異は未だ曾て見ざる所と苦慮惜しからず、種々方術を施すもその功を奏せず、終に此れに至れるなり」と述べている。鍊鉄工場や圧延工場は明治15年(1882)3月に開始したが、担当の雇外国人技師が未到着などで明治14年(1881)7月から明治15年(1882)6月の間に粗製鍊鉄0.4tを製造されたとの記録があるのみである。

釜石鉱山の失敗は外国人技師団をはじめとした技術者の経験不足と木炭供給力の不足、コークス用石炭性状に関する知識不足など技術上の困難の外、当時の民間の鉄需要が未だ少なく生産コストが高く経済収支が成り立たなかったことが挙げられている。釜石鉄山の調査に派遣された工部省の鉱山権少技長伊藤弥四郎による「釜石の鉱石埋蔵量はわずか13万t余に過ぎず、木炭材はわずか4,000町歩で高炉1日1万貫を使用するならば2ヵ年にて消費するであろう」との報告を受け、釜石での製鉄事業の将来性なしとして明治15年

(1882)12月に約8年間で官営釜石鉄山は廃止された。

明治26年(1893)に行われた臨時製鉄事業調査委員会での釜石鉄山事業調査報告「釜石及仙人山巡視報告」では、官営釜石鉄山の失敗原因として、①鉄鉱原料の調査精密ならざること、②鉄鉱採掘の区域狭小なりしこと、③木炭石炭の供給欠乏せしこと、④鉱山運輸の便利開通せざりしこと、⑤鉄類需要の数量僅少なりしこと、⑥製造鉄の価格高貴なりしこと、⑦製鉄事業の技術熟練せざりしことを指摘している。この報告書では釜石鉄山の操業中止は鉄鉱石不足によるものでなく、これを理由とする廃山決定の誤りを指摘している。当時の未熟な調査技術によるものとは言え、わが国製鉄業発展の痛恨事であった。

しかし、官営釜石鉄山は、①釜石港における棧橋の架設、②棧橋及び大橋間並びに途中小川口より小川木炭山に至る汽車鉄道の敷設、③大橋採鉱場から大橋停留場に至る鉱石運搬道路および付属工事、④小川木炭山の開設と木炭倉庫の建設、⑤鈴子に於ける大型高炉2基及び付帯工事の設立、⑥鈴子に於ける鍊鉄製造所の建設、⑦鈴子に於ける鉱石倉庫、木炭倉庫、コークス炉の建設などのインフラを建設した。数年後に釜石鉱山田中製鉄所が製鉄事業を継承、コークスによる高炉製鉄法を誕生させており、官営釜石鉄山は近代高炉製鉄法の嚆矢としての重要な役割を果たした。

3.3.2 陸海軍工廠での製鋼事業¹¹⁾

わが国の近代的な製鋼技術の創始は陸海軍工廠で開始されている。陸海軍工廠では兵器生産の自立を目指して鋼の製造開発を推進し、維新早々から外国へ少壮有為の人材を派遣して熱心に製鍊技術の習得に励み事業化に成功した。

海軍では築地海軍兵器製造所(後の東京海軍造兵廠)は幕府の石川島造船所から工作機械、薩摩集成館から造兵機械を継承し明治15年(1882)には坩堝鋼の製造に成功した。海軍横須賀工廠(後の横須賀海軍造兵廠)は幕府横須賀製鉄所の機器を継承して明治23年(1890)にシーメンス式酸性平炉を設置した。呉工廠では明治23年(1890)に兵器製鉄所を新設し、明治25年(1892)に酸性平炉を設置、明治29年(1896)から明治31年(1898)にかけて増設した。陸軍では大阪砲兵工廠で幕府長崎製鉄所の機器を継承して明治22年(1889)に坩堝製鋼を開始し、明治23年(1890)には酸性平炉を設置、明治29年(1896)にわが国で初めてシーメンス式塩基性平炉を設置した。

陸軍の鋼製造は明治14年(1881)に太田徳三郎のヨーロッパ派遣に始まり、明治18年(1885)から22

年（1889）にかけて鑄鉄榴弾砲、同砲弾、鑄鉄製砲架の製造、明治22年（1889）以降に坩堝製鋼法、明治23年（1890）には酸性平炉法を導入して釜石鑄物銑、たたら法での砂鉄銑、鍊鉄、屑鉄を原料とした製鋼試験が実施された。釜石銑とイタリア・グレゴリー銑との比較報告は「鉄考」（大阪砲兵工廠関連）¹²⁾に掲載されているが、釜石銑で製造した砲弾は鉄板に対する射撃においてもグレゴリー銑に比肩して遜色のない性能と高い価格競争力を有したと報告されている。

この技術的成功は量的にも質的にも釜石鉾山の銑鉄需要の新規開発に大きく寄与した出来事であった。当時、大阪砲兵工廠からの銑鉄受注だけでなく水道用鉄管材料としての鑄物銑の引合いも増加しつつあり、日清戦争（明治27年）を契機とする鉄鋼需要の増大にも恵まれて、釜石鉾山中製鉄所の飛躍的發展がもたらされたことは意義深い。

3.4 釜石鉾山中製鉄所の発展

3.4.1 田中製鉄所の創設

政府は殖産興業、富国強兵政策推進のため財政支出は膨張の一途をたどり、紙幣価値の暴落と物価騰貴が生じ極度の財政緊縮政策に転換せざるを得なかった。明治13年（1880）に「工場払い下げ概則」を定めて官営工場が民間に払下げ、投下資金の回収を図った。この払い下げ政策は民間企業にとっては相当に利潤が見込まれるものであったが、官営釜石鉄山に関してはその再興には根本的な出直しが必要であるとして一括払下げの引受け手がなかった。大蔵卿であった松方正義の勸奨で当時陸海軍御用商人であった田中長兵衛が設備を借受け高炉試験操業を実施した。

田中長兵衛は工場に残存する5,000tの焙焼鉾を使用して操業試験を行うため、工場の一部を借用し横山久太郎に担当させた。工部省時代の日産25t高炉を操業する技術力はなかったため、薪炭の得やすい地域に日産数tの小型高炉2基を建設して明治18年（1885）年1月より木炭燃料による操業を開始した。炉内の冷込みと炉内片付け、設備の修復、改善整備、吹入れ操業を何度も繰返して苦労の末、明治19年（1886）10月に成功している。49回目の試製での成功であったが、この間の技術面、経営面での厳しい対応努力とその感動的な成功は「横山久太郎翁伝」等の史実に基づいて釜石製鉄所「鉄と共に百年」、半沢周三の「日本製鉄事始」などに描写されている。

田中長兵衛は明治20年（1887）年3月に「上願書と素志書」を大蔵大臣松方正義に提出して官営釜石鉄



図 3.5 49 回目の試製で成功した第1高炉¹³⁾

山の用地と残存建物機械一切の払い下げを受け、明治20（1887）年7月に釜石鉾山中製鉄所を発足させた。官営鉄山の失敗の原因となった原燃料の調達、輸送難を回避するため小規模高炉の分散配置とする方針として大橋、鈴子に高炉を分散させたこと、企業発展の基本要件である銑鉄需要に関しては明治23（1890）年8月に陸軍大阪砲兵工廠で釜石鑄物銑の高い評価が立証されたことなどによって安定した需要先が開拓され、事業拡大の機運に恵まれた。

明治20年（1887）から明治24年（1891）にかけて大橋工場2基、鈴子工場3基の日産5t程度の小型木炭高炉を建設して、日産合計25t、年産9,000tの銑鉄を生産し最大顧客である陸軍、鉄道局の需要に応じる体制を整えた。何れの高炉も水車動力による送風機で操業されたが、この時期に一部蒸気送風機が導入され高炉ガスを回収して気缶で蒸気を発生させ使用したとの記録がある。

原燃料に関しては、明治23年（1890）の地質調査によって釜石の鉾石埋蔵量は数百万tに及ぶことが発見され、実際の採鉾量も増加、木炭山も15,000町歩となり木炭に対する不安は解消した。その後、鈴子地区の官行時代の25t高炉2基は明治27年（1894）、明治29年（1896）に改修が行われ、新たに明治25年（1892）には栗橋地区にも日産8tの高炉が建設された。

3.4.2 わが国初のコークス高炉製銑法の誕生

田中製鉄所でわが国製銑技術史上特筆すべきは、野呂影義、香村小録の指導で明治27年（1894）にわが国初のコークス高炉法が誕生したことである。

当時の製鉄技術の第1人者であった野呂影義は、釜石田中製鉄所を視察して田中製鉄所の現況と改良の方途を日本鉾業会誌（明治25年4月）に「釜石鉄山視察復命書」¹⁴⁾を発表し、木炭での操業は銑鉄需要が多くなれば必然的に供給限界に達するのでコークスの使用

も併せて検討すべき旨を提唱した。史料では、①現在の木炭は安価に製造供給されているが増産となれば他所からの焼夫、運搬夫の雇用や木材の調達費用も増加して木炭製造コストも増加する。一方、②コークスを使用することによって大なる高炉を高温で操業することができる、③コークス製造によってコークス炉ガス等の副産物が得られると言う大益あるのみならず、④コークスの使用で炉内を高温に保持できるので釜石鉱石のような硫黄分の多い鉱石の場合には、石灰石を装入して塩基性スラグで脱硫製錬を行うことができる利益があることを指摘している。そして既存の小高炉では安価な木炭と硫黄分の少ない前山鉱石、佐比内鉱石を使用して木炭鉄を製造して高純度を要する軍機用途に鉄鉄を供給し、工部省時代の 25t 高炉の炉内形状、装入設備、捲上台車を改善してコークス鉄を製造して一般需要用途に供する。コークス炉と気缶、煙突の追加投資をすれば高炉 2 基で日産 60t の鉄鉄を製造できると提案した。この報告は重要な産業技術史料として釜石製鉄所七十年史にも全文再掲されている。

田中長兵衛、横山久太郎は積極的に野呂影義の提案に賛同し、当時帝国大学工科大学（現在の東京大学工学部）教授の野呂影義を顧問として招聘、香村小録（当時農商務省技師試補）を技師長に迎えてコークス高炉の開発に着手した。明治 27 年（1894）に工部省が廃業したままの 25t 高炉 2 基のうち 1 基の改修を行い、改修の際に高さを変えずに炉腹径（4,000mm）、湯溜径（1,600mm）を拡大して内容積を 150m³とした。熱風炉の燃焼能力を拡大するため気缶と共有していた煙突を独立させ、鉱石の焙焼強化を図るため鈴子にシレジア式焙焼炉を新設した。当初木炭で火入れしたがその後タ張炭によるコークス竈で製造したコークスを使用して順調な操業を継続、わが国初のコークス高炉製鉄法に成功、製鉄史上の快挙となった。同年 11 月には本格的なコークス炉が稼動し、出鉄量は急速に増加した。コークス炉設備は 120t の選炭工場、43 基のコッパー式を変形したもので 1 基の石炭装入量 5t、焼成時間 48 時間で蒸気機関駆動の押出し機を備えたものであった。原料炭は北海道のタ張粉炭が使用されたが、その後の高炉内容積の拡大に伴い、コークス強度の向上が必要となり、野呂影義の知見に基づき種々の配合炭の検討が進められ、明治 42 年（1909）の中国開平炭（強粘結炭）の配合によってコークス品質は著しく改善された。

この結果、表 3.2 に示したように、明治 27 年（1894）の釜石鉄の生産高は 12,700t に達し、高炉鉄の比率が 60% 以上となり、わが国の鉄鉄製造の主流が「た

表 3.2 釜石鉄の生産高、全国比率の推移¹⁵⁾

(単位：t, %)

年 次	中国地方の砂鉄鉄（たたら鉄）		釜 石 鉄（高炉鉄）		合 計
	生産高	比率	生産高	比率	生産高
明治23年	13,592	78	3,864	22	17,456
24年	7,185	57	5,499	43	12,684
25年	9,003	57	6,913	43	15,916
26年	8,090	50	8,083	50	16,173
27年	8,115	36	12,735	64	20,850
28年	8,033	38	12,982	62	21,015
29年	7,969	34	15,417	66	23,386
30年	?	?	16,098	?	?
31年	7,826	37	13,578	63	21,404
32年	5,193	29	12,859	71	18,052
33年	5,336	28	13,682	72	19,018

出典：三枝・飯田『日本近代製鉄技術発達史』

たら法」から高炉製鉄法へと移行する歴史的端緒となった。

その後の田中製鉄所の発展について述べると、明治 33 年（1900）に高炉 2 基同時操業をする為の計画を立て、熱風炉 3 基の新設、送風機は最終的には明治 39 年及び 40 年の改修において 120 馬力の水平型双筒複動気缶直結型送風機を新設した。

明治 33 年（1900）には 5t 反射炉を建設、鏡鉄、マンガン鉄、シリコン鉄、シリコンスピーゲルを鈴子 4 高炉で試製、明治 38 年（1905）には合金鉄 4,380t を生産している。出荷先は大阪砲兵工廠、赤羽海軍兵器製造所、横須賀造船所、東京、川口の鉄鉄問屋であり釜石鑄物鉄のブランド評価を高めた。

一方、民間に於ける製鋼事業を進んで引き受ける民間企業家が現れず、鋼の国内生産は年間 1 千 t 程度とわずかであり鋼及び鋼材の輸入量は年間 6 万 t 近くであったとされている。民間製鋼部門の立遅れは国際情勢の陰悪化と関連産業発展の状況から軍事的、経済的不安の対象とならざるを得ず、松方正義、野呂景義等の鉄鋼に関する先覚指導者が結束して官営製鉄所建設運動を展開し、明治 24 年の第 2 帝国議会に海軍省案として鉄鋼一貫の官営製鉄所建設が提案されるに至った。

引用文献

- 1) 近代鉄産業の成立（釜石製鉄所前史）富士製鉄釜石製鉄所
- 2) 中田義算 鉄と鋼 Vol.10 (1924) p636 ~ 643
- 3) 釜石市・釜石市教育委員会 橋野高炉遺跡発掘調査報告書（昭和 32 年）
- 4) 大橋周二 幕末明治製鉄論 第 2 部 明治の製鉄近代化過程 p383

- 5) ルードウィヒ・ベック「鉄の歴史」(中沢護人訳) たちばな書房 V (2) 1971 ～ 1900 年の高炉法、V (4) 1971 ～ 1900 年の各国高炉の発展 (イギリス、ドイツ、アメリカ合衆国、日本)
 - 6) 釜石製鉄所 鉄と共に百年
 - 7) 釜石製鉄所 釜石製鉄所七十年史 (1956)
 - 8) 桑原政「釜石鉱山景況報告」工学叢誌第 10 号、11 号、15 号 (工学会編集) 付図
 - 9) 釜石製鉄所 鉄と共に百年 p46
 - 10) 工部省沿革報告 p133 釜石官営施設 (大蔵省編)
 - 11) 大橋周二 幕末明治製鉄論 第 2 部 明治の製鉄近代化過程 p414
 - 12) 「鉄考」大蔵省 p149 ～ 156、p195 ～ 199、p201 ～ 206
 - 13) 釜石製鉄所 鉄と共に百年 p69
 - 14) 野呂景義・香村小録 釜石鉱山視察復命書 (日本工業会誌 明治 25 年 4 月)
 - 15) 釜石製鉄所 鉄と共に百年 p83
- 参考資料として以下を参照した。
- ①釜石製鉄所「鉄と共に百年」
 - ②釜石製鉄所「釜石製鉄所七十年史」(1956)
 - ③近代鉄産業の成立 (釜石製鉄所前史) 富士製鉄釜石製鉄所
 - ④岡田広吉編集 近代日本の技術と社会 2「たたらから近代製鉄へ」(平凡社)
 - ⑤工藤大助「横山久太郎翁伝」
 - ⑥半沢周三「日本製鉄事始」

4 官営八幡製鉄所での銑鋼一貫製鉄所の建設

4.1 官営八幡製鉄所の設立

4.1.1 製鉄所の設立趣旨

コークス高炉製鉄法の成功によって銑鉄は高炉中心に製造されるに至ったが、明治 20 年代においては鋼や鋼材の民間需要は少なく、関税障壁の低いわが国では外国の銑鉄や鋼材が安価に購入できるので国内での民間製鋼圧延工場の運営は経済的に厳しかった。この結果、わが国の銑鉄需要の 60% はイギリス銑、インド銑に依存しており、鋼材に至っては民間需要量の全量を欧米からの輸入に依存する状態であった。

しかし、鉄鋼の国内自給率の向上は重工業の発展や軍機製造面から必要不可欠であり一貫製鉄所建設に関する運動は明治 20 年代前半から展開されていた。製鉄所建設の必要性を説いた論文の多くは大蔵所編「鉄考」（明治 25 年）に収録されている。製鉄所建設の具体的な動きは「海軍省所管製鋼所設立案」として明治 24（1891）年 11 月開会の第 2 回帝国議会で提出された。「海軍省所管製鋼所設立案」は野呂影義の「鉄業調」を原案としたもので、製鋼業を先に漸次製鉄業に及ぶことを目的として不足する原料銑は外国より購入して平炉鋼、鍊鉄、坩堝鋼を製造するものであった。

しかし、海軍省所管案は藩閥官僚政府と反政府「民党」との抗争の過程で「原料調査の不備」を表向き理由として否決された。明治 27 年（1894）7 月の日清戦争の勃発が契機となって製鉄所設立への機運が盛上がり、第 8 回帝国議会で貴衆両院において製鉄所設置建議案が可決され、「製鉄事業調査会」の官制が明治 28 年（1895）3 月に公布された。

「製鉄事業調査会」では製鉄所の立地に関する調査、鋼材需給、原価に関する調査、釜石製鉄所における鋼鉄、鉄鋼製品の試製が実施された。これらの調査結果に基づいて官営製鉄所創立予算総額 409 万円が明治 28 年（1895）12 月の第 9 回帝国議会において農商務省所管の「創立案」として協賛され、明治 29 年（1896）4 月に製鉄所官制が発令された。八幡製鉄所官制発布に至る経緯について三枝博音・飯田賢一著「日本近代製鉄技術発達史」¹⁾—八幡製鉄所の確立過程—に詳述されている。

4.1.2 官営製鉄所の「創立案」と「拡張案」

技監・技師による海外調査、諸機械の購入、技術習

得のための海外派遣などの建設準備が実施された。その過程において当初の「創立案」の実行内容は「拡張案」として大きく変容した。大島道太郎技監は明治 29 年（1896）12 月に製鉄所竣工に必要な器具機械の外国での購入について随意契約を選択する権限を得て、明治 30 年（1897）1 月から米国、フランス、ベルギーを経てドイツに渡った。先師レーデブア（A. Ledebur）の紹介でドイツのグーテ・ホフヌクス製鉄所（以後 GHF と称する）を実地調査し、一貫製鉄所の建設エンジニアリング、機械、資材の供給、指導技師や職工長の派遣、技術者の実習受入れについて GHF に全計画を委託する契約を締結した。第 9 回帝国議会で協賛を得た「創立案」の生産目標は銑鉄年産 8 万トン、鋼材 6 万トンであったものが、大島道太郎の「拡張案」では第 1 期は銑鉄年産 12 万トン、鋼材 9 万トンへと引き上げられ、生産設備も大型化された。高炉は日産 60t 高炉 3 基から日産 160t 高炉 2 基へと大幅に拡大された。これらの方針転換は欧米の製鉄技術の急成長を目のあたりにした結果に基づくものであった。ドイツではベッセマー製鋼法からジーマンス塩基性製鋼法中心に変化しつつあり、坩堝鋼、鍊鉄の製造は中止すべきこと、コークス炉に関しては石炭のコークス化性に係わる化学的知識は欧米においても未熟であり、実際の使用石炭での実験試験を実施してコークス炉を決定しなければならないことを長官宛の書簡で指摘している。和田維四郎第 3 代製鉄所長官は「拡張案」を積極的に支持、明治 30 年（1897）11 月に「創立案」の設計を根本的に改める旨の「意見書」を農商務大臣に提出した。八幡製鉄所はこの「拡張案」に基づき建設が行われた。

「創立案」の趣旨について農商務大臣榎本武揚の「製鉄所設立意見」には次のように記載されている。「製鉄事業を起こし軍備と工業の需用に必ずべきは国家経済の急務である」とし、始業規模については「創業の際に漫然と大規模な計画をして巨額の資本を投資して設備を構築しても各種の材料調達や熟練した職工を準備することが困難であり、設備も特有の与件や原料条件の違いから往々欠点を発見して改良を必要とすることがある。従って、最小規模で始業し諸条件の適応や技術の熟練を経て暫時拡大する方針」としている。

製鉄所規模や銑鋼設備計画の内容は、当時の鋼材需要の年産 13 万 t、国内原料の調達能力等を考慮して以下の様に設定している。圧延設備の内容については割愛させて頂いた。

- ① 始業時の鋼材生産量 6万t／年、銑鉄生産量 8万t／年、
- ② 高炉（60t／日）2基、コークス炉（コッペー式）80基
- ③ ベッセマー転炉（7t）2基、シーメンス・マルチン式平炉（15t）4基

錬鉄炉（300kg）6基、坩堝鋼炉1組

高炉ではベッセマー転炉用銑鉄を主体に製造し、不足する銑鉄は釜石などの民間企業から購入する方針とした。鉄鉱石は釜石鉄山、仙人山、新潟県の赤石鉱山で調達し、石炭については夕張炭などの石炭を使用して製造する。軍需用の高級鋼の生産は錬鉄炉、坩堝鋼炉で生産するとした。砂鉄原料による錬鉄試製も良好な結果が得られたので屑鉄の蓄積が少ない当時のわが国の状況から屑鉄代替原料用として錬鉄炉を計画に組み込んでいる。「創立案」の基本方針は「銑鉄や鉄材はさまざまな国内原料を使用してわが国の独自技術によって経済的な銑鋼一貫製鉄業を創生し、需要と技術の進歩に併せて規模の拡大を図る」ことにした。所謂「小さく生んで大きく育てる」とする考え方である。

一方、「拡張案」の趣旨は以下の通りである。「わが国の鉄材需要は創立案の2倍に増大しており、欧米鉄鋼業との国際競争を考えると設備を完全なものとし、経営の経済性を図るため冗費を省き生産規模を拡大し廉価な鉄を製造することが重要である。その為には、製銑設備を拡大強化し、銑鉄はベッセマー鋼製造用のみでなく平炉用にも製造する。鉄鉱資源は鉄鉱山、炭坑、石灰山を専属鉱山として保有して廉価な資源確保

に努める戦略とする。軍事用の錬鉄・坩堝鋼の製造設備を第2期に延期すること、製鉄事業の自立開発の難しさを考慮して外国技術を積極的に導入し外国人技師を増員すること」を骨子とし建設計画を2期に分けて実現することとし第1期計画（始業計画）を以下に設定している。

第1期銑鋼計画（始業計画）、同様に圧延設備については割愛させて頂いた。

- ① 鋼材生産量 9万t／年、銑鉄生産量 12万t／年、
- ② 高炉（160t／日）2基、コークス炉（コッペー式）200基
- ③ ベッセマー転炉（10t）2基、シーメンス・マルチン平炉（25t）4基
混銑炉（160t）2基、ガス発生炉12基
- ⑤ 工作工場（修繕、鑄造、鍛造、製缶）の設置

当時は製鉄所構造物や機械類、整備部品などを製作する関連産業が未発達であり、製鉄所自身でその機能を担保する必要があったからである。工作工場には鋼構造物や鉄骨材の製作、加工に必要な修繕、鑄造、鍛造、製缶の各工場が設置された。

「拡張案」は「創立案」の基本理念を大幅に転換し外国技術を直訳的に移植して早急に海外先進国の技術水準への到達を図ること、鋼材に関しては各種鋼材を製造しその後に兵器用材料製造の準備にかかるとうように軍事的色彩が薄れて農務省所管製鉄所としての性格が濃厚となった点が特徴である。これが具体的な八幡製鉄所の実行計画案となり帝国議会において追加予算647万円が認められ総額予算は1,067万円となった。

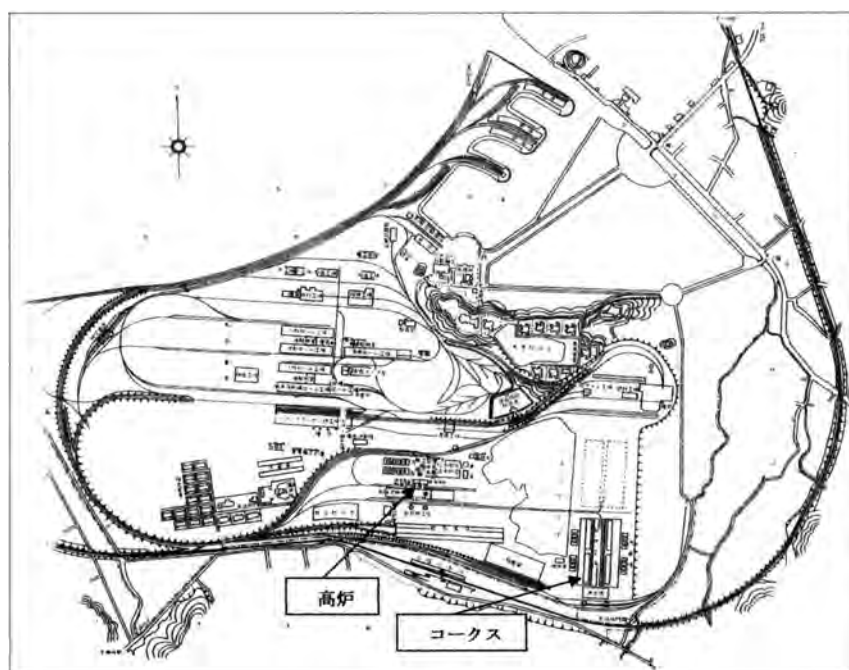


図 4.1 八幡製鉄所敷地状況（明治 34 年）²⁾

製鉄所候補地の選定条件は、①軍事上の防御の完全な区域内であること、②海陸運搬の便利なこと、③原料の供給の便利なこと、④工場用水量の確保が容易なること、⑤職工の募集、工場用品の供給が便利なこと、⑥製品の販売に便利なことなどの要件を満たす最終候補地として福岡県遠賀郡八幡村、企救郡柳ヶ浦、広島県安芸郡坂村の3箇所に絞られた。当時の運搬すべき物品は石炭が全体の5割、鉱石が2割を占めていたことから製鉄所は市場立地よりも石炭産地に近いことが経済的必須条件とされ、筑豊炭田を背後に控える遠賀郡八幡村に告示された。明治34年当時の製鉄所敷地状況図を図4.1に示した。

4.2 東田第1高炉の建設

明治29年(1896)3月に「製鉄所官制」が公布、その陣容は長官、技監各1人、技師8人、技手40人で構成された。創立工事段階(第1高炉、2高炉関連)の体制として大島道太郎工務部長の下に築炉課、検査課、機械課を配した。明治31年(1898)8月には工場での操業準備体制として小花冬吉が製鉄部長、今泉嘉一郎が製鋼部長、安永義章が製品部長に任命された。創立工事段階の第1高炉、第2高炉の高炉設備の規模は同一で設計・製作をGHHに同時発注されている。現地建設工事はドイツ人職工の指導の下で八幡製鉄所が直営で実施した。ただし、第1期拡張計画(第3高炉関連)以降の建設は自社設計、製作、施工することを目標とし、創立工事段階からエンジニアリング機能を学習、国産化をめざした組織体制を準備し、各種工作工場を建設し修繕、加工実務を通じた人材育成活動が推進されたことは先駆的思考であった。

東田第1高炉はドイツからの機材の到着を待って、明治32年(1899)8月に基礎工事着工、明治34年(1901)2月5日に火入れされた。

4.2.1 高炉本体(有効内容積 495m³ 炉床径 4.0m、公称生産能力 160t/日)

1) 炉体構造

① 第1高炉の炉体構造はドイツで普及した鉄带式高炉であり、煉瓦積みを外側から鉄帯バンドを使用して鋲接合で締め付けて固定する方式である。

② 図4.2に高炉の炉体支持構造を示した。この方式はドイツ高炉設備技術の特徴点の一つで、湯溜、朝顔を独立させてシャフト部を下部と切離した構造としシャフト内壁をシャモットレンガで築き鉄帯で締め付け、櫓支柱の中段からアームを出してその内側の端で

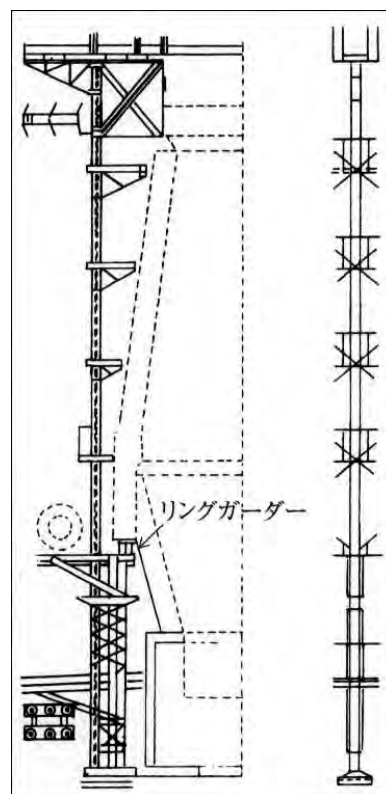


図4.2 第1高炉の炉体支持構造³⁾

リングガーターを介してシャフト部の煉瓦構造体の荷重を受け、他端で熱風環状管を支持する構造である。炉頂の作業床とガス捕集マンテル、装入装置等はシャフト内壁レンガに圧力をかけない様に4本櫓で受ける構造である。

2) 原料捲上設備

原料捲上設備はバケット垂直捲上塔方式である。

捲上げ装入方式は図4.3に示したが、原料手押し車(バケット)を垂直捲上塔(エレベーター)で地上から捲上げ、炉上の渡りデッキ上を待機した作業者がコロを用いて水平移動させ高炉のホッパーの所定位置でバケットを転倒して炉内へ装入した。鉱石は鉱石貯蔵場から炉前鉱石庫まで貨車で陸送され、鉱石庫からの鉱石切出し、庫下坑道内の移動、捲上機直下までのバケットの運搬は全て人力で行われた。コークスはコークス工場から亀台車で高炉炉前にまで運ばれた。炉前でのコークスバケットの移動は鉱石と同様に人力作業である。このように原燃料の輸送取り扱いには数十人の作業者が携る作業であったが、投入原単位は高くても労働単価が欧米の10分の1程度であったので設備投資をして機械化するより労働集約的作業とする方が溶銑の国際的なコスト競争力があったのである。

しかし、第1次世界大戦後は労働単価が上昇し、第4高炉の新設、或いは第1高炉の2次改修以降は、全てスキップ捲上方式に変更された。

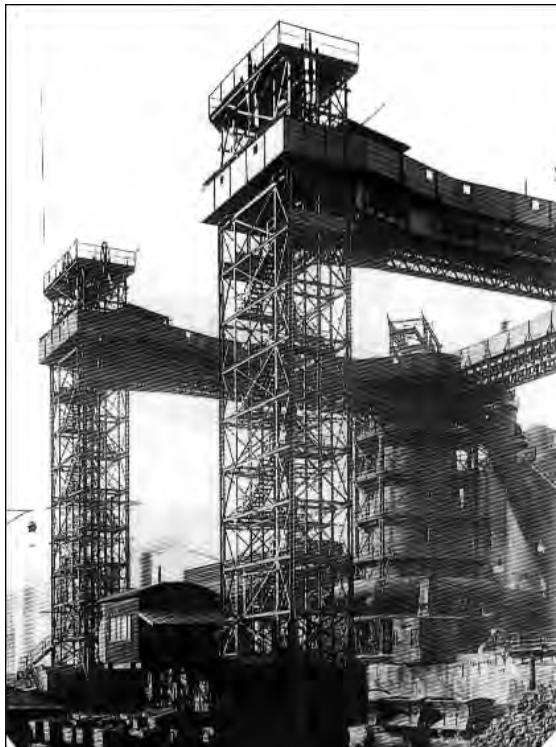


図 4.3 第 1,2 高炉捲上設備³⁾

4.2.2 高炉のプロフィール

第 1、2 高炉プロフィールの設計は GHJ のコンサルタントで製鉄の権威者であったリュールマン (F. W. Luhrmann) に委託した。図 4.4 に高炉プロフィールの基本設計図を示した。

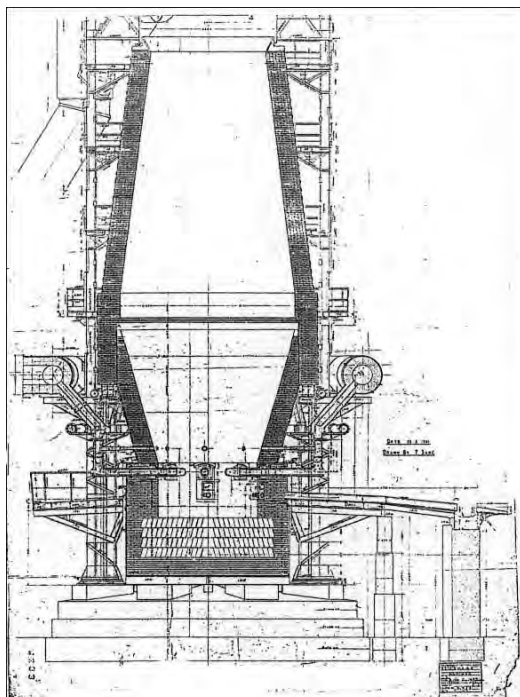


図 4.4 高炉プロフィール基本設計図³⁾

羽口数は 8 本、羽口径は 300mm、羽口突出長さは 700mm である。リュールマンはドイツ鉄鋼協会の機

関紙 Stahl und Eisen⁴⁾にドイツにおける「コークス高炉の 100 年」と題して寄稿しているが 1888 年に自らが設計した内容積 434m³、炉腹径 6,400mm の高炉を掲載している。東田第 1 高炉は当該高炉を更に拡大したものでドイツでも当時最新鋭且つ最大の高炉であったと想定される。羽口径が大きく炉内に突出して異様であるが当時の高炉設計の方向は高さを制約して炉腹径を拡大して炉内容積を拡大する方向にあり、炉芯深くまで燃焼ガスを浸透させる手段として設計されたものであったと想像されるが長鼻羽口はドイツでも成功していない。熱風炉はカウパー式熱風炉 4 基、耐火レンガは国産品が使用された。送風機は GHJ 社の最新型の蒸気駆動往復式送風機 4 台、ガス清浄設備は Jig-zag 型の一次集塵機のみが設置され、このため含塵濃度が高く熱風炉や気缶の煙突からは黒煙が立ち上る状態であった。

4.3 製鉄原料、石炭の調達

「拡張案」における鉱石原料対策は創業案と同様で釜石、赤石の内地鉱石を基本とする方針が維持されたが鉄鉱山、炭坑、石灰山を製鉄所自身で保有・採掘して一定の品質のものを大量且つ廉価に調達する戦略に転換している。しかし、鉱山開発には不確定要素も大きく現実的には国内鉱山、海外原料の購入を考慮する必要があった。和田長官の先見性によって幸運にも中国の大冶鉄石の購入によってその活路を見出すことができた。

1893 年に漢陽鉄廠が揚子江中流の大冶鉄山が設立され清国漢陽鉄政局督弁盛宣懷から漢陽鉄廠で不足するコークスと交換に大冶鉄鉱石を日本に供給する提案があり、大冶鉄鉱石購入契約が和田維四郎長官と盛宣懷漢陽鉄政局督弁との間で明治 31 年 (1898) に 15 年間長期契約が締結された。明治 33 年 (1901) 7 月に第 1 船が回航され東田第 1 高炉の火入れに使用された。更に、中国情勢が複雑さを増すなかで明治 36 年 (1903) に武力威圧のもとで 30 年の長期契約の締結に至った。日露戦争の勝利を境に日本鉄鋼業と大陸鉄鉱資源との間に不可分の関係が形成され、大冶鉄山に対する支配が強化されると共に新たに朝鮮、満州における鉄鉱資源の開発が進められた。朝鮮、満州が植民地、半植民地化されたことにより日本資本による鉱山開発やそれを原料とした海外製鉄所の建設が推進された。

石炭に関しては福岡県二瀬炭鉱を買収して明治 32 年 (1899) に製鉄所二瀬出張所が開設された。若松港は筑豊炭の海上輸送拠点として明治 23 年 (1890) に認可された若松築港 (株) によって拡張、整備されていたが、明治 30 年 (1897) 若松港から製鉄所に至る

航路の新設・拡張が明治 33 年（1900）より築港補助費を得て本格的に推進された。若松築港（株）は九州鉄道（株）と共に筑豊炭田と製鉄所を結ぶ輸送機能を果たした。石炭は当初国内調達で充分とされたが、コークス強度対策として強粘結炭が不可欠となり明治 44 年（1911）から中国強粘結炭の輸入が開始された。

4.4 東田第 1 高炉の操業

1) 第 1 次操業

第 1 高炉（第 1 次）は明治 34 年（1901）2 月 5 日に火入れが行われた。火入れ時の鉄鉱石配合は輸入鉄鉱石（大冶鉄石）50%、国内鉄鉱石 50%（岡山柵原鉄石 30%、釜石鉄石 20%）である。明治 35 年（1902）3 月以降は大冶鉄石が 80%に急増して基本銘柄となった。5 月以降は朝鮮産の殷栗鉄石も使用された。コークスは未洗炭の二瀬炭単味配合の質焼コークスであった。第 1 次操業は装入原料とガスの安定した向流状態が確保できず、操業は絶えず不安定状態にあり目標生産量の半分程度しか達成することができなかった。第 1 次操業成績は以下の通りで計画（日産 160t/d）を大きく下回るものであった。

稼動日数 538 日、累計総出鉄量 41,135t、
平均出鉄量 76.5t / 日、
生産指標（出鉄 t 当たり有効内容積）6.46m³、
コークス比 1.93t / 溶鉄 t

この原因を明治 35 年（1902）2 月の「操業状況報告」では「コークスの強度不足と灰分の増加などのコークス品質の不良」と特定し、第 1 次操業は明治 35 年（1902）7 月で中止された。「作業経済上の理由で事業縮小の必要を認める」として明治 37 年（1902）4 月までの約 2 年弱の間、高炉及びコークス炉の操業は中断された。

2) 第 2 次操業

明治 37 年（1904）2 月の日露戦争の勃発直後、「軍国の急に応じる」必要から経済的な理由はさて置いても高炉を早急に稼動する必要があった。自製コークス炉の完成を待たずに石炭粉碎、洗炭設備を有するコッペー式三池焦煤工場製の三池炭単味配合コークスを購入して明治 37 年（1904）4 月 6 日に火入れされた。第 2 次操業は 4 月 16 日の長時間休風を起点として炉熱を失い、7 日間にわたる懸命の炉熱回復努力も実らず、わずか 18 日間で吹止めを余儀なくされた。

3) 第 3 次操業

中村雄次郎第 4 代製鉄所長官は第 2 次操業挫折の原因調査と対策を野呂景義に命じた。野呂景義は八幡製鉄所「創立案」の起草者の一人であったが、明治 29 年（1896）以降は東京帝国大学工科大学教授及び農商

務省技師の職を去っており北海道炭鉄汽船における製鉄試験やコークス製造の指導に従事していた。中村長官の依頼に応じて明治 37 年（1904）より顧問技師として八幡製鉄所の発展に貢献した。第 1 次、2 次操業の指揮を執った服部漸鉄部長の「溶鉄炉休風顛末報告」（八幡製鉄古文書）を詳しく調べ、第 2 次操業失敗の技術的要因を特定し第 3 次操業への提案を行っている。

技術的要因として「高炉の構造に欠点があること、即ち高炉の炉床径が大きく且つ羽口の炉内突出長さが 700mm もあり尋常でない。このため、炉床周辺部に熱が蓄積されず羽口破損や事故による休風などが発生すると炉内温度が下がりスラグが凝結してしまう。これが原因となって羽口の再破損を誘発し悪循環に至っている」と指摘している。その他、スラグの品質設計方法の誤り、操業技術の未熟を指摘している。第 3 次操業での対策として、①炉床部の内径を可能な範囲で 400mm 小さくし、羽口径を 120mm に縮小、突出長さを縮めて炉床、炉壁部の冷却の防止を図ること、②コークスを製造する場合に二瀬炭単味では強度が不足するので無煙炭または他銘柄炭を三池炭に配合して堅牢で粒度の大きいコークスを製造すること、③熱風炉と気缶の煙突が共通のため気缶の蒸気エンジン送風機の出力を十分にだせなかった。気缶の専用煙突を独立して増設し、熱風炉と気缶の火煙の干渉を防ぎ、ガスの利用を自在にすることを提案した。第 1 次世界大戦後に設立された日本鉄鋼協会の学会誌「鉄と鋼」⁵⁾には、当時の基本問題として、①コークス品質レベルに対して高炉内容積が過大であること、即ち、高炉の内容積は達成可能なコークス品質レベルに基づいて適正に定めねばならないこと、②コークス品質に対する技術的知見や経験が不十分であったこと、③国内原燃料についての知識や経験に乏しい外国人に操業を全面的に委託したことを指摘している。

日露戦争の非常事態下で高炉第 3 次操業は野呂景義の指導により明治 37 年（1904）7 月に火入れされた。プロフィールの改善について第 2 次操業時の炉床部の壁を厚くし炉床径を 4m から 3.6m に縮小した最小限の改造を行っている。コークスの改善対策として明治 37（1904）年 4 月洗炭工場が稼動、明治 37 年（1904）6 月に正規のコッペー式コークス炉（60 窯 1 炉団）が戦列に加わった。第 3 次操業でも立上操業時に炉床部の熔融スラグが粘稠で凝固しやすい状態になり苦労しているが、小径羽口の使用や非常羽口を使用して羽口数を増やしたことで炉床部への着熱効率を向上させ、スラグ中の SiO₂ 成分を 40%以上とする酸性スラグ操

業によりスラグ流動性を改善した。さらに二瀨炭に三池炭、高島炭を配合した石炭配合の変更によりコークス強度の向上が図られ、炉況は次第に改善された。

火入れ後5ヶ月の明治37年（1904）12月に所期の出鉄目標、出鉄量150t／日、コークス比1.22t/t溶鉄をほぼ達成した。第1高炉は明治43年（1910）6月に第3次操業を終了したが、第1高炉1炉代（1次～3次操業）の成績は以下の通りで、全体を見れば所期の計画をほぼ達成している。

稼動日数2,140日、累計総出鉄量309,388t、
平均出鉄量144.6t／日、
生産指標（出鉄t当たり有効内容積）3.32m³、
コークス比1.93t／溶鉄t

炉前での溶鉄処理作業は12時間2交代勤務態勢で、溶鉄を鑄床で砂型に流し貨車に運搬搬入する作業形態であったが、明治34年（1901）11月ベッセマー転炉の操業開始による溶鉄直送の開始、明治39年（1906）9月混鉄炉完成による溶鉄輸送、明治42年（1909）8月の東田鑄鉄機の完成などによって鑄床での鑄込み作業はなくなった。

4.5 八幡製鉄所での技術適応（最適化）

4.5.1 導入初期に於ける技術適応性

外国技術を導入して成功させるには、まず導入国の生産与件に適応させることが必要で引き続き改善を加えて生産効率を高めていくことが要求される。八幡製鉄所の「拡張案」では最新の外国技術の直訳的導入が図られたが、第1高炉第1次操業の成績不良を理由に

第1高炉は2年間にわたる操業休止を余儀なくされている。製鉄事業調査会では建設の順序、資金の運用を誤った杜撰な製鉄所経営が原因でコスト高に陥った結果、製鉄所の建設と同時平行して高炉生産を円滑に進めるための資本や運転資金が不足したことを指摘した。山岡武⁶⁾らが整理した八幡製鉄所の高炉群の生産能率指標の経時的推移を引用して図4.5に示した。ここで、縦軸は当時の生産能率指標「1日に鉄鉄1tを生産するために必要な有効内容積」に関する東田高炉全体としての実績値の推移、横軸は第1高炉火入れ以来の経年期間を表している。

図から操業期間の経過と共に生産能率指標が改善されていることがわかる。この指標は今日使用されている「出鉄比」に相当するものであるが、当時の水準では出鉄比が1以下になるため、出鉄比の逆数を指標として使用している。

東田第1高炉での目標出鉄量は日産平均160tなので目標とする生産能率指標（m³/t鉄鉄）は3.09に相当する（495m³／160t＝3.09m³／t）。図3.5から東田地区全高炉の平均値がこの値に到達するのは明治39（1906）年である。即ち、東田第1高炉稼動から丸5年、途中での高炉の休止期間2年を差引くと実質稼動3年で計画軌道に乗り、わが国における高炉の直訳的技術移転は、国家の強力な支援に支えられ関係者の強い使命感と献身的な努力により数年で「技術的適応」に成功したと評価してよい。特に、コークスの生産・品質改善対策の確立が当時の最大の技術課題と特定できるので、少し詳しく記述しておきたい。

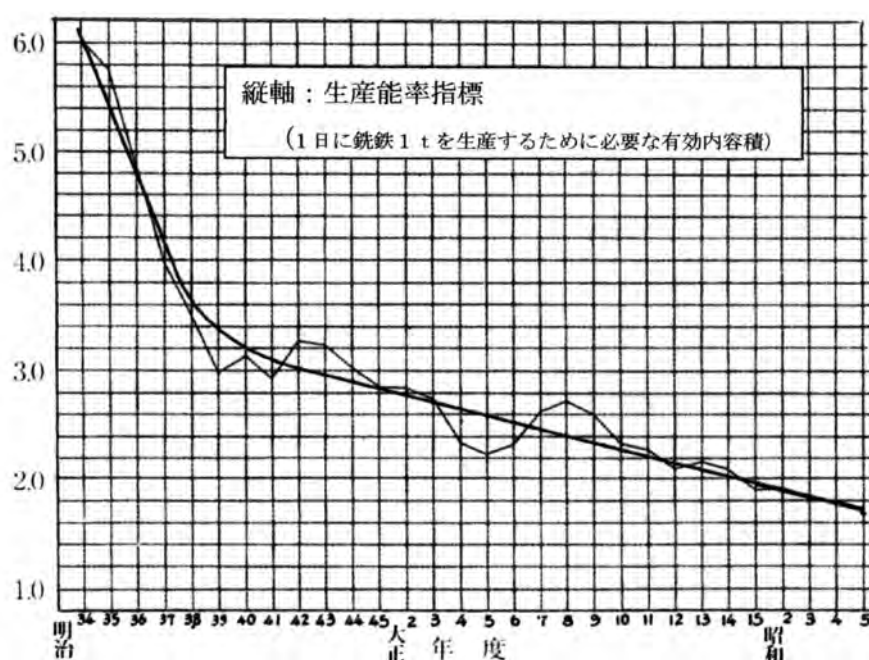


図 4.5 生産能率指標の推移⁶⁾

4.5.2 コークス炉の増強とコークス品質対策

コークス炉は洗炭機械一式、コッペー式コークス炉 200 基の設置が計画されていたが火入れに間に合わず、第 1 次操業に使用したコークスは近隣の零細業者に委託製造した賃焼コークスであった。しかし、粗悪品であったので急遽自家製造することを決定したが予算が他に流用され所定のコッペー式炉コークス炉が作れず、仮骸炭炉と称してビーハイブ炉（460 基）に変更し、使用レンガも耐火用煉瓦の代わりに赤煉瓦を使って築炉せざるを得なかった。この結果、操業開始後、次々と損壊し修理が追いつかないほどとなった。図 4.6 に当時のビーハイブ炉の状況を示した。何故このような事態に至ったのであろうか。



図 4.6 ビーハイブ炉の稼働状況

大島技監は「コークス製造は製鉄工場中の最大難事と認識し、コークス炉設計のための実窯試験及び委託したコークス炉設計ができていなかった」と述べている。つまり、コークス工場建設が遅れた理由は製鉄所が直前に買収した二瀬炭に関する実窯試験が未定のためコークス炉の設計が事実上出来なかったためであるとしている。

日本工業発達史（中巻）「コークス工業の発達」⁷⁾には、わが国に於けるコークス製造は明治 18 年(1885)に野呂景義が古河鉱山工場で最初に研究を始め、炉形式はビーハイブからコッペー式に改めて行われた研究の結果、コークス品質を左右するものは「炉の構造より原料調合の良否にある」ことを発見したと記載している。曰く、「わが国の高炉コークス用石炭は揮発分が多くコークスを製造する際に著しく収縮して縦割れが生じるが、強粘結炭や無煙炭を上手に配合することによって高揮発分、弱粘結性の国内炭を基本炭としても強度の良い高炉用コークスを造ることができる」。野呂景義は夕張炭単味に加えて肥前の大田炭を使用して夕張炭 55%、大田炭 45%配合によるコークスを試製し、その品質結果を明治 26 年（1893）の官営製鉄所設立を目的とした臨時製鉄事業調査会において報告

している。また、釜石鉱山田中製鉄所においてコークスによる高炉操業を推奨し灰分低減対策として洗炭設備が装備されコッペー式コークス炉で夕張炭単味炭に少量の三池炭、大の浦炭などの弱粘結炭を配合して品質の改善を実施し、これが明治 27 年（1894）のわが国でのコークス高炉法を誕生させている。

古河鉱山に次いで明治 23 年（1890）に大阪舎密株式会社（大阪ガスの前身）でも下村孝太郎が明治 31 年(1898)に予熱式副産物回収炉であるソルベー式コークス炉をわが国で初めて導入したが、明治 33 年(1900)に二瀬炭についても実窯試験が行われ洗炭・スタンピング等を施すことによって高炉に使用可能なコークスを製造できるとの結果が得られていた。

このように一部のコークス技術者には「コークス品質は炉形式や構造よりも原料炭の配合、洗炭、粉碎の良否によって決まる」と経験的に理解されており、官営製鉄所にも伝えたと記している。当時、石炭の配合設計技術は世界的にもまだ確立しておらず八幡製鉄所のコークス技術者は恐らくこれらの知見や情報を自分のものとして認知していなかったのであろう。情報を知っていたとしても自社で洗炭設備が稼動し正規のコッペー式コークス炉が完成すれば対応は可能であると安直に評価していたのではあるまいか。

しかし、明治 34 年（1901）に開始された第 2 次操業では石炭粉碎、洗炭設備を有するコッペー式三池焦煤工場製の三池炭単味コークスが使用された。当時の三池コークスはその品質は堅緻にして光沢あり金属色を呈しほとんど英国製コークスと弁別できないとの評判のコークスであり製鉄所自身でも詳しく品質評価をすることなく使用した結果、失敗に終わったものだけに製鉄所関係者に対して石炭の配合研究、実窯評価の必要性について強い衝撃と反省をもたらさずには得なかったはずである。

わが国では大型高炉のコークス製造に不可欠な強粘結炭が当時調達できず、技術課題は国内炭を用いて東田第 1 高炉（内容積 495m³）に相応しい潰裂強度を有するコークスを如何に製造するかに絞られていた。

第 3 次操業以降、野呂景義の指導を受けて不退転の決意で寝食を忘れて取り組んだ現場におけるコークス生産、品質向上対策によってわが国のコークス品質管理技術の基礎が形成された。そして副産物回収炉の導入も含めてエネルギーの製鉄所一貫化を達成し八幡製鉄所の収益構造を黒字に転換させ、1000t 高炉を実現するに至った。

1) コークス炉の増強

第 1 高炉第 3 次操業の稼動直後、明治 37 年（1904）

6月に正規のコッペー式コークス60基が移動して第1高炉に待望の直送コークスが供給された。洗炭設備も同年4月にドイツフンボルト社製のリューリッヒ式選炭機2台(25t/h)が移動した。高炉2基対応として明治38年(1905)2月にコッペー式コークス60基が増設、新コークス炉としてハルデー式コークス炉(ドイツ)が選択されて明治37年(1904)8月に90基が移動した。ハルデー式コークス炉は非常に安価でありコークス不足分の応急対策として準備されたもので「H型仮骸炭炉」と呼ばれた。何れも副産物非回収炉のため発生ガスは炉内或いは外燃焼室で加熱用に利用された。コッペー式コークス炉は室炉式コークス炉であり、炉容積は幅600mm、炉高1,850mm、炉長10,000mmで1炉の装入炭量は5tであった。明治40年(1907)にソルベー余熱式コークス炉3炉団(75窯)、明治41年から42年にかけて更に3炉団(75窯)が導入され、コークス炉は大きな転機を迎える。



図 4.7 ソルベー余熱式コークス炉

ソルベー式炉の導入経緯は当時海軍艦船の練炭用バインダーピッチが不足しており輸入されていたが、国内自給体制を早急に確立する必要から中村製鉄所長官が大阪舎密工業のソルベー式副産物回収コークス炉を視察して導入されたものである。導入に際して海軍の支援によって「練炭用ピッチ製造に関する件」として「閣議稟請案」が農商務省大臣、海軍大臣連名で提出され「明治38年度臨時事件費」で手当てされ、大阪舎密工業の下村孝太郎の尽力を得て逐次稼動を開始した。下村孝太郎はコーライト法の特許権者でもあり後年室蘭でのコーライト法でも製鉄所に貢献している。ソルベー式炉の炉容積は幅460mm、炉高2,200mm、炉長9,200mmで1炉の装入炭量は6t、炭化時間は30時間強で1窯生産量は3.6tでありビーハイブ炉の4倍の能力を有するものであった。副産物の回収によって

タール、ピッチ、コークス炉ガスが回収され、ガスは自己循環以外に圧延工場の加熱炉用燃料として使用された。

第一期拡張計画で明治42年(1909)に第3高炉が移動したが、高炉3基体制のコークス供給能力はコッペー炉2門120基、ソルベー式炉6炉団150基で対応できたので、ビーハイブ炉、ハルデー炉は炉寿命によって明治40年(1907)に休止された。

その後のコークス炉の増強に関しては、第2期拡張計画(第4高炉関連)で大正3年(1914)にコッペー型コークス炉を図面と炉体煉瓦の一部を購入して自社で建設され、第3期拡張計画(第5、6高炉関連)ではわが国独自開発の「黒田式コークス炉」が実現し大正9年(1920)に東田コークス工場に稼動している。

黒田式コークス炉はヘアピンフルーを持つ我が国初の国産、副産物回収コークス炉であった。昭和5年(1927)に洞岡1コークス炉で黒田式複式コークス炉が稼動して、コークス炉の燃焼用燃料に高炉ガスを使用して高発熱量のコークス炉ガスを熱経済上圧延地区で有効に使用する等の改善が講じられた。

ソルベー式コークス炉の導入によりタール系副産物の外販、コークス炉ガスの所内利用による副産物控除によりコークス製造コストが大幅に下がり、銑鉄コストの低減はもとよりエネルギー購入面から製鉄所の経済収支を黒字に転換するものであった。八幡製鉄所のコークス炉はその面目を一新することになるが、石炭による製鉄所のエネルギー貫化は銑鋼一貫製鉄所成立の重要な基本要件であることを示した出来事でもあった。

2) コークスの品質改善

コークス品質の改善対策として二瀬炭・三池洗炭の混合配合とスタンピングを行い、低灰分の高島炭や無煙炭を加えることなどが推進された。数多くの配合試験が実施されたが明治38年(1905)の国内炭の平均配合は二瀬炭・新山炭76%、三池・高島炭24%、無煙炭0.3%であった。コークスは石炭の乾留時に揮発性成分が抜け出した後に残る塊状の炭素質の固まりであるが、その強度は使用石炭銘柄の特性によって異なる。石炭は古生代石炭紀(3億年前)～新生代(6千年～2千年前)に埋没した植物体が種々の分解作用や地圧による変成作用を受けて生成した複雑な構造を有する芳香性高分子化合物であり、石炭銘柄毎に異なった特性を有している。明治期においては石炭の配合設計に関する理論的展開は世界でも未だ行われていなかった。自社保有の二瀬炭をベースとして三池炭、高島炭、微粉炭を試行錯誤的に組み合わせ、灰分低減のた

めに洗炭を行い粉砕機によって石炭粒度を種々調整することによって配合炭を作り実釜試験によって具体的にコークス強度を確認していく、所謂、試行錯誤的な改善活動が絨毯爆撃的に繰返されている。当時はコークス品質規格はなく製造されたコークスは使用粗炭銘柄によって各々名称が付された。

明治 39 年の日露戦争の勝利により石炭の選択は煙台炭（中国、遼寧省）、萍鄉炭（中国、江西省）、本溪湖炭（中国、遼寧省）など大陸での資源開発が進んでいるが、明治 42 年（1909）には本溪湖炭、明治 43 年（1910）に開らん炭などを代表とする中国強粘結炭の定常的な輸入が開始され、コークス強度は著しく強化され大型高炉の建設を可能とした。明治 42 年（1909）には国内での唯一の強粘結炭として北松鹿町炭も開発され、コークス強度向上対策が実効を見た。

第 2 高炉から第 4 高炉までは、高炉の容積は拡大せず、むしろ縮小してきたが、コークス強度対策が確立された第 1 次大戦後の大正 7 年（1921）の第 5 高炉から積極的な炉容積の拡大に踏み切っている。

コークスの品質規格に関する取組みは第 1 次世界大戦後になる。黒田泰造、伊能泰治⁸⁾は灰分などの化学的性質、粒度と形状構造、単位容積重量、真・嵩比重、気孔率、磨耗強度、落下強度、圧縮強度、反応性などをコークス規格の対象とし、規格制定に当たっては地域の条件やコストを考慮して妥当な品質規格を定めることが重要であるとした。八幡製鉄所における規格は大正 13 年（1924）5 月に初めて潰裂強度と気孔率の下限値を設けたコークス品質規格が以下のように設定された。

灰分 $18 \pm 0.5\%$ 、潰裂強度 $> 81\%$ 、気孔率 $> 41\%$ 、全硫黄 $< 1\%$ 。

昭和 6 年（1931）には、粒度 30mm 以上、灰分 $18 \pm 0.5\%$ 、潰裂強度 $> 85\%$ 、気孔率 $> 41\%$ 、固定炭素分 80% 以上と改訂している。

粒度に関しては最大粒子径はコークス炉幅で制限されるので下限粒度で規定している。気孔率について高炉での影響効果に関する報告はないがコークスの燃焼性を左右すると考えていた。灰分は高炉でのスラグ量や石灰石所要量を定める要素となり灰分 1% 増加するとコークス比が 25kg/t 増加すると評価され高炉サイドからは低いに越したことはないが、わが国の石炭灰分が高く外国並みの水準まで洗炭することは到底経済

的に許されない。強度測定法について八幡製鉄所では供試料の粒度、採取量の影響等を調べた上でドラム回転強度 15mm 指数を圧潰強度として採用している。

昭和 6 年（1931）における八幡製鉄所のコークス強度は 87% 程度であり ASTM 法による英国やドイツ製のコークスと強度比較をしても遜色はなく、洞岡地区での 1000t 高炉の建設を可能とする水準であった。

引用文献

- 1) 三枝博音、飯田賢一 日本近代製鉄技術発達史（1957）東洋経済新報社 p107 ~ 656
- 2) 八幡製鉄所 八幡製鉄所 50 年史 八幡製鉄所（1950）
- 3) 清水泰、酒井英孝、吉永博、彼島秀雄、長尾由一、開田一博 八幡製鉄所の設備・技術の変遷 第 1 分冊 高炉・原料処理設備（北九州産業技術保存継承センター）p14
- 4) Stahl und Eisen 1896 p810
- 5) 野呂影義 本邦製鉄業の過去及び将来 鉄と鋼 Vol 1（1915）10 p1128 ~ 1138
- 6) 山岡武 洞岡 1 高炉の内径の決定について 鉄と鋼 Vol18（1932）12 p1310 ~ 1332
- 7) 日本鉱業発達史（中巻）「コークス工業の発達」鉱山懇話会 p727 ~ 805
- 8) 黒田泰造、伊能泰治 熔鉱炉用炭とその規格鉄と鋼 Vol17（1931）、5 p675 ~ 691

参考文献として以下の資料を参照した。

- ①三枝博音、飯田賢一 日本近代製鉄技術発達史（1957）東洋経済新報社
- ②八幡製鉄所「八幡製鉄所 50 年史」八幡製鉄所（1950）
- ③八幡製鉄所「八幡製鉄所 80 年史（総合史、部門史）八幡製鉄所（1980）
- ④清水泰、酒井英孝、吉見克英、小串嘉宏、山本英樹、木村昌仁、開田一博、八幡製鉄所の設備・技術の変遷 第 2 分冊 コークス製造設備編（北九州産業技術保存継承センター）
- ⑤八幡製鉄所「製鉄部概史 鉄の流れ」八幡製鉄所製鉄部、
- ⑥野呂影義「本邦製鉄業の過去及び将来」鉄と鋼 Vol 1（1915）10 p1128 ~ 1138、鉄と鋼 Vol 2（1917）6 p611 ~ 620、鉄と鋼 Vol 1（1915）p847 ~ 864
- ⑦服部 漸「八幡製鉄所の溶鉱炉作業について」鉄と鋼 Vol2（1916）5 p443 ~ 453
- ⑧日本鉱業発達史（中巻）「コークス工業の発達」鉱山懇話会
- ⑨「鉄考」（明治 25 年）（大蔵省編）明治前期財政経済史料集成 第 17 巻、大内兵衛、土屋喬雄編 1979、原書房

5 | 戦前の官民並立態勢での高炉技術の自主的発展

5.1 官民並立の生産構造の展開と積極的投資による合理化の推進

第1次世界大戦（大正3年～大正7年）によって鉄鋼市場は拡大し、鉄鋼業は官営八幡製鉄所を中心として官民並立の新たな生産構造へと変転していく。第1次世界大戦では鉄鋼価格が高騰、大正6年（1917）の「製鉄業奨励法」が拍車をかけ第1次世界大戦中に零細な民間鉄鋼業が激増した。しかし、ドイツの敗戦が濃厚になった大正7年（1918）8月を頂点として市況は急落し戦後の反動不況の結果、群小の民間鉄鋼業は淘汰された。

世界恐慌の昭和4年（1929）に生き残った企業は財閥系、金融系の大企業のみであった。民間の製鉄業者では輪西製鉄所、釜石鉱山、東洋製鉄、浅野造船の4社、海外では三菱兼二浦製鉄所（大正7年設立）、鞍山製鉄所（大正8年設立）、本溪湖煤鉄公司（大正4年設立）であり、製鋼業者では日本鋼管、住友製鋼所、神戸製鋼所、川崎造船、日本製鋼所などの大企業であった。第1次世界大戦後、製鋼会社は低廉豊富なるインド銑やスクラップの大量輸入を土台として平炉、転炉、電気炉製鋼法で活路を開き、逆に民間製鉄会社はインド銑などの低価格販売戦略や低率関税政策に晒され困窮に喘いだ。官営八幡製鉄所は戦後、軍需から民間需要にも対応し民間企業にとって大きな脅威を与える存在となった。この結果、民間製鉄会社と製鋼会社との対立が生まれその調整策として銑鉄カルテルの形成や国家的見地からの製鉄大合同の機運が促進された。満州事変（昭和6年）による紆余屈曲があったものの昭和8年（1933）に日本製鉄会社法が成立し日本製鉄を中心とした製鉄大合同が実現した。

この期間のキーワードは官営、民間、海外製鉄所の共存、競合による高炉基数の増加と内容積の積極的な拡大を実現して銑鉄需給率の拡大を図ったこと、第1次世界大戦後の労働単価の上昇に対応し、国際的な銑鉄コスト競争力を高めるために生産能率の向上と労働集約的な作業の機械化を図るための積極的な合理化投資を図ったことであり、株式発行による資金調達、財閥系企業の内部資本市場からの資金調達等の投融資環境も整備された。

1) 官営八幡製鉄所は、第1次世界大戦前後の波乱に満ちた時期にあって大正5年（1916）から第3期拡張計画（第5高炉、第6高炉）を推進した。これは年間

鋼材生産量 65 万 t（銑鉄生産量 50 万 t）を目標として軍需軍艦用の圧延鋼材や鋳鋼品を製造する圧延工場を主体としたものであったが、鉄源部門としては第5高炉、第6高炉の新設、泊地から高炉炉前への鉄鉱石輸送設備としての索道の新設、黒田式コークス炉の建設、製鋼部門では塩基性平炉の新増設であった。新設の第5高炉（内容積 595m³、270t）から炉容積を積極的に拡大し自社設計、国産技術で建設する戦略に転換し、第1高炉～第3高炉の拡大改修でもスキップ捲上方式への変更など生産力を向上させるための機械化合理化が同時並行的に推進された。黒田式コークス炉は大正9年（1920）に独自の発想によるコークス炉（100門）であるが、製鉄所で設計、製作施工を行い押出機等の機械構造物は製鉄所で基本設計をして国産機械メーカーに詳細設計、製作をさせる国産化体制を構築したことは特記される。第6高炉の完成（大正10年火入れ）で東田地区の建設は完了するが、世界恐慌が発生した昭和4年（1929）には銑鉄生産量は 78 万 t で当初計画を凌駕している。一方、塩基性平炉を中心とした製鋼設備の増設によって年間粗鋼生産能力は 108 万 t に増強され、銑鉄生産と粗鋼生産に大きなギャップが存する跛行的生産構造であった。

このため、八幡製鉄所では自社の銑鉄自給率の改善を図るべく昭和2年（1927）に洞岡地区での 100 万 t 高炉製鉄所の建設が決定された。洞岡地区は第3次拡張計画で洞海湾の浚渫と浚渫土、土砂、所内排滓を利用して造成されたものであり、わが国初めての海面埋設地に立地された製鉄所で最終的には高炉4基体制、第3高炉、第4高炉において国産技術による日産 1000t 高炉が建設され、戦前に於ける高炉技術の到達点でもあった。

2) 昭和10年（1935）以降、先進国を軸とした各勢力圏内のブロック経済化（アウタルキー）が急速に進行する様相にあった。国防的視点から昭和12年（1937）に制定された「製鉄事業法」では民間製鉄企業での高炉の新増設、高炉を保有しない製鋼企業に対しても銑鋼一貫体制確立のために高炉建設を認可する戦略に転換した。

昭和9年（1934）に成立した日本製鉄の使命は風雲急を告げる世界情勢を踏まえた上で、鉄鉱石資源の確保とアメリカ屑への依存から脱却するための銑鉄増産、低廉な鉄鋼を提供するための総合的設備拡充による近代化に着手することであった。このため「日鉄長期拡充計画」を策定し国家的な見地から銑鉄の製造

体制の強化が図られた。具体的には、輪西製鉄所で 300t 高炉、釜石製鉄所で 700t 高炉、兼二浦製鉄所で 350t 高炉の拡張計画を推進、昭和 14 年（1939）から新たに広畑製鉄所、輪西仲町製鉄所に年産鉄 70 万 t 製鉄所の建設が決定、昭和 14 年（1939）10 月に広畑製鉄所第 1 高炉（1000t）が稼働、同年 12 月には輪西仲町第 1 高炉（700t）、昭和 15 年（1930）10 月に広畑第 2 高炉（1000t）、同年 11 月には輪西仲町第 2 高炉（700t）、昭和 16 年（1931）8 月に輪西仲町第 3 高炉（700t）が相次いで稼働した。海外でも北朝鮮に清津製鉄所を昭和 14 年（1929）4 月に茂山鉄鉱石を原料として 500t 高炉 2 基の建設に着手した。官営八幡製鉄所で確立された高炉建設技術、コークス製造技術が移転された。

日鉄以外の民間鉄鋼企業にあっても高炉建設による鉄鋼一貫体制への転換が加速され、日本鋼管、浅野小倉製鋼、中山製鋼、尼崎製鉄での高炉建設を次々に認可された。日本鋼管が昭和 10 年（1935）に川崎製鉄所扇町地区に高炉 2 基（350t、400t）、昭和 13 年（1938）に第 3 高炉（600t）、第 4 高炉（600t）を大島地区に建設した。

この結果、日本製鉄発足時（昭和 9 年）における高炉基数は 19 基、出鉄能力 221 万 t、粗鋼能力 212 万 t であったものが、10 年後の昭和 18 年（1943）には高炉基数は 29 基、出鉄能力 521 万 t、粗鋼能力 446 万 t と倍増した。原料対策として軍勢力を背景に中国、朝鮮、樺太、内地各方面での鉄鉱石、石炭の国策会社を設立して原料調達基盤の強化が図られた。同時に塊鉄石の不足を補う目的で国内粉鉄を塊成化処理するための焼結機の導入が始まった。

3) 八幡製鉄所の製鋼プロセスは酸性転炉、酸性平炉鋼の生産が大きなウエイトを有していたが、大正、昭和期に入ると戦艦用高張力鋼の需要、産業用圧延鋼材や鋼板の需要が急速に拡大し塩基性平炉鋼の建設が加速した。この結果、溶鉄品質の質的变化、即ち塩基性平炉用の低珪素鉄の製造ニーズが高まり、各企業で低珪素鉄製造技術が進展した。

5.2 原燃料需給と粉鉄石の塊成化処理

5.2.1 海外鉄鉱資源の調達先の拡大

官営八幡製鉄所の設立以来、鉄鉱石原料の主力を中国大陸揚子江流域の大冶、桃中、太平、象鼻山に求めてきたが、中国に於ける民族運動や鉄鉱国有論の昂揚から鉄鉱資源の安定確保のために南方鉄鉱資源へ分散する動きが開始された。

表 5.1 八幡製鉄所鉄石入荷量（千 t）¹⁾

	国	内	朝	鮮	中	国	マレー	フィリピン	計
1915	6	213	269						487
16	5	183	267						464
17	1	94	300						395
18	0	170	360					2	531
19	1	191	446					8	676
20	1	235	515			10			760
21	0	187	481			137			805
22	—	91	575			169			835
23	—	94	607			156			856
24	3	99	682			256			1,040
25	—	116	646			267			1,028
26	2	132	310			293			737
27	1	234	537			485			1,257
28	—	215	674			754			1,643
29	—	224	627			863			1,714
30	—	222	571			889			1,681
31	—	111	314			618			1,042
32	—	152	343			766			1,261
33	—	209	554			1,011			1,775

大正 9 年（1920）に民間資源開発企業の石原産業会社と八幡製鉄所との間でマレー地区のジョホール鉄山（スリメダン）の開発契約が締結され、昭和 5 年（1930）に日本鉄業（株）によるズングン鉄山、昭和 6 年（1931）には飯塚鉄業（株）によるランカップ鉄山、昭和 7 年（1932）には南洋鉄業（株）によるテマンガ鉄山が相次いで開発された。八幡製鉄所における海外鉄鉱石の輸入実績を表 5.1 に示したが、マレー地区のジョホール鉄山は大正 9 年（1920）から開始され、昭和 3 年（1928）には中国鉄石を抜いて 45% の配合比率に達している。ジョホール鉄山は鉄分が高く珪酸が少ない高品位赤鉄鉱であり低珪素鉄の製造に有利であった。石炭に関しても洞岡、広畑の 1000t 高炉、輪西 700t 高炉用の強粘結炭が要望されたが、わが国唯一の北松鹿町炭の増産、中国の開らん炭等に加えて満州、樺太から大量に強粘結炭が輸入された。

5.2.2 粉鉄の塊成化技術

高炉製鉄所が民間製鉄所、海外製鉄所へと拡大し鉄鉱石の需要が増加したことによって原燃料の新規調達や国内粉鉄の塊成化の動きが加速された。わが国における高炉用の鉄鉱石原料の塊成化は、明治 42 年（1909）に輪西製鉄所で砂鉄を原料とした団鉄法（シュマッハ法）の実機化に始まる。続いて明治 43 年（1910）に釜石製鉄所でポット式焼結炉が導入され、輪西製鉄所にも普及した。両製鉄所での粉鉄塊成化の目的は釜石、輪西でのローカルな鉄鉱資源の有効活用であった。第 1 次世界大戦の勃発に刺激されて高炉を保有する民

間製鉄所や海外製鉄所が建設され、塊鉱石の絶対量が不足しつつあり硫酸滓、砂鉄、国内貧鉱、輸入粉鉱石などを使用するための焼結工場が新增設された。八幡製鉄所での AIB 焼結機（昭和 4 年）、釜石製鉄所での DL 焼結機（昭和 4 年）、室蘭製鉄所での GW 式焼結機（昭和 5 年）が導入され、引き続き八幡製鉄戸畑製造所での GW 式焼結機（昭和 12 年）、鋼管・川崎での DL 焼結機（昭和 14 年）、広畑での GW 焼結機（昭和 15 年）、住金・小倉での DL 焼結機（昭和 15 年）が新設された。

第 2 次世界大戦の勃発で外国の塊鉱石の輸入が減少、途絶されるに及び国内粉鉱石や至近距離にある朝鮮粉鉱石を対象とした焼結機の増産が喫緊の課題となり、焼結機の新増設が行われ、尼崎製鉄での DL 焼結機（昭和 16 年）、室蘭での DL 焼結機（昭和 19 年）が新設された。いずれも鉱石の一部を補填するためであり品質的には強度重視の熔融型焼結鉱で被還元性の悪いものであった。

鞍山製鉄所の貧鉱処理技術、焼結製造技術の開発と工業化²⁾は鞍山製鉄所の存否を支えた革新技術であり特記する。

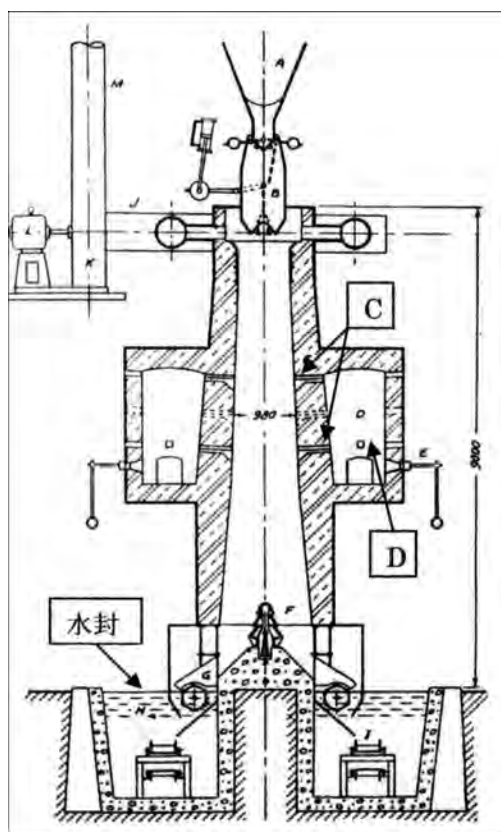


図 5.1 還元焙焼炉の概念図²⁾

鞍山製鉄所の建設は大正 4 年（1915）に満州鉄道が鞍山一帯の鉄山開発の権益を獲得したことに始る。銑鉄 100 万 t を目標とした銑鋼一貫製鉄所構想があった

が、第 1 次大戦の終結で当面 200t 高炉 2 基を建設して銑鉄を製造することとなった。鞍山の最大の技術課題は大孤山鉄鉱石を如何に処理するかであった。大孤山鉄鉱石は鉄分 40% 以下で 20% を越える珪酸分を含む貧鉱石であった。赤鉄鉱であるから磁力を持たないので磁力選鉱ができず、又極めて硬く細かく粉碎できないので比重選鉱法の採用は経済的に成立しなかった。この課題を梅根常三郎が開発した独創的な「還元焙焼法」と「焼結法」で愁眉を開くことになる。

還元焙焼法とは磁化を帯びていない赤鉄鉱を還元雰囲気中で焙焼することによって磁鉄鉱に改質し、磁力選鉱によって鉄分濃化を図る方法である。一般に「還元焙焼」する場合には還元し易いように鉄鉱石を事前に細粒化してから行うものであるが、梅根の発想は 100mm の大塊を大焙焼炉で直接焙焼するところが画期的であった。大孤山鉄鉱石は鉱石部と脈石の珪酸部が相互に縞状をなしている特性に着目して適当なサイズの大塊を適当な温度と還元ガスによって焙焼することによって塊鉱石内に無数の亀裂が生じて還元ガスの効果が粒内に均一に及ぶため、粗い原鉱であっても亀裂と化学反応によって脆くなり磁鉄鉱化する事に着眼した「磁化焙焼方法と装置」を開発した。図 5.1 に還元焙焼炉の概念図を示した。

装置開発のポイントは炉の中段にある燃焼室 D からの燃焼ガスによって生じる炉内の温度分布を均質化するためにガスの供給孔 C を 3 段に増加し炉内温度を 500 ~ 700℃ に均一化したことにより焙焼能力を 3 倍に増強する事ができたことであった。焙焼炉は矩形で焙焼鉱の排出口は長径サイドで水封されている。

破碎し易く変化した磁鉄鉱を破碎し DL 焼結機で塊成化して高炉に装入了。焼結工程では微細な精鉱は「むら焼け」が生じて品質にバラツキを生じるので大正 15 年（1926）に石灰石を 4% 配合した石灰焼結鉱（鉄分 55%）としたことなどが先駆的であった。

鞍山製鉄所ではこの磁化焙焼法による貧鉱処理法の大規模投資を図り大正 15 年（1926）に高炉 2 基の操業で年産銑鉄生産量 22 万を達成した。還元焙焼工場の能力は貧鉱処理量日産 2, 200t、焼結鉱生産量は日産 1, 100t であり日産 300t 還元焙焼炉 10 基、グレンダル式磁力選鉱機 96 基、日産 250t DL 焼結機 6 基で構成された。

鞍山製鉄所は第 2 次世界大戦前の日本市場においてインド銑と対抗できる「本邦銑」の代表格としてその使命を果たすに至った。梅根常三郎の開発は戦後日本鉄鋼業発展の基本となった塊成化処理技術分野での先駆的な革新技術と高く評価された。

5.3 国産化技術による洞岡第3、4高炉 (1000t 高炉) の建設

20世紀の初頭に始まった八幡製鉄所における高炉建設技術は第2次世界大戦(1941年)開戦に至る約40年間の間に世界の水準にほぼ追いついていた。世界の最先端はアメリカ合衆国であるが、大規模資本を投入した合理的な輸送システムを確立させて五大湖周辺の良質鉄鉱石と東部アパラチア炭田の石炭を集積して低灰分・低スラグ比での急速操業(Rapid Working)を実現していた。原燃料の品質格差で出鉄比、コークス比等の主要技術指標では遅れをとっていたが、戦前の設備技術の到達点として国産化による1000t高炉の建設について述べる。

5.3.1 洞岡地区の造成、岸壁・荷役運搬設備

製鉄所の創業開始から大正初めまでの廃滓スラグは八幡構内の自然の地勢の窪地で処理されたが、生産の拡大によってスラグやレンガ屑の発生が増え新しい処分地が必要になったことから、洞海湾の一部に処理場を設定することになった。大正8年(1919)に洞岡地区に40万坪の原料置場を設立する目的で埋立認可を得て、洞岡地区はスラグ等の廃滓を利用して造成された。図5.2に洞岡敷地状況図を示した。

洞岡工場は東田地区の北方数百mにある海面埋設地に建設された。欧米でも臨海地区の工場や水運に恵

まれた工場は多く存在していたが、海中に浮かぶ埋設地にまで進出した鉄鋼工場は皆無であった。その後計画された日鉄輪西、住友小倉、京浜川崎、日鉄広畑、中山、尼崎などの新設工場は、例外なしにその一部、又は全部を埋立地に進出し1万t級の航洋汽船の接岸を可能とする工場配置を整えている。洞岡工場は、将に「海に築く製鉄所」の嚆矢であった。岸壁は808mのコンクリート岸壁で1万t級船舶5隻を係船しうるものである。通称「ケーソン岸壁」と称し鉄筋コンクリートの潜函によって築造された。ケーソンは上底6m、下底9m、長さ20m、高さ11m、重量1200tの巨大な梯形コンクリート函で、これを海上に浮かべ所定位置に曳航しこれに土砂、海水を注入沈設して構築した。

鉱石は着岸した鉱石船から4台の12t荷揚起重機で揚陸、入荷量を秤量後ベルトコンベアで碎鉱車に搭載された碎鉱機で破碎され、1床式篩分機(篩サイズ70mm)で篩われる。洞岡地区での高炉用原料処理はトップサイズ70mmで篩下の70mm以下の全ての粒度の鉱石が高炉に使用された。鉱石は鉱石ピットに仮置きし処理能力300t/h、スパン70m、高さ25mの橋型鉱石運搬起重機を使用して直接鉱石置場、又は炉前鉱石庫へ搬送された。

工場配置は、図5.3に示したように、最終的には4基の高炉の各設備が海岸線に沿って整然と平行に配置した、臨海製鉄所であった。

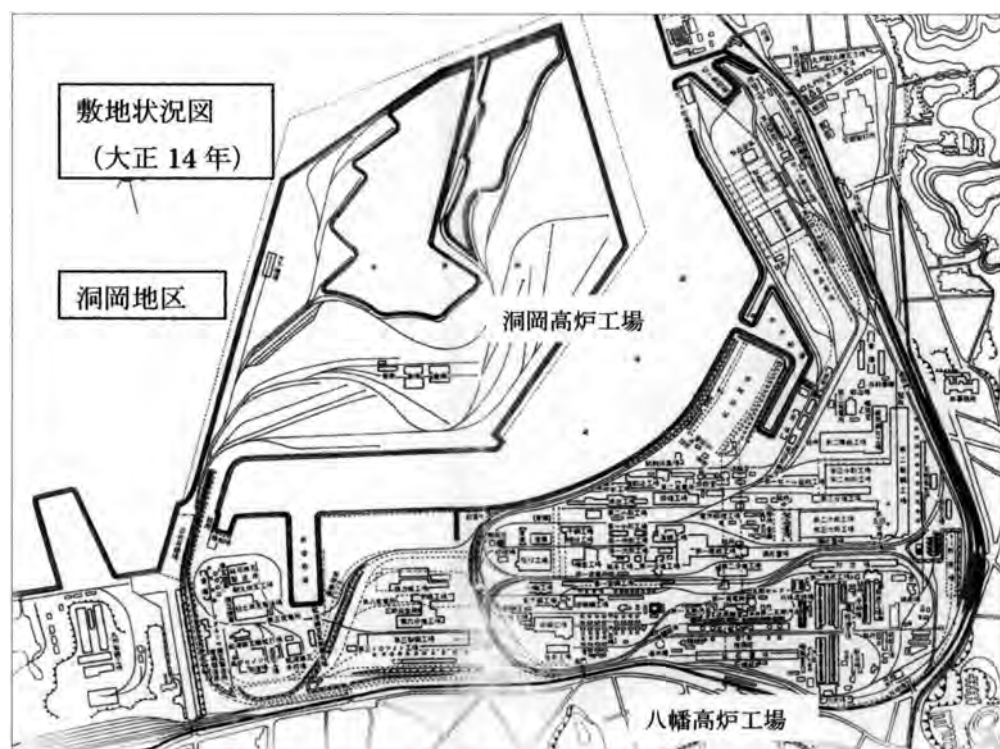


図 5.2 洞岡敷地状況³⁾

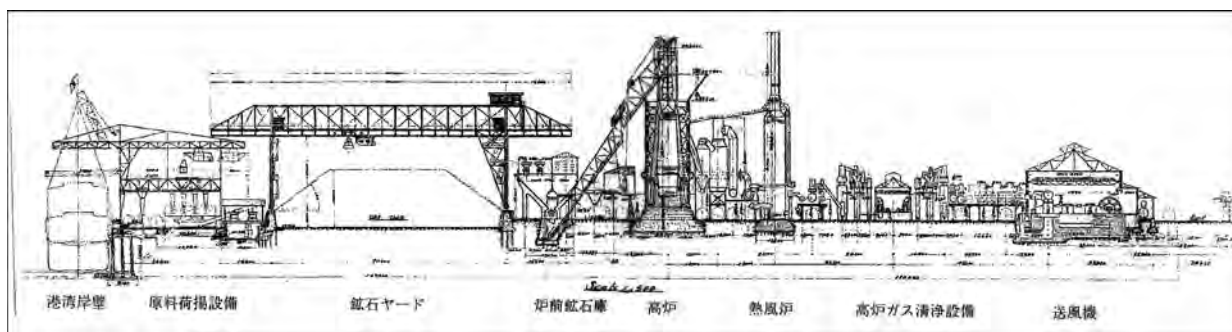


図 5.3 工場配置³⁾

5.3.2 日産 1000t（洞岡第 3 高炉）の建設

洞岡第 1 高炉は、わが国初めての日産 500t 高炉であり、東田地区での高炉建設技術と操業技術の成果を総括し、設計計画され昭和 5 年（1930）6 月に火入れされた。第 2 高炉は 700t 高炉に変更、最終目標として第 3、4 高炉を 1000t 高炉とした。尚、建設に当っては、当時の外貨不足から昭和 2 年（1927）に国産奨励法が公布され、国産化を基本とする国家方針が定められ、高炉では原料捲上設備、装入装置、送風機、計測制御機器を除いて原則的に国産化で対処する方針が決められた。

洞岡第 3、4 高炉では第 2 高炉の設計を踏襲し、製缶、鉄骨類も自社で設計製作され、第 4 高炉では電気設備、送風機も国産化された。まず、1000t 高炉建設に至る設備設計の進展について概説する。

1) 高炉プロフィール

高炉プロフィールは経験蓄積に基づき Wide hearth、Low bosh、High Bosh angle 指向である。高炉プロフィールは東田高炉の新設、改修で数多くの試行錯誤的な改

善取り組みが行われた。一例として東田第 1 高炉のプロフィールの変遷を図 5.4 に示したが、大正 5 年（1916）の第 4 回改修でのプロフィールの成績が優れていたことから後の高炉プロフィールの原形となり定着した。朝顔角度は 75° が標準であったが、洞岡高炉では 80° が試験され High Bosh angle 化が進んでいる。

2) 炉体構造

炉体構造は、東田地区の新設高炉は全て鉄帯式であったが、生産量の拡大、寿命の長期化に伴い炉末期ではレンガ損耗によって煉瓦の残存厚みが 100mm 以下になると鉄帯と鉄帯間のレンガの飛出し、レンガ目地からのガス漏洩、鉄帯の熱変形や切断などのトラブルが増加した。このため大正 14 年（1925）の八幡第 2 高炉改修（第 4 次）から鉄帯と鉄皮が組合わされた鉄帯鉄皮折衷方式が採用された。生産量の拡大によって炉壁単位面積当たりの熱負荷も増大し炉底、羽口、朝顔下部、炉腹部に青銅製冷却盤や鉄製冷却箱を挿入して冷却強化が実施された。洞岡第 2 高炉から本格的な米国式の鉄皮構造に転換し

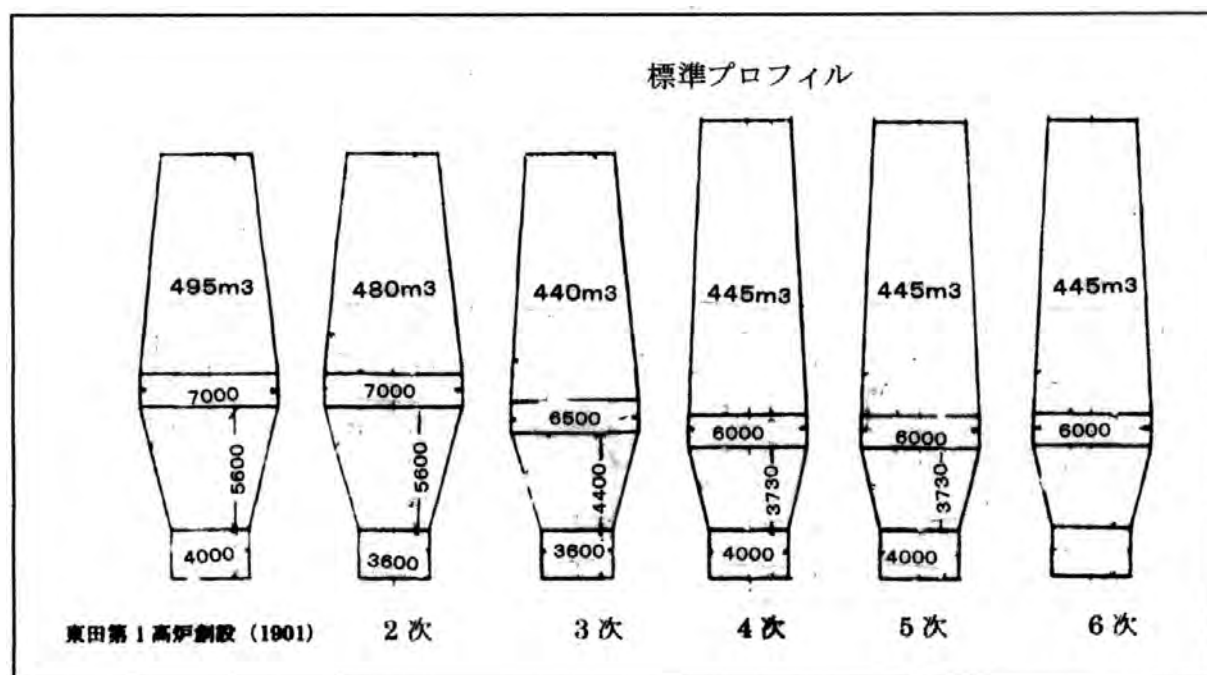


図 5.4 東田第 1 高炉の高炉プロフィールの変遷⁴⁾

た。鉄皮の厚みを増加させ装入装置の荷重を鉄皮に負担させて4本柱を省略した構造で洞岡第4高炉まで継承されている。日産1500tの戸畑地区での高炉大型化に当たって、わが国独自の鉄骨鉄皮式が採用された。

3) 装入装置

高炉装入装置は東田地区ではブラウン式が採用されたが洞岡第1高炉から最新のマッキー式2重コーンが採用されている。このため洞岡第1高炉の捲上設備の全ての設計製作はDEMAG社に委託したが、洞岡第2高炉以降は自社でエンジニアリングを実施して国産化している。捲上設備は東田第4高炉の火入れから傾斜塔によるスキップ方式が採用され、洞岡第2高炉では秤量車方式が採用され装入作業の精密化、高速化が実現した。

4) 熱風炉

熱風炉は第2高炉までは熱効率の良いマックルワー方式であったが、洞岡第3高炉以降は大型化によりカウパー方式に変更した。その理由は内径拡大によって内ドームの下部煉瓦積部分が熱膨張で内部に迫り出して脱落する事故が頻発したからである。蓄熱室のギッター寸法は従来150mm～200mmの単層であったが、洞岡第3高炉では70mm目の細かいキューン式多層積みとして伝熱面積の拡大を図っている。高炉、熱風炉用耐火物は全て自製である。

5) 高炉2次集塵機

我が国でのコットレル電気集塵機は釜石製鉄所で初めて設置されたが、八幡製鉄所では洞岡第1高炉から2次集塵機にコットレル式電気集塵機が採用された。洞岡第2高炉ではプレクーラーを設置してコットレル入口温度を下げ飽和水分値を下げることにより集塵性能と稼働率の向上及び槌打装置の改善を図った結果、含塵濃度が大幅に改善されコークス炉、ガスエンジン設備でも高炉ガスが使用可能となり、高炉ガスの完全再利用が果たされた。

6) 送風機

送風機は洞岡第1高炉、第2高炉はガスエンジン送風機であったが、洞岡第3高炉では操作面、性能面で優れている蒸気タービン駆動のターボ型送風機2台（通常出力、6000馬力、風量2400m³/min、風圧1.6kg/cm²）を国際入札でスイス・エッシャウイス社から輸入した。洞岡第4高炉では石川島芝浦製蒸気タービン8500馬力の国産機が採用された。電気設備、秤量システムに関しても安川電機等により国産化された。

7) 溶接工法の導入

溶接工法については洞岡第1高炉以降、熱風炉、除塵機その他缶類の溶接施工が普及した。しかし、高炉本体は洞岡高炉ではリベット接合方式に止まって

いる。炉底マンテルの電気溶接化は戦後、昭和27年（1952）12月の洞岡第4高炉改修時から実施され、高炉の全溶接設計は昭和30年（1955）の洞岡第1高炉改修でのDEMAG社設計による全溶接構造が認知され承認された。

8) エンジニアリング

第3、4高炉のエンジニアリングは全て自社設計、製缶物、鉄骨類の大部分は所内で製作、機械・電気部品は国内メーカーから購入調達、粘土系の耐火煉瓦の全ては所内で製作した。当時は外貨不足で国産化が強く要請されていたが、高炉部門のエンジニアリング体制の強化に関しては東田第1高炉の創設段階から組織的に推進されていたので洞岡第3、4高炉での早期国産化に結びついた。この点は先駆的であり敷衍しておきたい。

八幡製鉄所の創設段階では重工業の発展過程に不可欠な設備関連産業や裾野産業の技術蓄積はほとんどなかった。職工も素人工が多く棟梁、左官、石工、鍛冶等の従来型職人は存在するものの鉄骨の製作、加工、据付など組織的な洋式工事の技能熟練者は当然皆無に近かった。八幡製鉄所では東田第1高炉、第2高炉はドイツGHHに建設、操業技術及び実習指導を全面委託した。第1期拡張計画（東田第3高炉関連）以降の建設エンジニアリングは自社設計、製作、施工とするの目標を置き、創立工事段階からエンジニアリング機能を計画的に充実させ実務を通じた人材育成を推進した。具体的には、明治33年（1900）に修繕、製缶、鍛冶、鑄造の4工場を設置して工場建設、操業開始後の修繕整備、機械の組立加工作業が実施され、その後電気修繕工場、炉材工場が建設されるなど即物対応機能、人材育成機能の強化が図られた。

大正5年（1916）の第2期拡張計画（東田第4高炉関連）から建設と操業の同時進行を図るため日常操業保全機能は生産部門の責任管轄となり、大修繕や突発事故の場合に工務部に依頼する形態が取られた。専用整備部品の調達には時間を要するので生産部門で整備品の設計、調達、保管する機能も担保する必要があった。このため、製鉄部門での設備企画能力も強化され高炉用耐火物、金物、装入装置、ウインチなどの専用部品は製鉄部門で設計することになり、洞岡第3高炉建設段階では特殊な機械を除いて高炉の設計は製鉄部門が受け持つ実力を備えていた。

洞岡第3高炉の設備概要は内容積1,112m³、炉高27m、炉腹径8.2m、炉床径7.2m、通常羽口12本、非常羽口4本であった。

操業成績に関して洞岡第1高炉は稼働日数2,875日、累積出鉄量1,365,000t（平均出鉄量475t/d）と初めて

100 万 t を凌駕した。洞岡第 3 高炉は日華事変の戦雲急を告げる昭和 12 年（1937）に火入れされた。第 3 高炉の立上げは順調で 36 日目に公称出鉄量を越える 1,015t を達成し Si 0.91%、S 0.047% の平炉鉄を生産したと報告されている。

しかし、戦時中の原料事情や過酷な増産対応に迫られた結果、朝顔、炉腹部の煉瓦損耗が激しく 1 炉代の稼働日数 1,344 日、累積出鉄量 1,014,010t（平均出鉄量 755t/d）と生産実績、炉寿命とも計画の 7 割程度で満足すべき状態ではなかった。

5.4 低珪素鉄の製造対応

八幡製鉄所では創立当初はベッセマー 10t 転炉 2 基、25t 塩基性平炉 4 基であったが、その後の拡張は塩基性平炉が中心となった。溶鉄の配分はベッセマー転炉用に優先使用され塩基性平炉で不足する溶鉄は購入鉄鉄や屑鉄で代替する方針とされた。ベッセマー転炉での溶鉄所要量は年間 10 万 t 強で充分であり、高炉ではベッセマー転炉用の低リン鉄と塩基性平炉用の低珪素鉄を吹き分ける作業が要請された。一方、原料事情の変更から鉬石中のリン成分が増加して低リン鉄の製造が困難になった。ベッセマー転炉では軌条材の製品規格を満足させるために平炉との合併製錬などで対処せざるを得なかったがコスト高であり、塩基性平炉法での軌条材の代替生産技術が開発されたことなどの事情によりベッセマー転炉は昭和 2 年（1927）に休止した。

それに先立ち八幡製鉄所では大正 13 年（1924）4 月に溶鉄成分規格を制定し、低珪素鉄製造への方針転換を明確にした。低珪素鉄の製造方法の開発は平川良彦の「鉄製造法の研究」⁶⁾などに報告されている。

八幡製鉄所では高灰分コークス、被還元性の劣る大冶鉬石主体の場合には溶鉄中珪素の低下を狙って低熱操作を行うことができなかった。その理由は炉腹、朝顔部で鉬石の軟化状態が不規則となり棚吊りやスリップが発生して生鉬石が羽口先へ未還元のまま降下する（「生鉬下り」と称する）現象が発生して冷え込みなどの不測の事態に陥る危険性が大きいからである。平川は溶鉄への珪素の還元はコークス中灰分の多寡に支配されると考えていた。洗炭強化による灰分低下は経済的に限界があり鉬石類の選択と装入方法の改善による低珪素鉄の製造方法を研究した。

1) 先ず大正 14 年（1925）に同一炉内容積、形状寸法の同一の東田第 1 高炉と第 2 高炉を対象にして、第 1 高炉には被還元性の良い鉬石（上坡赤鉄鉬）と平炉滓を 12% 使用した原料配合とし、第 2 高炉には通常の大

冶鉬石を中心とした原料配合を選択して低珪素鉄を目標とした操作を数ヶ月行った。第 2 高炉の場合には溶鉄中の珪素成分は 1.3% 以下にすることはできなかったが、第 1 高炉では 0.6 ~ 1.0% とすることができた。第 1 高炉の場合のスラグ比は 450 kg / t、第 2 高炉のスラグ比は 600 kg / t であることからスラグ比の低減が低珪素鉄の製造に有効であることを示した。マンガン鉬石を増加して溶鉄中マンガンを 4% 程度にすると溶鉄中珪素は 0.4% 以下にすることができることも確認した。

2) 高炉のプロフィールと溶鉄中の珪素の関係について昭和 3 年（1928）に朝顔角度の異なる第 2 高炉、第 3 高炉、第 4 高炉で溶鉄中珪素との関係を試験した結果、溶鉄中珪素成分範囲が 1.8 ~ 1.2% の範囲ではあるが、朝顔角度の急峻な高炉（HighBoshAngle）ほど低珪素鉄を安定に製造する事ができることを確認した。

3) 昭和 4 年（1929）には第 6 高炉を利用して通常羽口 10 個（羽口径 160mm）、非常羽口 5 個（羽口径 100mm）を全開にして羽口風速を 100m/sec 程度に積極的に低下させてレースウエー空間を最小化して操作することによって、ガスが炉の中心部分に浸透しやすく熱を炉下部に集中させることができ、棚吊りや生鉬下りの発生も少なく低熱操作により溶鉄中珪素成分を 1.8% から 1.0% まで低減できることを確かめた。これらの作業実験を踏まえて昭和 5 年（1930）2 月から東田地区の全稼働高炉を使用して低珪素鉄試験操作を実施した。

作業条件としてコークス灰分を 18% 一定として各高炉とも羽口径の拡大と非常羽口を使用して羽口

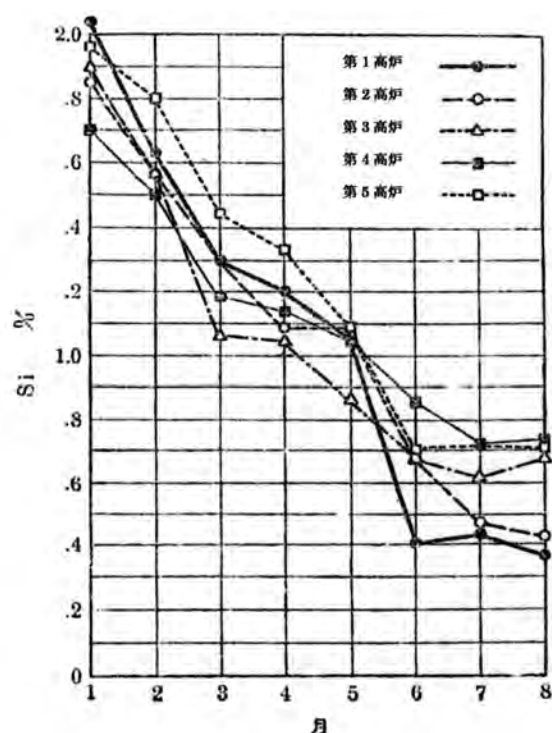


図 5.5 低珪素鉄試験操作の推移結果（昭和 5 年試験）⁵⁾

風速を低下することにし、第1、2高炉では羽口風速105～110m/sec、第3～6高炉では115～120m/secとしてレースウエー深さを極力小さくした。この結果、炉況は順調になり低熱操業でも棚吊りや生鉱下り発生や羽口破損が減少した。溶銑中珪素は図5.5に示したように約1/2に低下し、溶銑温度が1,450℃程度まで上昇した。同年5月から歩を進め、鉱石/コークス比を各炉1割増加させたヘビーチャージにより溶銑温度を通常レベル（約1,400℃）に低下させることによって溶銑中珪素を0.4%～0.7%に低下させている。

4) 平川の低珪素銑製造方法の基本的な考え方は羽口風速を減じて燃焼ガスの炉芯浸透力を増してコークス燃焼熱を炉下部に集中させ、一方、朝顔部の高さを低く角度を急峻化することによって鉱石の溶解位置を下げて珪素の還元反応を抑制する技術思想に基づいている。当時の高炉は炉床径が5m程度であり通常操業時に金棒が炉の中心部まで貫通できる状態であり羽口風速を低減することが可能であったが、高炉の大型化によって湯溜径が7m以上に拡大した場合に羽口風速を低減してガスの炉芯浸透力を確保することができかねるが議論となる。後の洞岡第2高炉（700t、炉床径6.7m）の火入れ操業では羽口口径を180mm、突出径200mmとして操業した結果炉熱が安定化しなかったが、羽口径170mm突出径300mmとして羽口風速を増加させた結果、忽ち炉況は安定化したとの報告もある。適正な羽口風速について議論のあるところであるが大型高炉では羽口風速を増加させることによってガスの炉芯への浸透性を改善する方向にある。低珪素銑の推進は平川らの研究所での試験研究と現場技術者による高炉での大規模な実証研究の遂行によって初めて達成された快挙であったと評価できる。八幡製鉄所では昭和5年（1930）4月に銑鉄成分規格を表5.2に改定した。

表 5.2 銑鉄成分規格（昭和5年4月）⁶⁾

種類	珪素含有量 %	硫黄含有量 %
超特号銑鉄	0.49以下	0.059以下
特号銑鉄	0.50～0.99	0.059以下
甲号銑鉄	1.00～1.49	0.059以下
乙号銑鉄	1.50～1.99	0.059以下
丙号銑鉄	2.00～2.49	0.059以下
丁号銑鉄	2.50以上	0.059以下

平成5年度の溶銑品質達成率は、超特号銑鉄15%、特号銑鉄41%、甲号銑鉄19%、乙号銑鉄4%、丙号銑鉄（雑銑含む）21%であり、珪素成分が1%以下の割合は60%弱の水準が当時の技術到達点であった。

当時の他企業の低珪素銑製造法に関する知見についても触れておくことにする⁷⁾。

釜石製鉄所の中田義算の報告によると、釜石の鉄鉱石は珪酸質で非常に緻密で還元性が悪く鉄鉱石中のFeOを含む脈石は溶け易く粘性があるので、シャフト部で軟化溶融して棚吊りを生じて単味使用の場合には低珪素銑の製造は不可能であるが、輸入鉱との混合使用や焼結鉱として使用することによって炉況は著しく改善され珪素成分も0.8%程度に低下したと述べている。中田義算は珪素の銑鉄への還元は珪酸の直接還元によって生成したフリー珪素が銑鉄中に吸収されると考えていた。棚吊りが発生しない原料の場合には磁鉄鉱が羽口領域で直接還元されるので低熱操業となりフリーな珪素の発生が抑制され低珪素銑が吹製できる。被還元性の良い利原鉱石の場合には棚スリップを生じず、ヘビーチャージによって低熱操業が可能で低珪素銑が吹製できる。コークス灰分が高く、スラグ比も高いので低珪素銑を吹製するには不利な条件にあるが、朝顔高さを小さくして角度を急峻とし軟化溶融位置を羽口部に近接するプロフィールを選択することが低珪素銑の製造に重要であると述べている。兼二浦製鉄の松本與三郎の報告によると兼二浦高炉では平炉用として1.0%程度の低珪素銑が製造されているが、低珪素銑吹製の要件は低熱操業とスラグ塩基度の上昇であると述べている。以上のように、低珪素銑の製造は棚やスリップを回避するような原料条件やプロフィールを確保して低熱操業を行うことによって可能となる。従って大幅な溶銑中珪素の低減は、原燃料条件が改善される戦後になってから可能となった。

5.5 戦時対応

昭和16年から昭和20年のわが国の銑鉄の生産量及び需要量の推移を表5.3に示したが、戦前の銑鉄生産

表 5.3 戦時の銑鉄生産量、需要

	コークス銑	その他銑	計	輸移入高	輸移出高	差引需要高
昭和16年	4,087	224	4,312	784	3	5,093
17年	4,119	279	4,397	878	1	5,274
18年	3,786	181	3,986	946		4,982
19年	2,561	110	2,670	613		3,333
20年	469	37	506	55		561

量は昭和 17 年がピークで年間 440 万 t、銑鉄の国内消費量は 527 万 t であり、米英独ソに次ぐ世界 5 位の規模であった。

しかし、戦前に構築された製銑・製鋼設備能力は大戦の勃発により原燃料の輸入途絶と言う兵糧攻めに会いその力を発揮することなく崩壊した。原燃料の途絶、設備の疲弊、要員の離散などにより技術の継続的発展基盤を喪失した影響は極めて大きく、戦後の発展は一から出直す状態となった。

しかし、戦時中においても高炉操業の改善を図るための試験が実施された。特記的な事項について概説する。

1) 昭和 17 年 (1942) 7 月に八幡製鉄東田第 3 高炉で塊銑 (整粒銑) 100% 試験が行われ、銑石粒度 25 ~ 70mm に揃えらる。通気性が向上し出銑量の増加など銑石処理の有用性が確かめられた。昭和 19 年に洞岡工場での銑石の整粒強化に伴って発生する篩下粉をコークス炉で処理する考え方に立って昭和 19 年 1 月より東田第 3 ~ 6 コークス炉で 10 ヶ月間にわたりフェロコークスの製造試験が実施され、東田第 3.4 高炉ではフェロコークスの 100% 使用試験が行われた。

2) 昭和 17 年 (1942) 6 月には清津製鉄所第 1 高炉では焼結銑 100% 配合試験が実施された。その後 80% の常用使用が行われた。

3) 昭和 18 年 (1943) の戦局厳しく高炉操業が難渋している折に、学振第 54 小委員会が中心になり輪西仲町第 1 高炉、第 3 高炉で 2 回にわたり計測機器を用いた炉況診断試験が行われた⁸⁾。

学振 54 小委員会 (委員長 依国一氏) は昭和 18 年 (1943) に発足したが、最初の主力テーマは戦時中の厳しい原料事情の中での高炉の炉況診断調査であり、第一回は昭和 18 年 (1943) 3 月に輪西製鉄所第 2 高炉 (700t 高炉)、第 2 回は昭和 18 年 12 月に同所第 1 高炉 (700t 高炉) を対象として実施された。当時調達可能な炉内計測機器を集積して大学の教員、学生を約 60 人動員して高炉の炉内反応を支配する各部の温度、ガス成分、銑鉄、スラグ、ガス灰の性状などを第 1 回は約 1 週間、第 2 回は 20 日間連続計測してスリップの事前予告やその回避方法に関する知見、羽口破損の早期検知を目的としたものであった。

4) コークスの製造に関しても輪西製鉄所でのコーライトの研究が実施された。北海道単味炭での高炉用コークスの製造を目指した研究であるが、昭和 4 年 (1929) から研究が開始され、昭和 5 年から昭和 6 年にかけて高炉使用試験が実施された。試験結果は潰裂強度が低いので大型高炉では使用困難との結論となった。しか

し、この技術は後述するように戦後のドッジ政策に対応して原料炭不足対策として室蘭その他の高炉で再び実用化が図られ良質原料炭不足対策として威力を発揮した。

5) その他、海外における資源探査や契約方式に関するノウハウ、製鉄所建設を通して伝承蓄積された設計、製作、施工面での国産技術、産官学の人的ネットワークや競争・協調システムなど技術進歩の土壌は既にこの時代に養われ、戦後の早期復興に貢献した。

引用文献

- 1) 日本鉄鋼協会 原燃料から見たわが国製銑技術の歴史 (1984) p92
- 2) 昭和製鋼所 20 年史 (昭和製鉄所 康德 7 年) p62 梅根常三郎 鞍山製鉄所の貧銑処理 鉄と鋼 Vol11 (1925) p393 ~ 421
- 3) 清水泰、酒井英孝、吉永博、彼島秀雄、長尾由一、開田一博 八幡製鉄所の設備・技術の変遷 第 1 分冊 高炉・原料処理設備 (北九州産業技術保存継承センター) p46
- 4) 日本銑業発達史 (中巻) p36 ~ 銑山懇話会
- 5) 平川良彦 銑鉄製造法の研究 丸善出版 1946 低珪素銑製造法の研究 製鉄研究 123, 124 (1932) p382 ~ 388
- 6) 西村 溥 大正 4 年より昭和 5 年まで製鉄所における製銑作業について (1) (2) 製鉄研究 125 (1932) 雑録 p1 ~ 11、128 (1932) 雑録 p50 ~ 63
- 7) 熔銑炉座談会 製鉄研究 115 号 (1930) 雑録 p39 ~ 63
- 8) 依 国一、鈴木淳友 日鐵輪西仲町熔銑炉調査概要 (I) 鉄と鋼 Vol135 (1949) p369、日鐵輪西仲町熔銑炉調査概要 (II) 鉄と鋼 Vol135 (1949) p413

参考文献として以下を参照した。

- ①三枝博音、飯田賢一 日本近代製鉄技術発達史 (1957) 東洋経済新報社
- ②日本鉄鋼史編纂会編「日本鉄鋼史明治編」復刻版、1981 五月書房
- ③日本工業発達史 中巻 銑山懇話会 製銑部門
- ④八幡製鉄所 八幡製鉄所 50 年史 八幡製鉄所 (1950)
- ⑤八幡製鉄所 八幡製鉄所 80 年史 (総合史、部門史) 八幡製鉄所 (1980)
- ⑥八幡製鉄所 製銑部概史 鐵の流れ 八幡製鉄所製銑部
- ⑦わが国における製銑技術の進歩 製銑部会、コークス部会 (昭和 52 年)
- ⑧原燃料から見たわが国製銑技術の歴史 (1984) 日本鉄鋼協会
- ⑨最近の日本鉄鋼技術概観 (1950) 日本学術振興会
- ⑩鉄鋼各社の社史

6 戦後復興と鉄鋼合理化計画の推進

6.1 第2次世界大戦の終息と戦後復興

鉄鋼業の生産設備は八幡、輪西、釜石を除いて直接攻撃を受けなかったが、終戦時には稼動していた高炉も終戦直後には操業継続が困難で休止した高炉も多く、昭和21年(1946)末の稼動高炉は3基のみで昭和21年(1946)の銑鉄生産量は21.8万トン、粗鋼生産量は64.8万トンであった。その原因は海外鉄鉱石の供給途絶、石炭の供給能力の不足で炭鉱労働組織が壊滅状態となり、電力、鉄道などの重点産業が優先配炭の対象となり鉄鋼への配炭の減少、戦後の混乱による労働力の不足であった。

終戦時に稼動していた高炉基数は13基であったが、昭和20年(1945)8月に小倉第1高炉、広畑第1高炉、戸畑第2高炉が、次いで9月に八幡東田第5高炉、10月に輪西第2高炉、12月に輪西第3高炉、昭和21年1月に広畑第2高炉、3月に輪西仲町第1高炉、4月に洞岡第4高炉、9月に輪西仲町第2高炉の10基の高炉が休止し、昭和21年末まで稼動することができた高炉は八幡製鉄所の東田第2高炉、第3高炉、洞岡第2高炉の3基のみであった。

主要原燃料の大半を海外に依存する日本鉄鋼業にとり輸送船団の壊滅による糧道の断絶は如何ともしがたく、昭和17年末(戦前の最高粗鋼生産年)の高炉稼動形態は高炉35基、年産526万tの銑鉄生産能力であったものが、昭和21年には高炉3基で能力42万tであった。

6.1.1 戦後鉄鋼業の進むべき方向の提案(鉄鋼対策技術委員会)¹⁾

連合国極東委員会の戦争処理によって鉄鋼生産設備の半分以上が賠償指定とされ、戦禍により生産設備は疲弊し残された生産許容量すら生産する能力を喪失していた。昭和21年(1946)に「鉄鋼対策技術委員会」が設立され、戦後の鉄鋼技術のあり方に関する報告書が提出された。その内容は当時のわが国の置かれた資源環境、技術水準を分析し国内原燃料の調達可能量、海外から調達すべき原材料の所要量を想定した上で、昭和25年には銑鉄200万t、粗鋼規模350万t達成を目標としてわが国鉄鋼業がなすべき方向を提示した力作であった。①製鉄所のエネルギー経済的に見ても高炉法による銑鋼一貫方式以外ではあり得ないこと、

②わが国唯一の強粘結炭(北松炭)の適正な使用、洗炭と強、弱粘炭の合理的配合、コーライト細粉の配合、原料炭粒度の適正化を追求すべきこと、③科学的な生産管理法、作業管理、熱管理法の導入、技術の交流、設備作業改善の奨励、報奨等を徹底的、大々的に実施し工員や技術者の心境を躍動させる施策を推進すべきこと、④産官学の連携強化、基礎産業を支援するための国家的総合研究所の設立、学協会による産業統計資料の整備体系について検討すべきこと、⑤学生、教員の個性の伸長に重点をおき生産技術に関する「ものづくり教育」の強化を図るべきことなどを提言した。戦後の日本鉄鋼業発展の貴重なバイブルとしての役割を果たした。

6.1.2 傾斜生産方式と鉄鋼保護政策

昭和22年(1947)に入りわが国主要産業である石炭産業等の復興と戦後復興への鉄鋼素材の必要性から石炭・鉄鋼の傾斜生産方式が採用された。傾斜生産方式とは石炭の配炭を鉄鋼業に傾斜させ増産した鉄鋼を石炭部門に投入することを繰り返すことによる両部門のスパイラルアップを図る政策であった。復興金融公庫による融資、銑鉄鋼材の需要者価格と生産者価格との差額補給金、貿易資金特別会計による原料輸入補給金、鉄鋼向け国内炭の差額補助金などの手厚い補助金制度が適用された。

一方、米ソの冷戦対立、朝鮮半島における国際情勢の変化によって占領政策は大きく変貌していった。わが国鉄鋼業の再建に当たって貢献したのは米軍当局、殊に経済科学局(ESS)と天然資源局(NRS)であった。経済科学局は傾斜生産方式による石炭の増産と八幡集中方式の採用、海南島鉄石の緊急輸入、集中排除法による日鉄その他の大企業の分割などを所管し、天然資源局は国内炭による製鉄用コークスの製造研究、米炭の輸入斡旋、専門技術者による技術指導、品質管理技術の導入と普及活動に貢献した。

米国の対日占領政策の変更により、早急な復興促進を図るべく輸入重油使用の許可、原料輸入と鉄鋼輸出の再開、経済集中排除法も緩和され日本製鉄が昭和25年(1950)年に八幡、富士製鉄に分割されたことと川崎重工業から川崎製鉄が分離独立した以外の大手メーカーの細分化は免除された。これらの鉄鋼優遇政策によって鉄鋼業は急速な回復を示した。

高炉の再開にあたって戦禍による破損状況、設備の

老朽度、設備保全の状況は各施設によって異なり如何なる優先順位で効率的な修復工事を進めるべきか、日本鉄鋼協会では「製鉄設備調査団」を結成して各高炉、コークス炉施設の復旧工事工程、所要資金、資材、補充機械設備について調査し、結果に基づいて復興5ヵ年計画を策定した。

昭和22年(1947)から日本製鉄(八幡、輪西、釜石、広畑)の各高炉、昭和23年には日本鋼管(川崎、鶴見)の各高炉、昭和25年には小倉の高炉が再稼動した。昭和23年(1948)には高炉8基が復帰し、鉄鉄、粗鋼生産は各々808千t、1,715千tとなり、昭和25年(1950)には高炉16基で鉄鉄、粗鋼は各々2,233千t、4,838千tとなり「鉄鋼対策技術委員会」で想定した数量を超えた。高炉の成績も昭和25年(1950)には戦前の成績を凌駕する水準に達している。技術面では原料の破碎、篩分け設備の強化充実による点が多い。鉄鉱石については昭和23年に中国海南島、フィリピン、マレーに加え、米国のユタ鉱石が輸入され、石炭に関しては昭和23年から米国炭の輸入が開始されたが、我が国にとって過去にない低い灰分の石炭でありベースコールとして高度成長期の操業成績の向上に貢献した。

6.1.3 鉄鋼業の自立化努力と朝鮮戦争

昭和24年(1949)は終戦経済の質的転換の年と経済白書で述べている通り、過剰な経済保護政策から脱しわが国の経済自立のテイクオフの年となった。所謂、ドッジラインに基づく均衡財政政策によってインフレの収束を図り固定相場制(1ドル360円)による貿易の正常化、補助金の減廃などにより市場経済の本来機能に立脚した「経済自立の道」を選択させられたからである。

鉄鋼業は基礎産業として厚い優遇措置を受けてきたので対日援助の中止、日本政府の補助金の停止、輸入原料比率の削減などを柱とする「ドッジライン」の浸透によって鉄鋼業は苦境に陥るが、昭和25年(1950)6月に朝鮮戦争が勃発し事態は一変した。直接的な鉄鋼特需は年間40万tであったが軍用トラック、機関車等の鉄道資材、通信施設の調達、車両、艦船の修理など広く鉄鋼需要産業が活況を呈し、政治的に不幸な出来事であったが鉄鋼需要を拡大させた。

当時のわが国の鉄鋼業が抱える基本的課題は疲弊したコークス炉や高炉設備の修復と設備体質の強化、原燃料や屑鉄の安定ソースの確保、国際競争力の強化を図るための投資を如何に図るかであった。戦争特需による鉄鋼市場の活性化、鋼材価格の上昇によって懸案

の合理化、鉄鋼合理化計画が実行された。

この期間の先駆的技術研究としては「輸入原料炭削減合理化対策」として実行した「コーライト法」の開発があり輪西製鉄所仲町第3高炉(公称能力700t)での試験が行われ、高炉の使用に耐えることが立証されたことは大きな成果であった。「輸入鉱石使用制限対策」として実施された「硫酸滓の脱銅試験」は富士製鉄広畑製鉄所での脱銅工場の建設と硫酸工場での焙焼方法の改善が推進され、昭和28年に月間15,000tの処理工場が稼動したことを挙げるができる。コーライト法について簡単に触れる。

国内炭単味による高強度コークスの製造は多年の懸案事項であり過去にも試験研究が実施されてきたが、最終的には経済的困難性が壁となって工業的に実現しなかった。今回は、①コーライト配合法、②ピッチ・コークス粉の配合法、③膨潤炭配合法が取り上げられた。コーライト配合法については輪西製鉄所仲町第3高炉(公称能力700t)での試験が行われ、高炉の使用に耐えることが立証されたことは大きな成果であった。

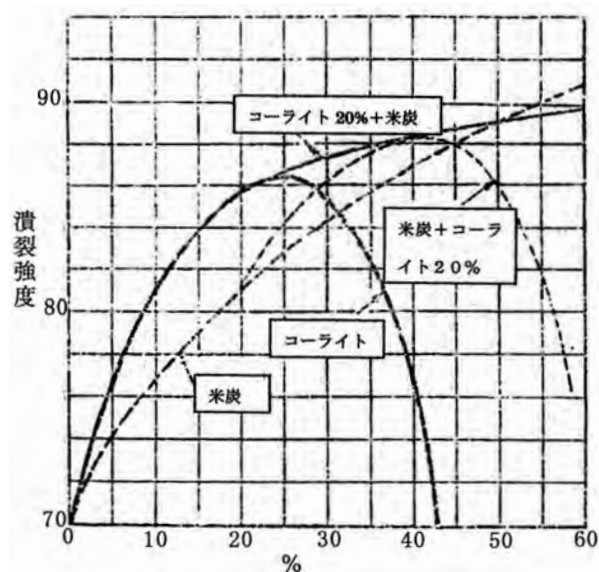


図 6.1 コーライト、米炭配合でのコークス強度推定²⁾

昭和24年10月から実施した仲町第3高炉での試験では、道内の非粘結炭を特殊なロータリーキルンで低温乾留してコーライトを製造しこれを0.3mm以下に粉碎したものを大タ張炭ベースの弱粘炭に25%配合して乾留することにより潰裂強度80%、灰分16%に近い製鉄用コークスを製造した。日産700t高炉にとって望ましくは潰裂強度は85%が必要であるが、鉄鉱石の整粒強化や鉱石とコークスの混合装入法の採用等のあわせ技を講ずることによって日産600t近い安定操業が可能であったと報告されている。大タ張炭を基炭として微粉コーライト、米国強粘結炭を配合した場合

のコークス予想強度を図 6.1 に示しているが、コーライト 20 ～ 30% で最大強度が得られるが均一に混合することが重要である。米炭を配合できる場合にはコーライト 20% に止めることによって更なる強度の向上が期待できるとしている。しかし、コーライト生産のための追加コストを必要とし米炭輸入量の緩和に伴い経済的にも引き合わないことから中止された。尚、コーライト配合法等については、日本鋼管川崎製鉄所、日本製鉄八幡製鉄所でもコークス製造試験、高炉使用試験が実施された。

6.1.4 海外原燃料資源の調査、開発

八幡、富士、日本鋼管 3 社で構成された民間団体として昭和 27 年（1952）に海外の原料購入での共同討議、海外鉱床の共同開発を目的として海外製鉄原料委員会が発足した。その後、他の鉄鋼メーカーも参加し、高炉 10 社の協調の場となった。主要な活動は海外鉱山の投資開発の調査研究、鉱石専用船の建造計画の検討、海外港湾施設の検討と改善対策、主要鉱山への調査団の編成と派遣であった。海外諸鉱山への投資の大部分がこの委員会の決定により行われ共同開発と共同買付のセンターとしての役割を果たした。具体的には、東南アジア鉱山開発を行い安定した原料基地の保有、長期買付契約による開発輸入方式などその後の海外原料調達の基礎を構築した活動として意義深いものがある。

6.1.5 戦後の技術指導、技術導入

戦争によって欧米との技術交流の場が遮断され、世界の技術水準、特に米国の技術水準において大きな格差が生じていた。米国との技術交流の端緒となったのは昭和 22 年以降のストライク賠償調査団、鉄屑調査団の来日、米軍の天然資源局（NRS）の寄与するところ大であった。ドッジラインによる鉄鋼業自立化活動の線に沿って米国技術者による本格的、組織的に各工場で技術指導が開始された。昭和 23 年から昭和 24 年にかけては製鋼部門の操業、熱管理、ストリップ、コークス部門が主体であるが、高炉部門では昭和 26 年 4 月から T. L. Josepf が来日してわが国の製鉄技術の状況を調査し高炉操業、原料事前処理に関する指導勧告が行われた。

1) T.L.Josepf による技術指導³⁾

T. L. Josepf はミネソタ大学工科大学の副学長で米国鉱山冶金学会鉄鋼部会長の要職にあり総司令官経済科学局技術顧問として来日している。ジョセフの勧告に関して「鉄と鋼」に「日本における鉄鉱石の処理と溶鉱炉の操業」と題して昭和 26 年（1951）7 月に東

京大学で実施された講演の内容について掲載されている。①鉱石の事前処理の必要性、②装入物の被還元性と装入物分布の重要性、③高温送風の重要性について強調している。これらの知見は当時のわが国の技術者も理解していたことではあるが、具体的な設備投資計画の正当性を側面支援する機能を果たした。

2) 訪米調査団による技術調査

米国技術者による技術指導と合わせて米国の現場技術水準を直接に触れて自ら確認することは極めて重要なことであり、総司令官の周知な準備と配慮によって短期間に多数の工場を視察し有益な調査を得る事ができた。調査は第 1 班（製鋼、圧延）、第 2 班（製鉄、コークス）に分かれて実施され調査期間は約 2 ～ 3 月であるが製鉄会社、製鉄コンサルティングエンジニアリング会社、耐火炉材会社、研究所と広範に及ぶものであった。高炉部門は日本鋼管の富山英太郎、日本製鉄の和田亀吉が中心となり実施され、アメリカに於ける高炉操業の現況が報告された。和田亀吉の報告書⁴⁾では製鋼、圧延部門と比して製鉄部門の設備、作業に大きな格差はないとの印象を述べている。戦後直後の米国の技術水準を示すので要点を概説しておく。

① 米国の製鉄能力は年間 70 百千 t、高炉基数は 246 基で全米の製鉄能力の 70% は 5 大湖、オハイオ河沿岸に集積しておりピッツバーグ、クリーブランド、シカゴが中心である。大製鉄所であるインランド工場の高炉は 8 基、USS ゲーリー工場は 12 基稼働である。

② スペリオル湖岸の鉄鉱石はオープンカットでメサビ塊鉱石主体であるが、10 年後の 1960 年後半にはタコナイト粉鉱の比率が増加することが予想されペレット製造法の開発が進められている。コークスの灰分は東部地区 7 ～ 13%、西部地区では 10 ～ 14% で東部炭の灰分が低い。

③ 高炉設備の規模に関して表 6.1 に示したが最大炉容積は 1600m³、出鉄能力 1400t/d でわが国より高い

表 6.1 高炉設備の規模⁴⁾

工場名	炉号	高さ (mm)	湯溜径 (mm)	内容積 (m ³)	内容/ 能力	能力 t (long)
Sparrows point.	A	30,400	8,100	1,100	1.0	1,100
	H	32,000	8,530	1,550	1.1	1,400
Wheeling	1	28,000	6,550	880	1.1	800
Gary.	1	28,000	6,250	830	1.2	700
	6	32,900	8,540	1,590	1.2	1,350
Inland.	3	27,400	5,250	670	1.0	700
	B	30,800	7,840	1,310	1.2	1,100
Colorado	A	26,200	5,090	700	1.2	470
	F	26,000	6,620	790	1.2	550
Kaiser.	1	29,700	7,780	1,240	1.2	1,070

出銑比を維持している。コークス比は1.4～2.0t/tである。炉体支持構造はシャフト部が鉄皮式、炉底部の冷却はジャケット方式、羽口、朝顔部には冷却箱が挿入されているがシャフト部の冷却の有無はまちまちである。羽口数は16本～20本と多く羽口口径は150mm、突出長さは375mmである。

労働単価が高いので設備の機械合理化が進んでおり、計測機器の装備による操業の自動化も進んでいる。例として、出銑口開孔機、電動式マッドガンの常用化、小型秤量車方式による自動秤量切出し、熱風炉設備での熱風温度自動制御、熱風炉の自動切換え、プレッシャーバーナーの装備率が高い。カーボンレンガはドイツと異なって試験使用の段階にある。ブロック寸法は10×24×20インチ、ドイツと異なりカーボンセメント、シリマナイトセメント目地が使用されている。出銑口、出滓口周辺は高アルミナ粘土質レンガが使用されている。

高炉寿命は4～7年で総出銑量100～200万tである。レンガ積み替え改修期間60日である。

銑鉄成分は珪素0.8%～1.25%、スラグ比400～600kg/tである。高圧操業、酸素富化は米国でも先端技術であり6工場で各1基において試験が実施されている。酸素富化送風は実施されていない。

④ 東部地区では銑石の下限カットをしていないので焼結銑はガス灰を処理するに止まり細粒サイズの大部分は高炉に直接装入されている。一方、西部のコロラド、フォンタナ工場では銑石を破碎篩別けして篩下粉は焼結銑として使用され、塊銑石はベッディングして高炉に装入している。ペレットは小型試験炉で試験操業を実施している段階であり団銑法は採用されていない。DL焼結機が中心で能力900t～1300t/d(6フィート幅×100～120フィート長)である。

⑤ 焼結銑の使用割合は箇所異なるが東部のインランド、ゲーリー工場で10%、西部のレパブリック工場30%、カイザー工場で30～50%、焼結用原料は東部地区はガス灰を40%使用した焼結銑であるが、西部地区では粉銑、篩下粉を対象とした焼結銑である。

技術指導や米国視察結果がわが国でどのように現場に活用されて行ったか、当時の技術報告、改修報告に基づき調べてみた。和田亀吉製銑部長の帰国後の最初の改修高炉となった東田第6高炉(昭和26年12月火入れ)⁵⁾では視察結果を織り込んだ設備の近代化が直ちに企画され原料処理設備、高炉本体の合理化に重点が置かれた。

① 高炉本体の冷却の強化対策として朝顔部、シャフト部に淡水の銅製冷却盤(箱)を増設した。装入装置はブラウン式からマッキー方式に変更、傾斜塔、スキッ

プの能力アップ、自動運転方式の改善を行った。直流捲上機から交流誘導電動捲上機が登場、モートルタイマーによる装入の自動化が進められた。カーボンレンガについては昭和26年の洞岡第3高炉改修での試験使用に引き続き、炉周辺部及び炉底1段にカーボンブロックを試験使用した。これらはわが国の炉底カーボン使用の嚆矢となった。

② コークス工場と高炉工場間のコークス輸送はコンベア方式としコークスの炉前篩別装置が新設された。1次篩別は25mmのローラープレート、2次篩別は10mmの振動篩が採用、10mm下は中骸ホッパーで貯留、中塊コークスとして別装入された。

③ 熱風炉の熱容量増加の手段としてギッター格子目の変更、強制燃焼のためのプレッシャーバーナーの新設、自動燃焼装置の取付け、ギッター受け金物、イソライト断熱レンガの使用が列挙される。

3) 品質管理、熱管理手法の導入

昭和25年(1950)にデミング博士が来日し品質管理手法が導入されたが、昭和26年には鉄鋼協会に鉄鋼品質管理部会が設立、製銑部会では銑鉄成分管理のための鉄銑石の配合、粒度管理、原料受け入れ試験、コークス性状と高炉炉況との関係に重点が置かれ、原料、コークス品質の改善が進展した。燃焼管理技術の標準化、冶金管理課の設置による製品規格、標準作業設定による製造工程管理の強化、各種試験操業の実施が積極的に導入されている。

6.2 鉄鋼企業の再編成、第1次鉄鋼合理化計画の展開

昭和25年(1950)の日本製鉄の八幡製鉄と富士製鉄への分割と川崎製鉄の独立があり昭和28年(1953)に川崎製鉄が千葉に銑鋼一貫工場を建設、住友金属が小倉製鋼を、神戸製鋼が尼鉄を系列化して銑鋼一貫メーカーに転進し、日本鋼管を加えて6社体制が確立した。

昭和29年(1954)には神武景気を迎え、旺盛な鉄鋼需要を満たすための量の確保が最大の戦略課題であり第1次鉄鋼合理化計画が展開された。

第1次鉄鋼合理化計画ではストリップミルの導入など圧延部門の合理化が中心に実施され、製銑部門への投資は高炉改修、コークス炉、焼結機の増強に加えて、原料処理設備の新設、石炭粉砕設備、運搬設備の強化に注力された。高炉部門での新設工事では川崎製鉄千葉製鉄所の建設、高炉での原料の整粒強化で発生する粉銑を塊成化する為の八幡製鉄所洞岡DL焼結機、中山製鋼GW焼結機、尼崎製鉄DL焼結機が新設された。

第1次鉄鋼合理化計画による高炉の稼働基数の増加によって銑鉄製造能力は昭和29年（1954）末で高炉保有基数は37基、稼働数21基、稼働能力は563万t、出銑実績は昭和30年（1955）には戦前の最高の412万tを上回る522万tを生産している。

表 6.2 主要国のコークス比の推移⁶⁾

	1955	1958	1959	1960	1961
アメリカ	873	790	785	749	
ソ連	885	795	771	724	692
イギリス	982	896	838	825	818
西ドイツ	947	907	851	834	806
フランス	1,022	1,021	1,004	972	952
イタリア	927	860	795	778	743
日本	714	667	634	619	599

技術指標では原料の事前処理の強化によって通気性が改善され高炉の平均出銑比は昭和21年（1946）の0.50t/d/m³から昭和35年（1960）には1.0t/d/m³を越えた。コークス比は1.6t/tから逐年大幅に低下し昭和30年（1955）には714kg/t、昭和35年（1960）には619kg/tに大幅低下している。出銑比は世界先端の米国に遅れを取っているが、我が国にとってコークス比の低減はコスト競争力の要諦となる最重要技術指標であり表6.2に示したようにコークス比の水準は既に世界最先端を行くものであり、その後も常に世界をリードしている。優良高品位鉱石の大量輸入、原料の整粒強化、自溶性焼結鉱比率の増加、米炭による低灰分コークスの使用、原料の安定化による高炉操業技術の改善が大きな手段であった。以下、この時期における高炉技術の発展に寄与した先駆的技術について概説する。

6.2.1 千葉製鉄所第1高炉の建設⁷⁾



図 6.2 千葉製鉄所

千葉製鉄所は、粗鋼生産100万t規模を目指して4期に分けて建設する計画で第1期計画が昭和27年（1952）に承認された。単純化、集約化、一貫化、連続化の4原則を基に工場全体の配置が決定された。昭和

28年（1953）稼働の千葉製鉄所第1高炉（日産600t、877m³）はドイツのPaul Wolf氏から設計図を購入し、川崎重工業で製作されたわが国初のフリースタANDING型の高炉で冷却箱によるシャフト部の冷却強化とレンガ支持を本格的に図った高炉である。炉頂装入装置は米国式のシングルコーン、捲上設備は斜塔バケット方式、熱風炉はカウパー式3基でチンメルマン・ヤンセンの自動弁切換装置を採用し遠隔操作を可能とした最新鋭熱風炉である。ガス清浄はルルギ式の湿式電気集塵機が設置された。送風設備はターボブロアである。操業用の計器・計装設備の充実が図られていることが大きな特徴である。第1高炉は昭和28年（1953年）6月に火入れされた。第2高炉は炉体形式等は第1高炉と同様であるが内容積を913m³に拡大し捲上設備を秤量車・スキップ方式、炉頂装入装置はマッキー装置を採用している。第2高炉は昭和33年（1958）に火入れされている。

原料関係では、鉱石処理のためのオアベッディング設備は米国のヘウィット・ロビンズ社開発の設備で第1高炉用として幅18m、長さ100m、容量9000tのもの2床を昭和28年（1953）12月に完成した。当初は焼結機を置かず同社開発の日産400tの第1ペレタイジング工場が昭和28年にシャフト炉型の焙焼炉5基が完成、その後、第2、第3ペレタイジング工場（800t、2000t）が高炉増設と共に建設され、各工場の能力増強も実施された。焼結工場は昭和37年（1963）に第1DL焼結工場が建設され資源事情、焼結技術の進歩、環境対策からペレット工場は昭和44年から47年にかけて廃止された。

6.2.2 原料事前処理設備の新設、増強

鉱石の篩別強化による高炉の通気性改善策は戦中の高炉操業の苦難を考えると当然の措置であるが、このためには鉱石篩別処理設備スペースの確保と篩下粉を塊成化するための大規模な焼結設備の建設が必要であった。昭和28年（1953）にその第1歩が各製鉄所で進められた。最新鋭の富士製鉄広畑製鉄所では比較的空間に余裕があり昭和28年（1953）には図6.3に示したように従来の1段の破碎篩別設備で70mm以下の鉱石が高炉に装入されていたものをその後段にトロンメルとジャイレトリークラッシャを敷設して3段処理方式に改造して高炉用10～50mm、焼結用10mmに整粒した。鉱石粒度分布の時系列変化を図6.4に示したが、その後の循環処理方式の採用、スクリーンの改善による篩効率の向上により鉱石粒度サイズの均一化が進められた。

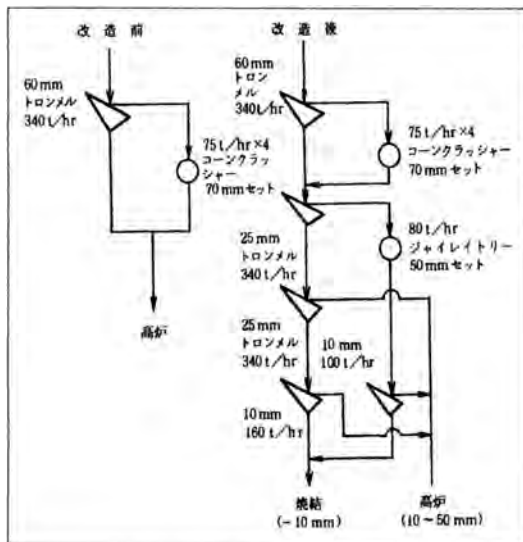


図 6.3 鉱石処理設備系統図⁸⁾

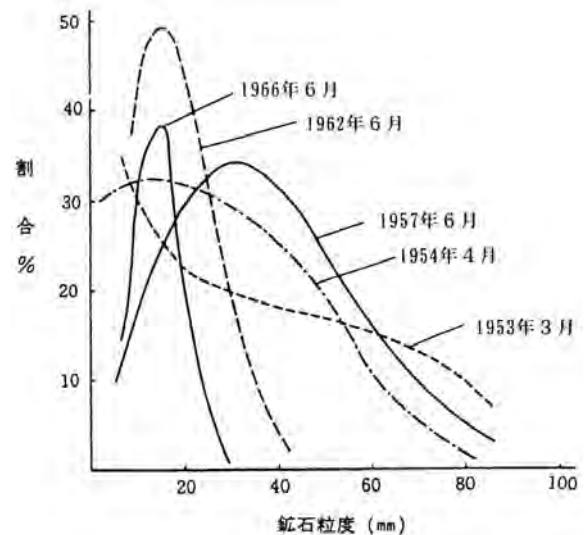


図 6.4 鉱石処理後の粒度分布構成⁸⁾

6.2.3 大型焼結工場の新設⁹⁾

昭和 28 年（1953）に八幡製鉄洞岡地区に本格的な D L 焼結機が建設された。ホットスクリーン及びクーラーの設置、自動化設備の採用など当時として最新の技術が取り入れられ、わが国の大型焼結機の範となったものである。本体設計のみマッキー社から輸入し付帯設備の設計、製作は国産で三菱造船広島造船所、据付は製鉄所が担当した。第 1 号焼結機は有効長 29.3m、有効面積 53.6m²、排風機 3900m³/min、負圧-810mmAq で混合原料をパグミルで調湿、混合してスイングスパウトとフラフファを通して移動パレット上に均一かつ低充填密度で装入して焼成するものである。赤熱焼結鉱を散水して冷却する方式では品質低下をもたらすので外形 10m のマッキー水平回転型強制通風による空気冷却方式を採用した。焼成したケーキは排鉱部で鬼歯クラッシャーによって破碎されローヘッド型

の振動篩で篩分けされ、篩上焼結鉱がクーラーに入り篩下焼結鉱を返鉱とするホットスクリーン方式が採用された。原料貯鉱槽にはメリック付ベルトフィーダーによる定量切出し機能を採用し配合原料の切出速度、パレットは DC モーターで速度可変、クーラーからの排出量も MG セットによるパレット速度の連動運転を可能とするなど、工場内の機器運転を運転監視パネルと各種計測機器を設置した制御室から統括運転することを可能とした。その後の戸畑製造所での焼結機の大規模化に際してはパグミルはドラムミキサー方式へ、スイングスパウトはルルギ式ドラムフィーダー方式に変更された。

運転操作の統括運転制御、原料配合制御、原料水分制御、ホッパーレベル制御、パレットの層厚制御、パレットの速度制御など図 6.5 に示した各種の自動制御機能の開発に先鞭をつけたことは特記に値する。

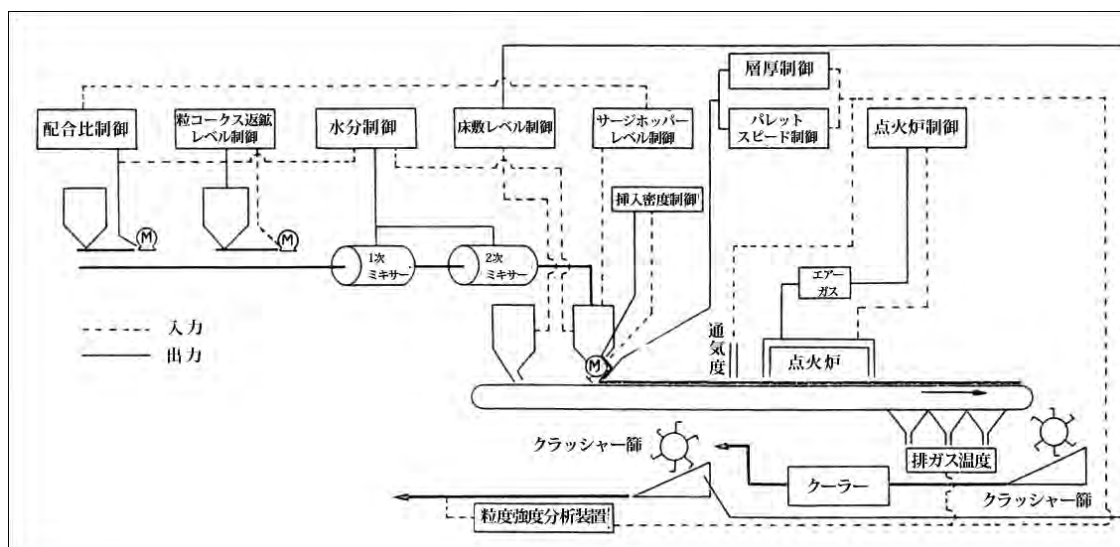


図 6.5 焼結プロセスの自動制御事例⁹⁾

6.2.4 高炉炉底耐火物へのカーボンレンガの導入

炉底部煉瓦の耐蝕性改善対策としてカーボンレンガの導入がこの時期の特記的改善事例である。ドイツにおけるカーボンレンガの使用は古く 1890 年頃から研究が始められ 1940 年には全高炉の 85% でカーボンレンガが使用されている。ドイツでは鉄鉱石原料が低品位でスラグが多く、スラグ侵蝕性の良好なカーボン煉瓦を選択したからである。一方、アメリカ合衆国ではドイツでの成功に刺激されて第 2 次世界大戦末期の昭和 20 年（1925）には国内の幾つかの炉において使用が開始され、昭和 35 年（1960）には全米 200 基の高炉の 40% でカーボンレンガが使用された。

わが国でのカーボンライニングについては、昭和 19 年（1944）に八幡製鉄所 1t 試験高炉、昭和 24 年（1949）には 3t 試験高炉で耐久試験などの実用化研究を重ね、昭和 26 年（1951）の洞岡第 3 高炉（第 3 次）の改修に際して東海電極製カーボンブロックを炉底側壁の一部に築造した結果、成績良好であった。続いて昭和 26 年の東田第 6 高炉改修（第 5 次）において炉周辺部、炉底部に 1 段ブロックを構築した。

昭和 27 年の洞岡第 4 高炉（第 3 次）、東田第 3 高炉（第 6 次）には図 6.6 に示したように炉底 2 段、炉壁部全体をカーボンブロックでライニングし、昭和 30 年改修の洞岡第 1 高炉（第 4 次）では炉底部 3 段、炉床壁部全体、朝顔部上部までカーボンブロックで全面的に築炉を進めるに至った。カーボンブロックの築造は各ブロックが楔作用によってお互いにせりあってブロックの浮上脱落を防ぐ和白積工法が考案され洞岡第 4 高炉で初めて採用された。

カーボンブロックの採用により高炉の炉底破損事故は大幅に改善された。高炉の一炉代の総出鉄量はカーボンブロックの採用と共に 200 万 t 以上となり、洞岡

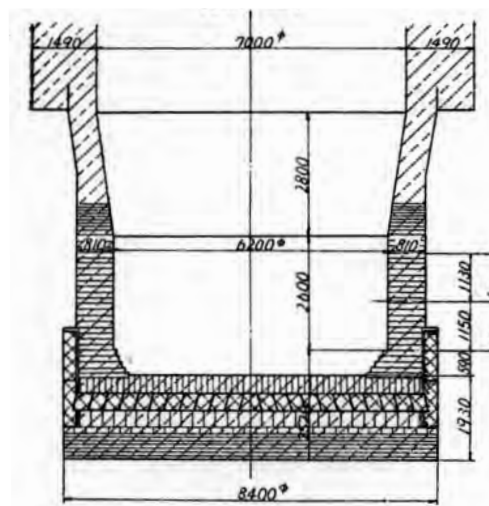


図 6.6 東田第 3 高炉炉底煉瓦積¹⁰⁾

第 4 高炉（3 次）363 万 t、洞岡第 3 高炉（4 次）471 万 t、戸畑第 1 高炉（1 次）では 557 万 t を達成した。

6.3 鉄鋼第 2 次、3 次合理化計画での大型高炉の建設

鉄鋼第 2 次合理化計画では、昭和 31 年（1956）から新立地での一貫製鉄所の建設を軸として大型高炉の建設が推進された。更に昭和 34 年（1959）の所得倍増計画に基づいて鉄鋼第 3 次合理化計画が作成され君津、大分、福山、水島、鹿島の建設が公表されたがいずれもコンビナートの立地が特徴であった。戦後、新規立地に建設された製鉄所と建設された第 1 号高炉の稼動時期及び内容積を表 6.3 に示した。

臨海新立地での高炉の大型化が急速に進み内容積 3000m³ 以上の領域ではソ連に代わって日本が世界の先端を行く勢いであり、4000m³ は昭和 46 年（1971）に福山第 4 高炉、5000m³ は昭和 51 年（1976）に鹿島第 3 高炉、大分第 2 高炉が建設された。

表 6.3 各製鉄所の建設（1 号高炉稼動時期）

製鉄所名	1号高炉稼動時期	内容積m ³
川崎製鉄・千葉製鉄所	昭和 28 年 6 月	877
神戸製鋼・神戸製鉄所	昭和 34 年 1 月	753
八幡製鉄・戸畑製造所	昭和 34 年 9 月	1603
住友金属・和歌山製鉄所	昭和 36 年 3 月	1350
日本鋼管・水江製鉄所	昭和 37 年 11 月	1709
富士製鉄・東海製鉄所	昭和 39 年 9 月	2021
八幡製鉄・堺製鉄所	昭和 40 年 6 月	2047
日本鋼管・福山製鉄所	昭和 41 年 8 月	2004
川崎製鉄・水島製鉄所	昭和 42 年 4 月	2156
八幡製鉄・君津製鉄所	昭和 43 年 11 月	2705
神戸製鋼・加古川製鉄所	昭和 45 年 8 月	2834
住友金属・鹿島製鉄所	昭和 46 年 1 月	3159
富士製鉄・大分製鉄所	昭和 47 年 4 月	4158
日本鋼管・京浜製鉄所	昭和 51 年 11 月	4052

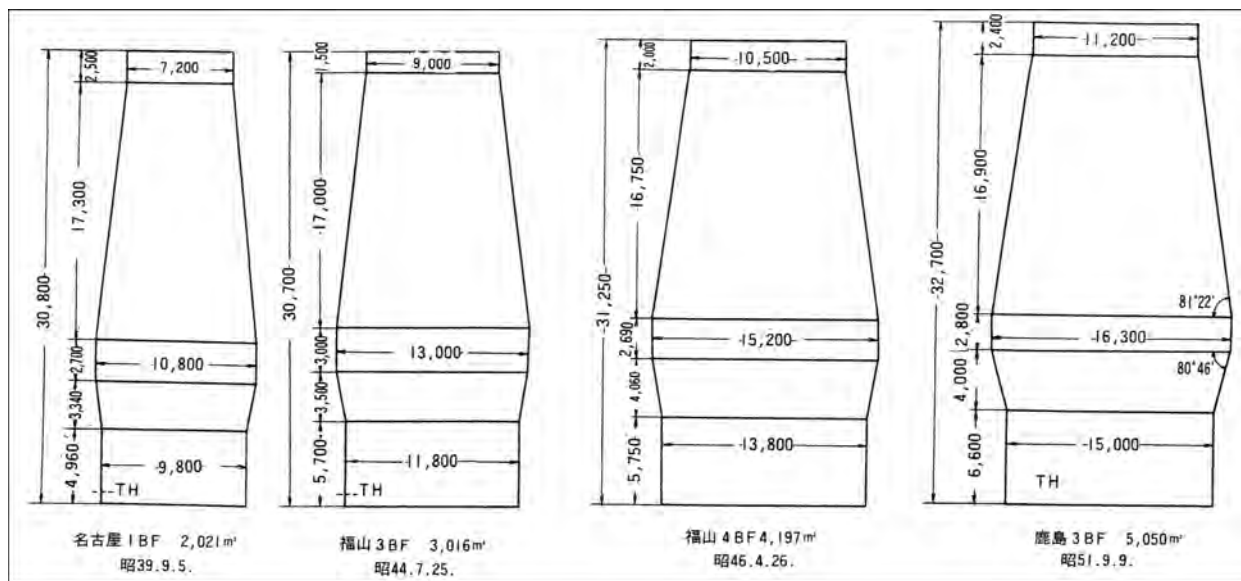


図 6.7 国内大型高炉のプロフィール¹¹⁾

大型高炉のプロフィールの変遷を図 6.7 に示した。コークス品質の制約から高さを制限し炉腹、湯溜径を拡大する方向で高炉の大型化が進められた。羽ローストックライン間の高さは、2000m³ 以上から増加率が減少し 5000m³ 級で 29m 弱である。炉腹径、炉床径の増加率が大きく 5000m³ では炉腹径 16m、炉床径 15m に拡大、シャフト角度が 82° 朝顔角度が 80° 弱に低下し、所謂ずんぐり型プロフィールに移行している。この結果、半径方向の装入物分布制御と炉芯部の活性化対策の重要性が増している。

6.3.1 鉄鋼港湾装備力の強化

わが国は石炭、鉱石資源を海外に依存する構造である。原燃料の安定且つ安価な調達は溶銑コスト競争力確保のための大前提であり、大型船の入港と揚陸速度

の確保のための港湾設備の強化が実施された。

表 6.4 に新立地に建設された主要製鉄所の港湾設備について示した。水深に関しては航路は 1960 年代前半の鉄鋼第 2 次合理化計画での新製鉄所では -14m ～ -17m とし 13 万 DWT（積載重量 t 数）、後半の第 3 次合理化計画による新製鉄所の場合には、水深 -17m 以上として 20 万 DWT の専用船の着岸を可能とし遠距離ソースの大量、高速輸送によるフレートの削減を追及した。

港湾に関しては大分製鉄所のシーバースが特記される。大型専用船の大型化が急テンポで進行し最大船型 30 万 DWT の満載入港を可能にするには水深 -25m 以上の受入港を必要としていた。別府湾の海底地形は陥没湾で海底段丘構造であった。

表 6.4 主要製鉄所の港湾設備¹²⁾

年代			水 深(m)		主要バースのクレーン能力	入港船舶最大量	
			航 路	岩 壁	t/h×基数	DWT (万)	吃水(m)
1950		戸 畑	-17.0	-17.5	1,500×1, 1,000×3, 1,800×1	16.0	16.0
1960	前半	東 海 堺	-14.0	-14.0	1,500×3, 1,800×1	10.0	14.0
			-14.0	-14.5	1,000×2, 1,500×1	16.0	13.5
	後半	福 山 水 島 君 津 加 古 川 鹿 島 大 分	-16.0	-17.3	1,500×6, 1,500×3, 750×2, 320×1, 300×2	20.0	16.0
			-16.0	-17.0	1,500×4, 500×4	22.0	16.5
			-19.0	-19.0	2,500×1, 1,800×3, 1,500×3	16.0	17.0
			-17.0	-17.0	1,500×4, 700×1	15.5	16.0
			-21.5	-19.0	2,000×3, 850×2	18.0	17.0
		-27.0	-27.0	2,500×2	30.0	24.0	
1970		岡 島	-21.0	-22.0	1,500×3, 320×1	20.0	20.0
		平 均	-18.2	-18.4		18.3	17.0

出所 鉄鋼10年史, p.273より抽出(1978.6 現在)。

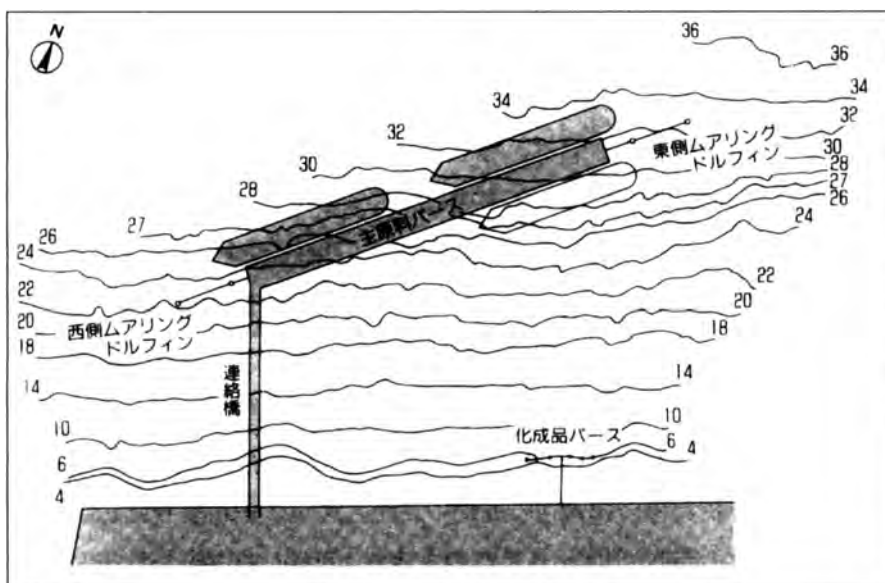


図 6.8 大分製鉄所シーバース配置¹³⁾

図 6.8 に示したように、製鉄所埋立て予定地域は浅地であるが 400m 沖合いで一気に深くなり 25 ～ 30m の水深を保っており 30 万 DWT 級の専用船の入出港が可能で浚渫の必要もない好条件にあった。気候条件や土質調査に基づき従来の泊地方式と比較してシーバース方式が採用された。シーバースの構造として 400m 沖合いに延長 620m、2500t/ h アンローダー 3 基を上架する超大型独立棧橋の建設を計画した。過去に前例がなく種々の試験実験を重ねて設計、製作、工事が実施された。シーバースは原料揚陸作業の高速化を図ると同時に水深の浅い先行鉄鋼港湾での 30 万 DWT 級専用船入港のためのトッピング機能を果たすなど、わが国の大型専用船の運航面で大きな役割を果たしてきた。

6.3.2 大型高炉設備の改善点

1) 炉体支持構造

戦前高炉の炉体支持構造は鉄帯式、鉄皮式、フリースタンディング式であったが八幡製鉄戸畑製造所第 1 高炉 (1500t) ではわが国独自の鉄骨鉄皮式構造が開発された。鉄骨鉄皮式の特徴は炉体荷重を 3 分割して装入装置、ガス捕集マンテル等の炉頂設備の荷重を炉体檣で受け、シャフト部の鉄皮、レンガ、冷却盤の荷重をシャフト受け支柱、朝顔部以下の荷重を炉底基礎で受ける方式である。従来構造では鉄皮強度の制約からシャフト上部にまで冷却盤を挿入することができず、炉頂装入装置の荷重を鉄皮に負担させるので炉体が傾斜する傾向があった。図 6.9 に戸畑第 1 高炉の炉体構造を示した。戸畑第 1 高炉では朝顔部 10 段、シャフト部に 37 段の銅製密閉型冷却盤が装備され、鉬石

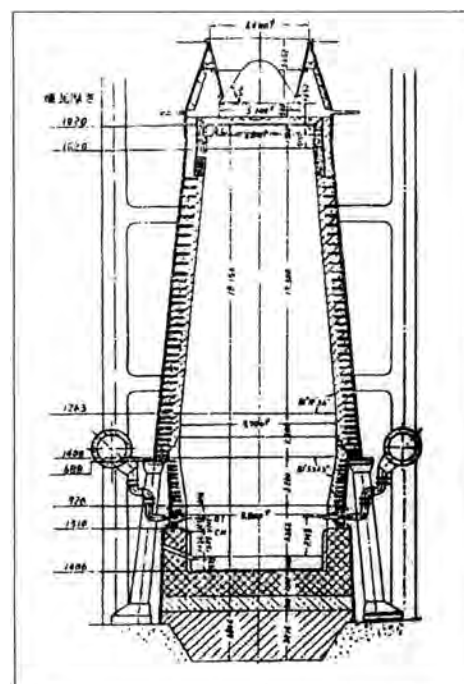


図 6.9 戸畑第 1 高炉炉体構造¹⁴⁾

受け金物として耐摩耗鋳鋼製の金物が採用され炉体構造の強化が図られた。

昭和 44 年 (1969) に 3000m³ 級の炉頂圧力 2.5kg/cm² の超高圧高炉が名古屋第 3 高炉で建設されたが、同高炉の場合は鉄骨鉄皮方式で超高圧操業を考慮して鉄皮にはエクспанションを設けていない構造でありわが国で初めてのソ連式のステーブ冷却方式が採用されたことが特記される。

2) 鋳床レイアウト

高炉の大型化によって出鉄口の本数も増加し、3,000m³ の名古屋第 3 高炉では 3 本出鉄口で 8000t/d、4,000m³ の君津第 4 高炉、鹿島第 2 高炉で 4 本出鉄口、

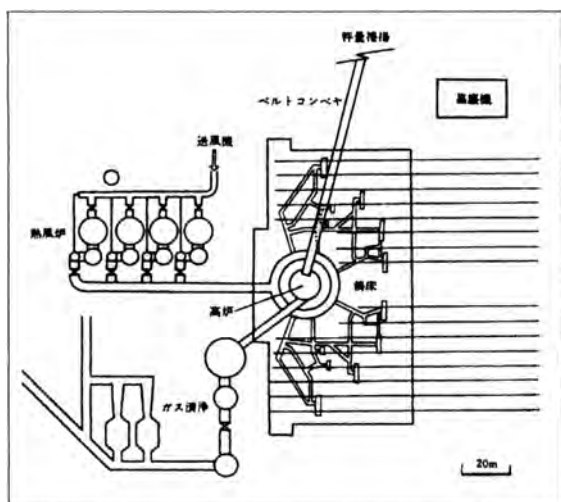


図 6.10 君津第 4 高炉の鑄床レイアウト¹⁵⁾

大分第 2 高炉では 5 本出鉄口に増加させて 9500t/d 目標として溶鉄処理のための複数面鑄床構造及び炉前作業機械の合理化を実施している。

図 6.10 に君津第 4 高炉の鑄床構造を示した。高炉を中心に熱風炉、ガス清浄等の付帯設備、溶鉄溶滓処理作業のための鑄床設備を配置させ、鑄床は 2 面構成で出鉄口は 4 本である。各出鉄口には溶鉄、溶滓傾注樋を設け、受鉄及び鍋車の入れ替えのために溶鉄線、溶滓線が各 2 線、合計 16 本の線路が敷設する鑄床構造となっている。名古屋第 3 高炉、鹿島第 2 高炉、大分第 2 高炉では溶滓処理をドライピット方式、水砕方式として溶滓車の合理化を図っている。

6.4 高度成長期の高炉技術、焼結技術の発展

高度成長期には高炉、焼結機、コークス炉の大型化が強力に推進され多くの外国技術が積極的に導入された。昭和 44 年に名古屋 3 高炉、福山 3 高炉で 3000m³ 級高炉が建設され昭和 51 年には鹿島 3 高炉、大分 2 高炉で 5000m³ 高炉が建設され、このわずかな数年の間に大型化と同時に超高压操業設備、ステープ冷却設備、ベルレス装置、ムーバブルアーマー、大型高温熱風炉、油圧マッドガン、制御用計算機の導入など世界のあらゆる先端技術が競って第 1 号機が導入されている。最初の大型集塵機や TRT などの省エネ設備もこの時期に導入されている。この局面では我が国が世界の最先端にあり、羅針盤はなかった。

高炉の大型化は設備や操業トラブルが発生した場合の生産リスクは極めて大きく、設備故障を回避し信頼性を高めるために設備技術の完成度を高め、安定操業を確立するために作業技術の標準化、定着化を図る対策が不可欠であった。又、溶鉄コストの低減を図るた

めの資源対応技術の開発も要請された。その過程でわが国独自の革新技術も生まれた。具体的には、自溶性焼結鉱の製造技術、大型高炉に必要なコークス品質の改善技術、高压操業、酸素富化、高温操業、重油吹き込みなどの複合送風技術の高度化、操業管理システムの構築が推進された。

6.4.1 自溶性焼結鉱製造技術の発展

わが国における自溶性焼結鉱の開発実機化について述べる。外国に於ける焼結鉱の製造技術はスウェーデンで開発されたが、使用原料はマグネタイト系鉱石を対象としたものであった。スウェーデンでは昭和 10 年（1935）には酸性焼結鉱を製造し高炉へ 80% 使用、昭和 17 年（1942）には焼結への石灰石添加を開始し、昭和 19 年（1944）から自溶性焼結鉱の生産を開始している。石灰石は混合原料の装入密度を低下させ、流動性のあるスラグの生成を助長し CaO は難還元性のファイヤライトの生成を妨げ還元性と強度の良好な組織をつくる効果があることを明らかにした。しかし、マグネタイト鉱石の場合にはファイヤライトの生成を防止してモノカルシウムフェライトを生じるが、ヘマタイト鉱石の場合にはカルシウムシリケートを生成する。従って石灰石添加の利点はマグネタイトを原料とする場合にに限られるとする研究成果も発表され、自溶性焼結鉱はマグネタイト精鉱に向いた技術でわが国が使用するヘマタイト系鉱石には適用が難しいと考えられていた。

スウェーデンの研究に刺激されて鉄鋼各社で石灰添加焼結鉱の研究が進展した。日本初の実機高炉による自溶性焼結鉱使用試験はスウェーデンに遅れる事 10 年、ヘマタイト系原料を対象に昭和 29 年（1954）中山製鋼所が先鞭を付け、住友金属小倉第 1 高炉で昭和 33 年（1958）5 月に、八幡製鉄洞岡第 2 高炉で同年 11 月から翌年 2 月までの 4 ヶ月間にいずれも自溶性焼結鉱配合率 100% の試験が実施された。その結果、操業の安定化に伴う著しいコークス比の低減と出鉄比向上と言う高炉技術指標の画期的な改善効果をもたらした。

住友金属を初めとするわが国の研究ではヘマタイト系鉱石を使用して焼結鉱を製造する場合に、①石灰石や鉱石の粒度管理と粉コークス添加量の適正化を図ることによって優れた自溶性焼結鉱が製造できること、②石灰石の添加によって元鉱の銘柄特性が稀釈され人工鉱物であるカルシウムフェライトの生成によって被還元性が向上し、焼結鉱配合割合を増加することができれば高炉原料の均質化が図れることを発見した。わ

が国の場合には複数銘柄の塊鉱石を同時に使用するの
で、高炉炉内での還元、軟化、融着過程が個々の銘柄
特性の影響を受け炉内状況が複雑化する。しかし、焼
結鉱を高配合で使用することにより元鉱の銘柄特性が
希釈されて還元性の良い焼結鉱として均質化が図られ
ることになる。この結果、炉内での還元、軟化融着、
溶落ち状況が改善されたことが高炉操業安定の最大効
果と解された。かくして焼結鉱の有効性が認識され、
1960 年以降の新規立地では大型高炉に相応しい大型
焼結機が建設され焼結有効面積 (m²) / 高炉内容積
(m³) 比率を 0.08 ~ 0.09 まで増加させて塊成鉱比 (焼
結 + ペレット配合比率) 80% 操業を可能にした。新立
地なるが故の地の利をを活かした英断であり、自溶性
焼結鉱は戦後の高炉出鉄比の改善、還元材比の低減に
最も大きく貢献した革新技術であった。

その後の焼結鉱品質の改善については焼結層の通気
性の改善やカルシウムフェライトを適度に生成促進さ
せる焼結鉱組織制御技術の開発が推進され、強度と被
還元性を並立させる拡散型焼結鉱の製造へと進展し
た。具体的な製造手段として点火炉での熱供給量の増
加、高層厚化、造粒強化、原料装入法の改善、カーボ
ン偏析の促進などが採用され、高炉内での還元溶解挙
動に適合した焼結鉱品質の改善が推進された。

ペレットについては昭和 28 年 (1953) に川崎製鉄
千葉工場でシャフト炉方式の国産ペレットが製造さ
れ、昭和 38 年 (1963) には外国産ペレットが各社で
輸入開始された。

国内での大型ペレット工場の建設は、昭和 39 年に
神戸製鋼所でペレットフィードを対象として年産 100
万 t 規模のグレートキルン方式の工場が建設された。
ペレット品質改善対策として高温領域での還元停滞を
防止する技術として昭和 40 年に自溶性ペレット、昭
和 50 年にはドロマイトを添加した含 MgO 自溶性ペ
レットが開発、実機化され高炉技術の発展に寄与した。

6.4.2 複合送風技術

複合送風とは羽口からの燃料吹込みと高温送風、調
湿、酸素富化を巧妙に組合わせて適用することによ
って炉内反応の効率化をはかり還元材比 (コークス比 +
補助燃料費) の低減と出鉄比の向上を図る革新技術で
ある。高炉の複合送風技術に関して製鉄部会共同研究
会でも議論が尽くされ、昭和 47 年に「鉄と鋼」の特
集号で其の成果が報告されている。

従来、高温送風や酸素富化送風単独では羽口先の理
論燃焼温度が高くなって棚、スリップが発生し長期安
定操業が困難であったが、燃料吹込みは羽口先での理

論燃焼温度を下げる効果があり、これらの技術を複合
させて羽口先理論燃焼温度を適切にコントロールする
ことによって酸素設備や熱風炉の設備能力限界までを
戦力化することができ、高炉操業の効率化に大きく貢
献した。

高炉への燃料吹込みは昭和 32 年 (1957) 頃より各
社において試験研究が独自に検討されてきた。昭和
36 年 (1961) にフランス・ポンペイ社と燃料吹込み
に関する技術提携の為に鉄鋼 12 社による調査団の実
習調査が行われ、昭和 37 年 (1962) から 5 年間 BFI
委員会 (BlastFurnaceFuel Injection Committee) に
よって鉄鋼各社の情報交換や共同研究が実施され、重
油吹き込み操業に関する羽口先温度補償やコークス代
替率に関する理論、炉内通気性の改善、液体燃料のア
トマイズ法の改善、重油多量吹き込み時の設備、作業対
策などについて共同研究が実施され重油吹き込み操業の
確立と発展に寄与した¹⁷⁾。

吹き込み燃料の研究対象としては重油、コークス
炉ガス (COG)、石炭スラリーなど多様である。重
油吹き込みは昭和 36 年 (1961) 年 4 月に日本鋼管川崎
第 3 高炉で、COG 吹き込みは八幡製鉄東田第 5 高炉で、
COG を脱水素した R ガス吹き込みは日本鋼管川崎第 5
高炉で、石炭の重油スラリー吹き込み (COM) は昭和
39 年 (1964) に富士製鉄室蘭、川崎製鉄千葉などで
幅広く試験が実施された。重油吹き込みが設備的に簡便
でコークス比低減効果も大きいことから、重油吹き込
み操業が各社で直ちに実機化され普及した。図 6.11 に
わが国の高炉還元材比の推移を示したが、昭和 35 年
(1960) の重油吹き込み前の全国平均還元材比 (コーク

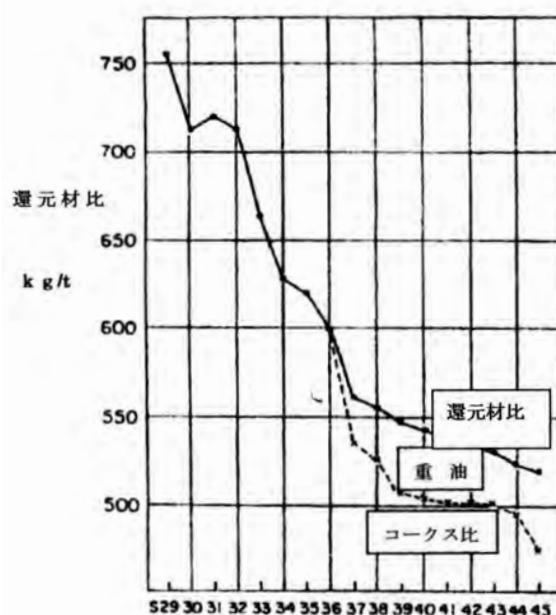


図 6.11 わが国の高炉還元材比の推移¹⁶⁾

ス比)は619kg/tであったものが、重油吹き込み操業の急速な普及に伴い昭和45年(1970)には複合送風の効果とあいまって平均還元材比は520kg/t、重油吹き込み量は平均で45kg/tの水準に達した。

複合送風技術を駆使して還元材比の下限を極める数多くの操業試験が行われた。事例として新日鉄君津第4高炉の場合には昭和56年(1981)11月には送風温度1336℃、送風湿度4.6g/Nm³、重油比37kg/tの操業条件で還元材比406kg/tを達成している。日本鋼管福山第3高炉の試験では昭和56年(1981)8月にオールコークス操業から石炭系のタール吹き込み操業に移行し同年11月に低還元材比操業試験を実施している。送風温度を1350℃、送風湿度は5.6g/Nm³とし、タール比40kg/tで還元材比394kg/tを達成している。いずれも原燃料対策としてコークス中灰分を10%台以下としJIS還元率が70%に近い自溶性焼結鉱を使用して操業の安定化を図っている。

6.4.3 高温用熱風炉の開発

複合送風の実施に伴い送風温度は飛躍的に高くする事ができた。重油吹き込み前の昭和35年(1960)の平均送風温度は約800℃であったが、重油吹き込みによって送風温度は上昇を始めて昭和54年(1979)には平均1250℃まで直線的に増加した。しかし、熱風炉の大型化と送風温度の高温化によって設備が持たず昭和50年(1975)にかけて天井ドームの沈下や落下、蓄熱室の沈下、仕切壁の倒壊、ドーム周辺鉄皮の応力腐食割れの発生など熱風炉の事故、トラブルが続発した。これらの対策として耐火レンガ材質面と構造面の両面から対策が推進された¹⁸⁾。

炉構造の改善として外燃式熱風炉、改造内燃式熱風炉が開発導入された。外燃式熱風炉は1960年前後にKoppers型、M & P型、Didier型がほとんど同時に実用化され、わが国ではKoppers型のドーム構造を改良した新日鉄型が昭和46年(1971)に実用化された。日本で最初の外燃式熱風炉の導入は昭和38年(1963)で、NKK川崎製鉄所でKoppers型が採用され、その後大型高炉で各種型式の外燃式高温用熱風炉が普及した。内燃式熱風炉に関しても高温用が開発された。代表例はHoogovens社で開発されたIjmuiden型でわが国でも昭和45年(1970)新日鉄名古屋製鉄所などで稼動が開始した。仕切壁珪石煉瓦の膨張を多数の膨脹代によって吸収すると共に仕切り壁に断熱煉瓦を挿入し燃焼室と蓄熱室の温度差による垂直倒れ現象を緩和し仕切り鉄板挿入によって燃焼室と蓄熱室のガスや熱風の短絡を遮断する設計も実用化された。代表的な外燃

式熱風炉、内燃式熱風炉の構造の例を図6.12に示した。

高炉の大型化と高送風温度に対応するため熱風炉の蓄熱室加熱面積は従来45～50m²/m³(高炉)であったが75～85m²/m³(高炉)に拡大、蓄熱室レンガも多層式となり異型ブロック煉瓦が使用され高温ガスの流速を均等化し次第に流路徑を小さくして単位容積中の伝熱面積を多くすることにより熱交換量を大きくする設計に改善された。

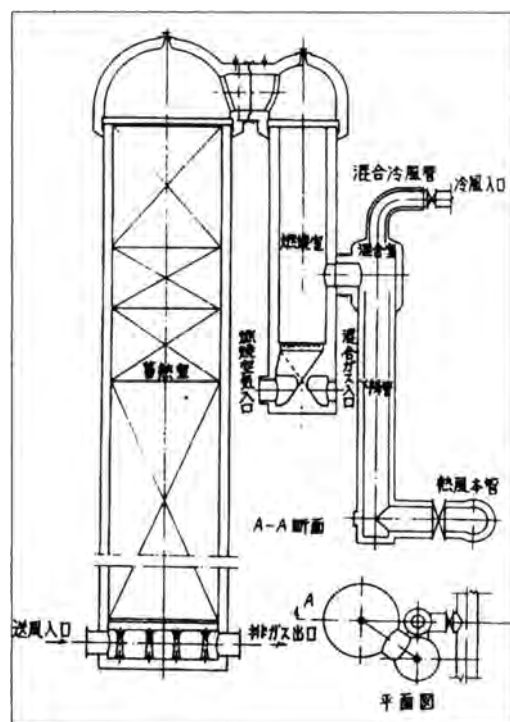


図 6.12 a) 外燃式熱風炉 (Koppers 方式)

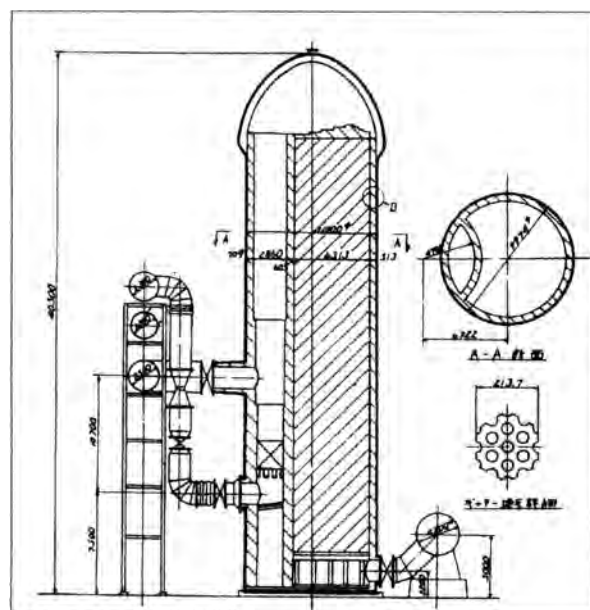


図 6.12 b) 内燃式熱風炉 (Ijmuiden 方式)

図 6.12 外燃式熱風炉、内燃式熱風炉の構造¹⁸⁾

耐火物の材質についてもわが国独自の改善が続けられ送風温度の上昇によってシャモット質から高アルミナ、珪石質へと推移しているが、煉瓦材質特性として特に熱間クリープ変形率が重視され改善された。熱風炉の寿命律速部位は蓄熱室ギッターレンガの倒壊、鉄皮の亀裂割れ、バーナー部の損傷である。ギッターレンガ部の修復は珪石を適正範囲に使用するゾーンライニング方式により改善され、鉄皮の亀裂の主原因となる応力腐食割れ防止対策を行った。

熱風炉鉄皮の応力腐食割れは $1,400^{\circ}\text{C}$ 以上の高温燃焼では NO_x の発生が著しくドーム鉄皮内壁でドレンとなり硝酸塩による粒界応力腐食割れが原因で鉄皮溶接部、鉄皮とリングガーター溶接部に多く発生している。

防止対策として発生応力の低減、溶接部の焼鈍、低炭素当量の材質選定、鉄皮内面への耐熱、耐酸キャストブルの施工、鉄皮外面の保温（ $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ）などが実施された。

熱風炉の運転制御方式に関しても流量制御、カロリー制御、ドーム温度のカスケード制御、熱効率向上や NO_x 制御のための排ガス中に酸素分析計の設置など、わが国ならではのきめ細かい空燃比制御が行われている。その他、燃料のカロリアップ、熱交換器による排熱回収、2基熱風炉の並列送風（スタガード・パラレル送風）などを前提とした送風温度に応じた残熱レベル制御、ドーム温度制御など熱風炉制御システム、AIの導入など最新の制御技術が適用された。

6.4.4 超高压操業の安定稼働対策

高压操業とは高炉ガス出口でのガス配管に絞り（セ

ブタン弁など）を入れることによって上流側にある高炉内圧力の絶対値を上昇させてガス流速を低下させ棚吊や吹抜けが生じない範囲で送風量を増加させて出鉄量の増加、コークス比の低減を図る技術である。

高压操業は米国等では第2次世界大戦中に実験が進められ戦後では米国、ソ連等で普及した。わが国への導入は昭和37年（1963）から昭和39年にかけて八幡製鉄所東田第1高炉、富士製鉄室蘭第3高炉、日本鋼管水江第1高炉において米国技術が導入された。炉頂圧の制御システムは、①炉頂圧の制御（セブタム弁制御、ブリーダー弁制御）、②炉頂ホッパー内の圧力制御（均圧弁、排圧弁制御）、③ベンチュリースクラバー水封の水位制御から構成される。わが国で最初の装備された当初の炉頂圧力のレベルは炉容に関係なく $0.7\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度が標準となっていた。

その後の高炉内容積の拡大に伴い、炉頂圧力も図6.13に示したように増加し、昭和44年（1969）の富士製鉄東海第3高炉（内容積 2980m^3 ）ではソ連から炉頂圧 $2.5\text{kg}/\text{cm}^2$ の超高压高炉技術が導入され、 4000m^3 高炉では $2.5 \sim 3.0\text{kg}/\text{cm}^2$ の高い炉頂圧が採用されている。しかし、初期の実際操業では周辺設備が貧弱で、図6.13の様に設計炉頂圧力を維持することができず周辺設備の堅牢化を図る必要があった。解決すべき主要な課題としては、①装入装置のベル、カップ間のガスリーク防止対策と大ベル磨耗対策、②冷却盤取付部や鉄皮亀裂部からのガス漏れトラブルであり、わが国では大型高炉の稼働率向上対策として独自の抜本的改善対策が実施された。

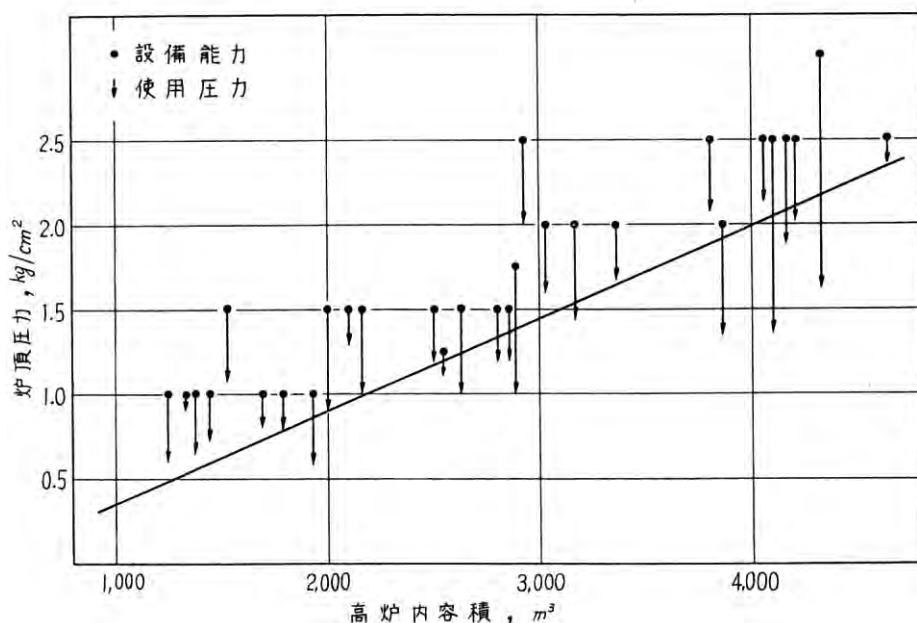


図 6.13 高炉内容積と炉頂圧力¹⁹⁾

1) 装入装置の改善

ベルタイプの装入装置では下ベルとベルカップのシール部が磨耗してガスリークが発生すると上ベルから下ベルに装入された原料が炉内からのリークガスで吹き上げられ大ベルホッパー内（図 6.14 参照）の原料の堆積状態が乱れ、原料の均一な円周方向の分布が形成されず操業不安定となるトラブルが多く発生した。この解決策として富士製鉄室蘭製鉄所ではバルブシール弁を開発して装入物の原料分配機能とガスシール機能を分離させた。ベルは装入物の分配機能を、バルブシール弁にはガスシール機能を持たせるとする発想に立ち 2 ベル 1 バルブ方式を石川島播磨と共同で発明した²⁰⁾。広畑第 3 高炉では 2 ベル 1 バルブシュート内装非連続旋回方式、君津第 1 高炉では 2 ベル 1 バルブシュート外挿連続旋回方式、室蘭第 4 高炉では 2

ベル 1 バルブシュート内挿連続旋回方式など次々と独自の改善方式が採用された。4 ベル方式も福山第 3 高炉で開発され採用された。2 ベル 1 バルブ方式、4 ベル方式の例を図 6.14 に示した。

新型装入装置として大型のベルを廃した Paul Wurth ベルレス装入装置が室蘭第 1 高炉に導入された。ベルレス装入装置は装入物分布の自由度を拡大することを主目的としているが同時に大型高炉での大ベル交換工事を不要とし装入装置の保全面での大幅な省力化と作業安全性を改善するものであり、今日の高炉装入装置の主流となっている。本方式においても図 6.15 に示したように上部ホッパーに我が国独自の工夫を施した並列 2 ホッパー、並列 3 ホッパー、垂直 2 段ホッパーなどが実用化し装入機能や分布機能の高度化が図られている。

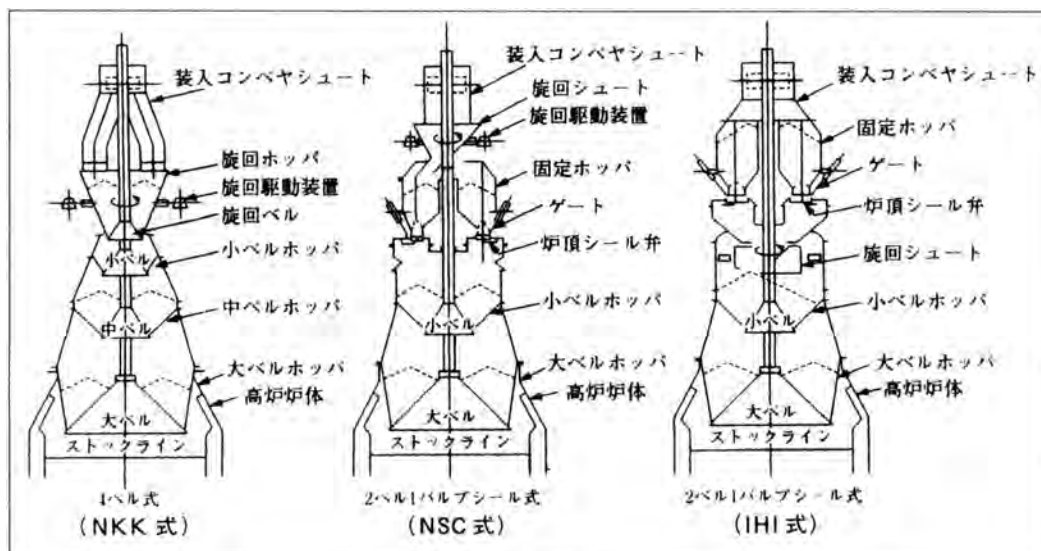


図 6.14 高炉装入装置²¹⁾ ベル方式

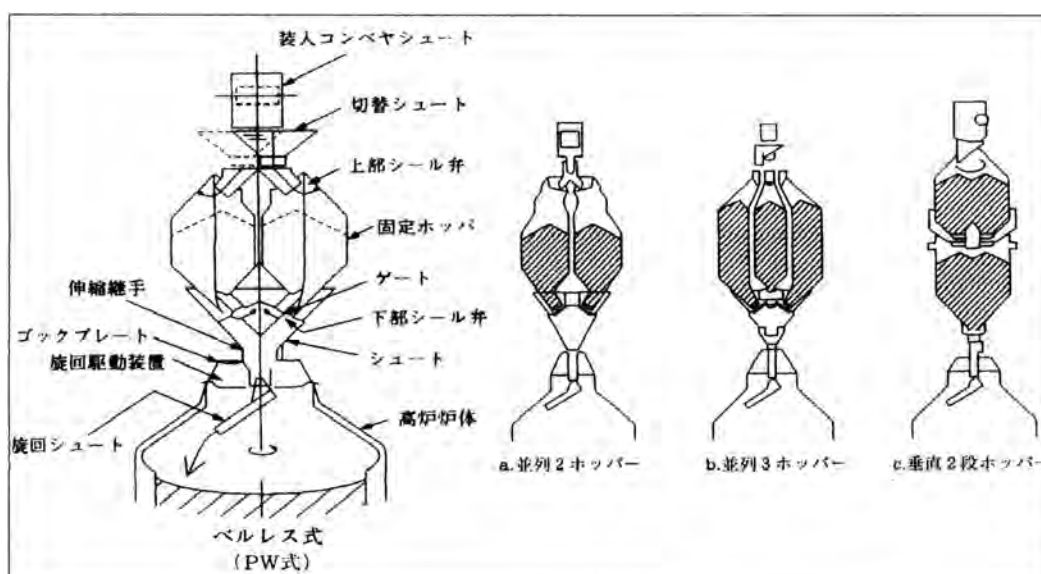


図 6.15 高炉装入装置²¹⁾ ベルレス方式

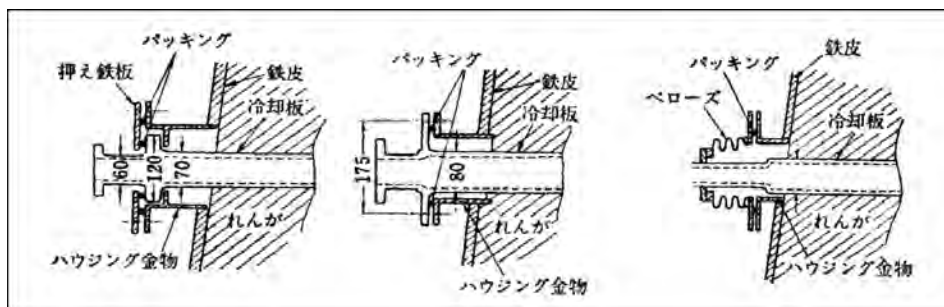


図 6.16 冷却盤の装入方法²²⁾

2) ステープ冷却方式の導入と改善

高炉の冷却方式は冷却盤による方式が一般的であった。冷却盤方式は炉体レンガの中に多数の銅製冷却盤を挿入して炉体レンガを冷却する方式であるが、図 6.16 に示したように炉体レンガと鉄皮の膨張率の違いを考慮して冷却盤の取り付け部にパッキングによるスライド方式やベローズ方式が採用されている。

このため、炉の末期になるとフランジ部やスライド部からのガスの漏洩、炉体レンガの損耗による鉄皮の亀裂部からのガスの漏洩が発生して高い炉頂圧力での操業の維持が困難であった。この対策として昭和 44 年（1969）の富士製鉄東海第 3 高炉の超高圧設備の導入の際、ソ連から羽口マンテルより上部に図 6.17 に示すステープ蒸発冷却方式が導入され、引き続き室蘭

第 4 高炉に湯溜部側壁を含む炉全体にステープ冷却方式が採用された。

ステープ冷却方式とは図 5.17 に示したようにパイプを鑄ぐるんだ量状の鑄鉄製ステープを高炉鉄皮の内部に装着してステープの炉内側にレンガを築造する炉体冷却構造である。ソ連の方式は炉の熱負荷に応じて冷却水が蒸発して自然対流する原理であるが、大型高炉では熱負荷が高く、円周方向での熱負荷の変動が大きい場合には一部のパイプに流量のアンバランスを生じて循環水量が不安定となり、冷却性能の信頼性に欠けることが認められた。

このため、昭和 50 年（1975）には汽水分離ドラムからの下降水管に圧送ポンプを設置した冷純水強制循環方式に改善された。ステープ本体に関しても改修時

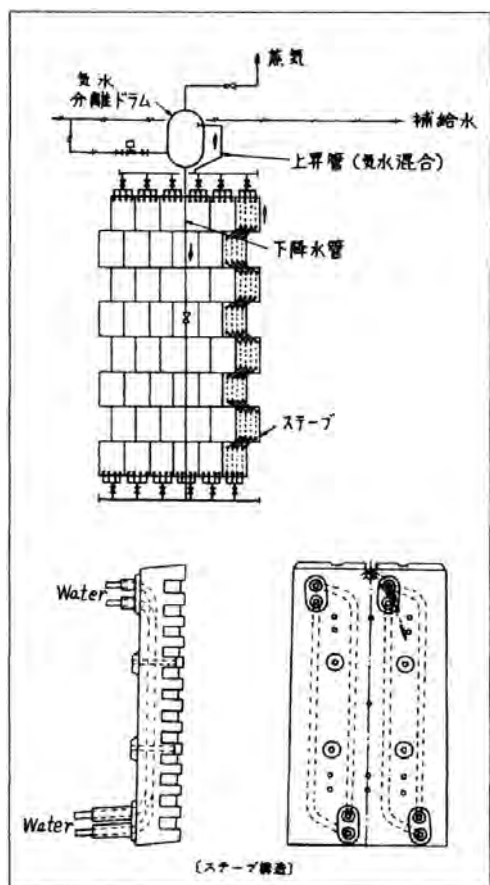


図 6.17 ステープ蒸発冷却システム²³⁾

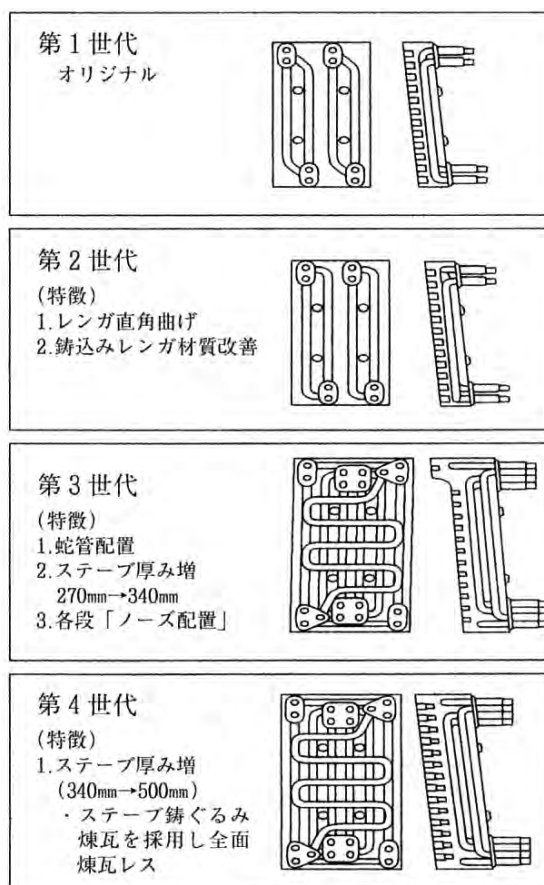


図 6.18 ステープ本体の改善²⁴⁾

の使用後ステーブの損耗状態調査から、図 6.18 に示したように数次にわたってわが国独自技術により改善が行われ今日に至っている。材質については低クロム鋳鉄から割れに強いダクタイル鋳鉄が標準材質となった。冷却パイプに関してステーブコーナー部の強化、背面蛇管の強化、パイプ数の増加など冷却能力の強化が図られた。初期のステーブの場合には稼働面に耐火煉瓦が築造されていたが、その寿命は1～2年程度であることが判明し、第4世代ステーブではステーブ母材の厚みを増してステーブと壁レンガを一体鋳造とすることで炉壁のレンガ構造の安定化を図り、従来の内張りレンガを廃して建設工事の簡素化が図られた。これ等の対策により安定した炉体冷却システムが確立された。送風羽口についても当時の高炉臨時休風の最大の原因であったことから、羽口先端部の流速を10m以上とする高流速羽口の実機化や先端部の高溶融点金属による溶射被覆加工などが行われた。

6.4.5 高炉操業管理システムの構築

製鉄部門での計算機の使用は昭和35年(1960)頃から始まったが、当初は装入原料の秤量制御や操業データの実績収集システムなどに利用された。マイクロプロセッサの普及や高速デジタル通信の進展に伴ってハード面ではプロコンの下位にCRT、分散型のDDC、PLC(プログラマブルコントローラー)が組み込まれ、共通のデータウエイを通して操作・表示・通信・制御を行う集中管理型システムへと発展し電気・計装・計算機間のインターフェースの標準化も進んだ。

個別のプロセス制御としては装入原料の秤量制御、送風制御(送風流量、圧力、サージング防止)、高圧操業に関わる各種圧力制御、羽口毎の重油吹込み流量制御、羽口燃焼温度制御、熱風炉の制御(ドーム温度、燃焼と炉替制御、カロリー制御)等であり、実績情報収集システムとしては操業関係、炉体管理に関する検出端情報のデータロガー機能が拡充され異常の早期発見や技術解析に活用された。

更に高炉の炉内反応状況を検出するための新しい検出端開発と相まって検出端情報を収集解析して情報の絶対値やその変動量、不均一性指数、円周バランスや半径方向の分布パターンなどによる炉況診断の定量化が進展、これらの検出端情報や定量化情報を用いた炉況診断、異常検出などの操業管理システムやオペレーションガイドシステムが開発された。

高炉内反応プロセス制御は高炉炉熱の状態制御を目的としたものから発展し1960年初期からソ連やフランスなどでモデル開発に着手された。代表的なものが

フランス IRSID で開発された Wu 指数に基づくモデルがあり、炉内の物質収支と熱収支に基づく理論モデルであった。わが国では理論的な熱レベル指数の他に通気性、銑鉄組成などの複合的要素を組み込んだモデルが開発されている。1960年後半では高炉の動特性の研究も積極的に行われ、モデルによる予測値と実績値との差に基づいて操業因子を修正する制御モデルの開発が行われた。我が国では炉熱制御に関して昭和39年に鋼管・川崎5高炉で試験が行われている。昭和48年(1973)に新日鉄堺第2高炉の改修で実機に装備²⁵⁾された。炉熱と通気性の両面の理論及び統計モデルを検出端情報や経験則で補完して信頼性と汎用性を高める工夫を加えたシステムであった。炉熱の代用特性として溶銑中のSiを用い、20分単位でオペレーションガイドメッセージを提示するシステムであり、羽口、冷却盤の破損による炉内浸水警報、貯銑滓レベル警報発信機能や炉熱アクションとして送風湿度、重油流量でクローズ制御機構も準備されていた。

昭和53年(1978)年に川崎製鉄の高炉操業管理システム(GO-STOPシステム)が開発、千葉第6高炉で実装された²⁶⁾。人工知能を一部応用したシステムでその概要を図6.19に示した。

高炉の操業状態を判断するための代表的な要因として荷下がり、通気性、炉熱、出銑滓バランスに関する8つの炉況表示因子(絶対レベル)と、通気性と炉熱に関する4つの炉況変動表示因子(変動レベル)を選択して各因子毎の境界値と判定基準(3段階で数値化)を設けて1次評価を行い、各々の因子の重み付けをした炉況判定数値(レベル因子判定GSN1、変動因子判定GSN2)を基準にして炉況の総合判定を実施する。操業者は刻々の高炉の状態推移が数値化、可視化して表示され操業ガイダンスが与えられる操業管理システムであった。

昭和60年(1985)に至り知識工学の進歩に伴い知識ベースや推論エンジンを活用したエキスパートシステムやニューロ、ファジーのような複数のAI手法を組み合わせた問題解決手法が高炉操業管理システムとして導入されている。エキスパートシステムとしては昭和61年(1986)NKK福山第5高炉の第2次改修に於いて導入されたオンライン操業管理システム(BAISYS:Blast furnaceArtificial Intelligence SYstem)が開発された²⁷⁾。プロセスコンピューター(制御系)とAI専用プロセッサ(推論系)の機能を結合しオンラインリアルタイム処理を実現している。異常炉況診断と炉熱制御エキスパートシステムの2つのサブシステムから構成されている。異常炉況診断エキ

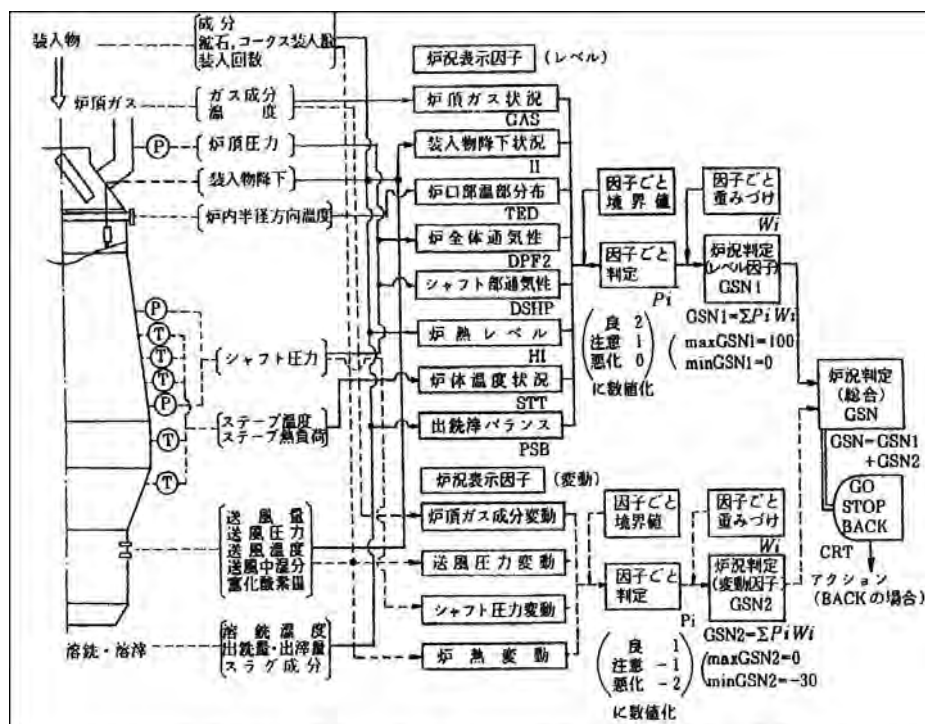


図 6.19 高炉操業管理システム (GO-STOP システム)²⁶⁾

スパートシステムは多数のセンサー情報をリアルタイムに自動的に収集し、これらの情報と知識ベースに登録された専門技術者の知識、経験を使用して吹き抜け・スリップの危険予知をガイダンスしアクションを指示する。知識の表現としては if / then でルール化して表わすプロダクション方式を採用している。特徴として外乱の除去と平滑化の実施、知識のあいまいさを表わすために確信度 (CF) の概念を導入している。

昭和 63 年 (1988) の新日鉄君津第 4 高炉改修 (1988 年火入) に於いて導入された高炉操業管理システム (ALIS: Artificial and Logical Intelligence System for blast furnace operation) も同様に知識工学を利用したエキスパートシステムに基づくが、平成 15 年 (2003) の改修において一層の分散処理、Web 技術、可視化技術を取込んでいる。例えば、原料変動の発生原因となる要素技術や設備改善が進んで従来「あいまい」とされた変動要素が減少していることなどの変化を織り込みエキスパートによるルールベースの推論は「吹抜け異常」、「熱レベル」などの極短期管理ガイドのみに適用し、数学モデルに基く推論 (モデルベース推論) や過去事例に基づく推論を重視する方向のシステムに発展させた。

6.5 地域環境対策への取組み

6.5.1 公害対策基本法の制定

所得倍増計画 (高度成長計画) に基づく各地の工業

化はコンビナート方式による開発が推進された。開発規模が急速でかつ過去にない巨大な規模であったことから新たな環境汚染問題を提起した。昭和 42 年 (1967) 国会で公害対策基本法が成立し規制法としては昭和 45 年 (1970) 年の第 64 特別国会 (公害国会) で大気、水質汚染防止法、騒音規制法、公害紛争処理法など公害関連法案が成立した。昭和 47 年 (1972) 年には環境庁が創設され環境行政に関する体制が強化された。これらの措置の推進によって危機的な硫黄酸化ガスによる産業公害は峠を越し OECD は 1976 年の環境レビューで「日本の公害対策は成功した」と評価した。

その後の環境問題は都市交通公害や浮遊粒子状汚染物質、NOx、光化学スモッグ問題に移行し昭和 48 年に二酸化窒素とオキシダントの環境基準が設定され光化学スモッグ対策が始まった。昭和 49 年 (1974) には硫黄酸化物、窒素酸化物の総量規制が法制化され、1990 年代には有機塩素系化合物の法規制、PRTR (環境汚染物質排出・移動登録)、化学物質に関する法規制と対策が進展した。

6.5.2 鉄鋼業における地域環境対策²⁸⁾²⁹⁾

昭和 35 年 (1960) 以降、臨海立地による大型製鉄所の建設に伴い地域環境問題に積極的に対応し、昭和 38 年 (1963) に鉄鋼連盟に「煤煙防止委員会」が設置され活動を開始した。昭和 48 年 (1973) には窒素酸化物の環境基準が設定され窒素酸化物を低減する技術開発が不可欠となり、鉄鋼連盟に「鉄鋼業 NOx 防除

技術開発本部」を設置、防除技術を開発する機関として「鉄鋼設備窒素酸化物防除技術開発基金」、昭和49年（1974）に「鉄鋼業窒素酸化物防除技術研究組合」を設立した。同基金は窒素酸化物の発生メカニズム、防除技術の開発についての大学、研究機関への研究を助成するものであり、研究組合では「焼結排ガスの脱硝技術」について共同研究を実施した。「鉄鋼設備窒素酸化物防除技術開発基金」は昭和55年（1980）に「鉄鋼業環境保全技術開発基金」に改組して大気、水質、廃棄物など環境問題全体についての研究補助に拡大、近年ではダイオキシン、地球環境問題についても幅広く助成している。製鉄部門での大気環境対策の取り組みについて概説する。

1) 硫黄酸化物

硫黄酸化物の削減対策としては低硫黄鉱石への転換、選鉱強化、燃料面では低硫黄重油への転換、COG脱硫が推進された。焼結排ガスの脱硫技術は高炉9社による共同研究として排ガス量15万m³/hの試験装置により、昭和47年（1972）2月から1年半の工業規模の試験を行い、各社は共同研究成果を踏まえて石灰-石膏法、転炉スラグ法、塩化カルシウム-石灰法、水酸化マグネシウム法が実用化された。コークス炉ガスの脱硫に関して各社独自のCOG脱硫技術が開発された。基本工程は吸収液によるガス中の硫化水素の吸収と酸化による硫酸、硫酸、石膏への転換であるが硫黄の資源化活用の方法によって種々の方式が選択された。これらの実機化によって硫黄酸化物の排出量は急減した。

2) 窒素酸化物

窒素酸化物はサーマルNO_xとフューエルNO_xの2つ

の経路から生成されるが、後者の場合には燃料転換が有効である。前者のサーマルNO_xの削減には燃焼装置の改善、操業管理方法の改善が有効であり、鉄鋼協会共同研究会熱経済部会の下で各社の共同研究が実施された。ボイラー、コークス炉では高温燃焼を回避するための低NO_xバーナーが開発され2段燃焼や排ガス循環法が採用された。焼結工程でのNO_xの発生は粉コークスの燃焼によって生じるがNO_xへの転換率は操業方法によって変化する。焼結工程でのNO_xの大半はフューエルNO_xであり低窒素無煙炭の使用が有効である。焼結鉱の場合は高温燃焼するほどコークスが一酸化炭素に転換し還元性雰囲気になるのでNO_xの発生が抑制され転換率が低くなる特徴がある。転換率を下げるためには焼結層内温度を上昇させ低温度でのコークスの燃焼を避けることが必要で対策として焼けむらの防止、生石灰の添加による通気性の向上、コークス粒度の適正化、擬似粒子のコークス外装化などが推進された。

NO_x総量規制に対する排煙脱硝技術としてはアンモニアを用いた選択的接触還元法と活性炭・活性コークスを使用した乾式脱硫脱硝法が実用化されている。選択的接触還元法とは触媒を使用してNO_xを窒素に還元する方法である。適当な触媒と還元材との組み合わせによってNO_xだけを選択的に効率よく窒素に還元する原理を利用したプロセスである。焼結排ガスには多量の酸素が含まれており一酸化炭素、水素等の還元材を使用すると酸素も還元されるので非効率であり、アンモニアを還元材として使用して一定の温度条件ではNO_xを選択的に還元し酸素などの共存物質と

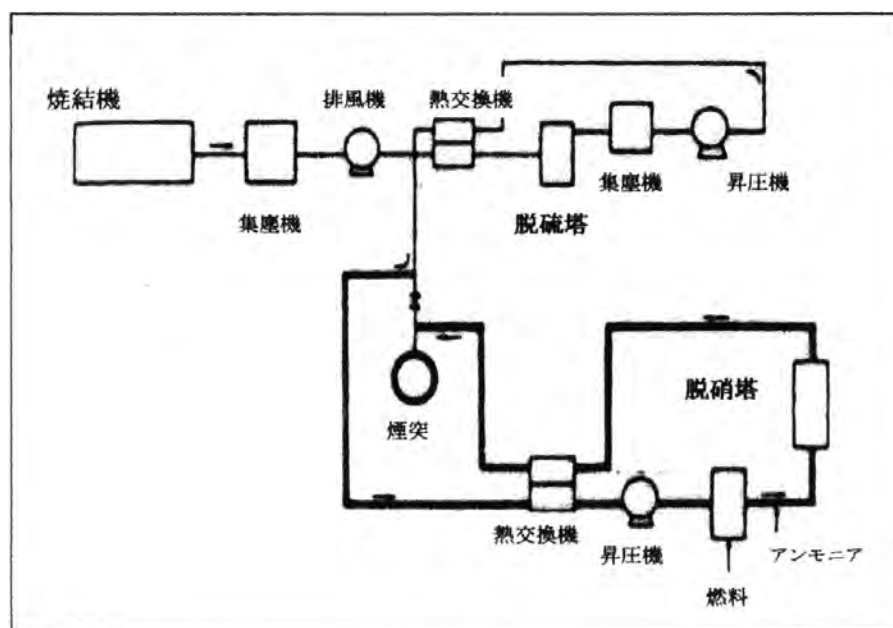


図 6.20 選択的接触還元法による焼結排煙脱硝法

の反応を回避して NOx を窒素に還元する。触媒としては V, Fe, Cu, Mn, Cr の酸化物を用いこれらの担体、担体に担持した触媒として使用される。

焼結機での選択的接触還元法の実機化は昭和 49 年（1974）に川崎製鉄千葉製鉄所、昭和 54 年（1979）に NKK 京浜製鉄所で実用化された。図 6.20 に NKK 京浜製鉄所の排煙脱硝設備のフロー図を示すが、反応温度として 400℃を必要とするので加熱脱硝後の排ガスの熱回収を行い、鉄鉱石やカルシウムフェライトなどを触媒として排煙脱硝を行っている。

3) 環境粉塵対策

粉塵、煤煙対策としては発生箇所に広範囲にわたって集塵機、散水設備を設置して粉塵発生を防止している。高炉、焼結工場における環境集塵機に関しては乾式処理方式であるバグフィルター方式、電気集塵方式機が多く採用されている。コークスプロセスでは乾式消火法が全面的に採用され湿式消火による蒸気放散を回避し、環境粉塵の発生を防止している。

引用文献

- 1) 戦後復興期に於けるわが国鉄鋼技術の発展 日本鉄鋼協会（平成 4 年）及び資料編
- 2) 小野田武雄 北海道炭コークスのよる高炉操業鉄と鋼 Vol137 (1951) p71 ~ 79、城 博 燃料協会誌 Vol 26 (1947) p1 ~ 10
下村孝太郎 燃料協会誌 Vol 3 (1924) p381 ~ 395
- 3) T. L. ジョセフ 日本に於ける鉄鉱石の処理と熔鉱炉操業について 鉄と鋼 Vol 37 (1951) p481 ~ 489
- 4) 和田亀吉 米国鉄鋼業調査団報告（第 2 班）鉄と鋼 Vol 36 (1950) p420 ~ 428
- 5) 藤田誠一、田中歳太郎 東田第 6 高炉（第 5 次）改修設計 製鉄研究第 201 号 p199 ~ 214
- 6) 戦後復興期に於けるわが国鉄鋼技術の発展 日本鉄鋼協会（平成 4 年）p249
- 7) 川崎製鉄 30 年史 p315 ~ 330
- 8) 広畑製鉄所 30 年史 p276 ~ 284
- 9) 製鉄部会 製鉄技術の進歩 鉄と鋼 Vol49 (1963) p1163 ~ 1175
宮川奨蔵、沢田保弘 DL 焼結設備の統括制御方式と自動制御について 製鉄研究第 225 号 p2222 ~ 2237
- 10) 和田亀吉、白石芳雄 鉄と鋼 Vol41 (1955) p196 ~ 198
- 11) 我が国における製鉄技術の進歩 日本鉄鋼協会（昭和 52 年）p202 ~ 203
- 12) 山口貞雄 高炉工場の立地と変遷 p114
- 13) 大分製鉄所 大分製鉄所 20 年史 p56
- 14) 原燃料からみたわが国製鉄技術の歴史 日本鉄鋼協会 p58
- 15) 我が国における製鉄技術の進歩 日本鉄鋼協会（昭和 52 年）p257
- 16) 高炉の複合送風特集号 鉄と鋼 Vol58 (1972) 5 p559 ~ 651
- 17) BFI 委員会報告 わが国における高炉の燃料吹き込み技術の進歩（昭和 41 年）p1 ~ 103
- 18) 長井保 製鉄技術の最近の諸問題（高炉設備）第 33, 34 回西山記念技術講座 p183
平櫛敬資 48. 49 回西山記念技術講座 p29
- 19) 鉄鋼界 昭和 47 年 11 月 p73
- 20) 山田龍男「室蘭の高炉と共に」（平成 4 年 10 月）p28 ~ 56
- 21) 鉄鋼便覧 第 3 版 p294
- 22) 鉄鋼便覧 第 3 版 p289
- 23) 嶋田駿作 名古屋第 3 高炉の建設と操業 製鉄研究第 272 号 p50 ~ 60
- 24) 伊藤史生、花房章次、竹井良夫、光安拓治、水野葆禄 鉄と鋼 Vol78 (1992) No7 p225
- 25) 加瀬正司、林洋一、田村健二、久宮明など 製鉄研究第 288 号 p70 ~ 81
- 26) 岡部侠児、福武剛 川崎製鉄技法 11 (1979) 7 p34
- 27) 中島龍、炭窯隆志、牧章、脇本一政など、鉄と鋼 Vol73 (1987) 15p 298
- 28) 日本鉄鋼連盟 鉄鋼業における窒素酸化物防除技術開発の現状 (1977)
- 29) 向田 麗 製鉄研究 第 300 号 (1980) p3

7 | 高度成長の終焉と量から質への転換

7.1 石油危機の発生と対応

7.1.1 オイルレス操業と製鉄所エネルギーの全体最適化

昭和48年（1973）の第4次中東戦争、OPECの石油戦略に端を発した第1次石油危機における鉄鋼業の省エネルギー対策としては自主管理活動（JK活動）、各種のVE手法が貢献した。石油価格の高騰により省エネ設備の投資メリットが大幅に向上し排熱回収設備投資も積極的に実現することができた。製鉄部門では高炉炉頂圧タービン（TRT）、熱風炉排熱回収設備、焼結機クーラー排熱回収設備、コークス乾式消火設備（CDQ）等が実機化した。この結果、昭和48年（1973）から始まった鉄鋼業界の省エネ活動は昭和54年（1979）年までの6年間でエネルギー原単位の10%を削減、特に石油系燃料の削減が顕著で石油使用量の42%が削減された。昭和48年（1973）の石油燃料の構成比率が21.3%であったものが昭和54年（1979）では14.2%へと低下した¹⁾。

昭和53年末から本格化したイラン革命による第2次石油危機は図7.1の通り石油価格の著しい高騰を伴うものであった。第1次石油危機のときはまだ原料炭価格の方が割高であったが、第2次石油危機における石油価格の高騰は原料炭価格の値上りをはるかに越えるものであった。このため、多少のエネルギーロスがあっても石油を低減することがエネルギーコスト面で有利となることからエネルギー対策は脱石油活動へ

と展開した。高炉においても重油吹き込み原単位は昭和48年（1973）の55kg/tに比して第2次石油危機直前の昭和53年（1978）は可能な範囲の削減として33kg/tに減少しつつあったが重油吹き込み操業は未だ継続されていた。第2次石油危機への対応として高炉操業の安定と出鉄比確保には課題はあったものの各社共オールコークス操業へと転換し、昭和56年（1981）年末には全稼動高炉43基中42基がオイルレス操業に移行した。

高炉で使用していた重油をコークスに転換するのでオールコークス操業は高炉でのコークス使用量を増加させる。コークス炉稼働率の増加はコークス炉ガスの発生を増加させ製鉄所内での動力用、加熱炉用の重油使用量の削減を促すことになり、製鉄所全体のオイルレス化が進行した。従来から高炉では鉄鉄コストに最も大きく影響する「還元材比」の低減を各社共通の主要技術指標として競ってきたが、製鉄所全体のエネルギー最適化が最大の経営目標となった結果、各製鉄所全体のエネルギーバランスによって「還元材比」の目標値は異なるものとなった。しかし、緊急避難的にオールコークス操業やタール吹き込み操業に移行したものの高炉の本来目的である長期安定操業、高出鉄比操業、省エネルギー操業の推進を目指した補助燃料の使用を検討する動きも当然活発となった。具体的には重油と微粉炭の混合燃焼（COM）（住友金属、神戸製鋼他）、タールと微粉炭の混合燃焼（TCM）（日本鋼管）、微粉炭吹き込み操業（新日鉄、神戸製鋼他）等の研究や実炉化が促進した。国による石炭ガス化、石炭液化プロジェクトの研究開発も本格的に開始された。

7.1.2 省エネルギー活動の実践、排エネルギー回収設備の設置

省エネルギー対策は生産プロセスの改善、工程短縮による所要エネルギーの削減と排エネルギーの有効回収に大別される。

1) プロセス改善、工程短縮、投入エネルギー原単位の節減

鉄鋼業の場合、工程ごとに素材の加熱冷却が繰り返されていたが冷却、再過熱によるエネルギーの無駄を回避するため工程の連続化、前工程の保有熱を次工程で如何に活用するかが省エネ対策の目玉であった。詳細は割愛するが連続鑄造法、直接圧延法、温間装入法、連続焼鈍法、トーピードカーの保温・輸送対策、鋼塊

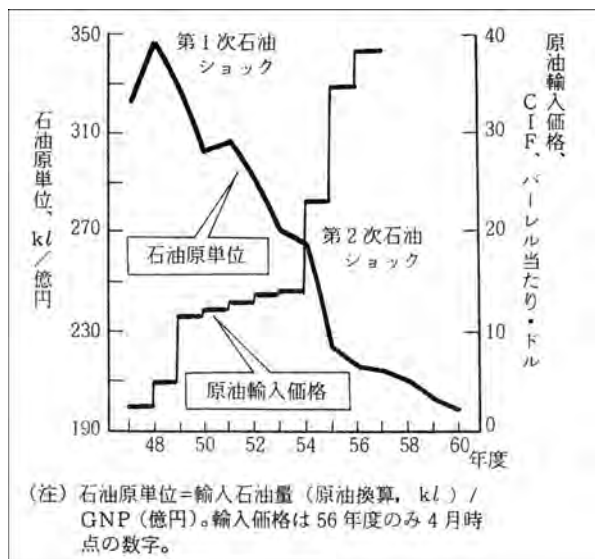


図7.1 石油価格の推移²⁾

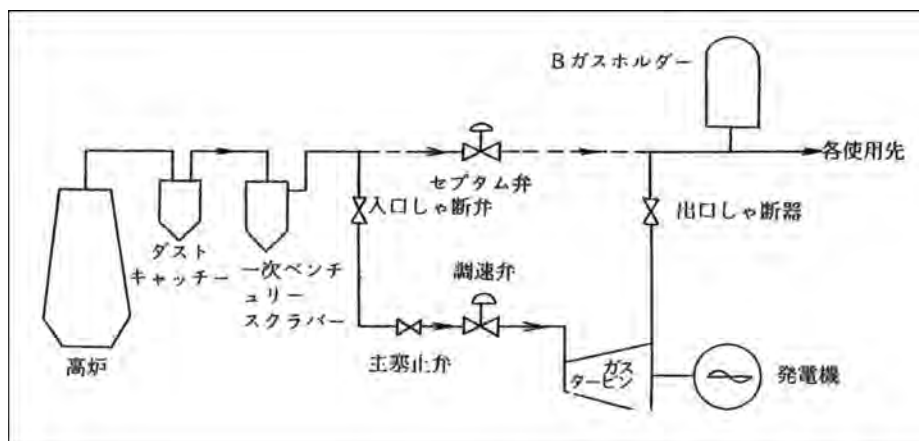


図 7.2 高炉炉頂圧回収タービン（TRT）系統図³⁾

のトラックタイムの短縮などが実現した。投入エネルギー原単位の節減対策についてはVE手法の活用、小集団改善活動を通して推進され、設備の燃焼方法や加熱方法の改善、熱放散の防止、省電力、用役エネルギーの節約等がきめ細かく実施された。

2) 排エネルギーの有効回収

製鉄所における排熱の温度レベルは転炉スラグの高温レベルから冷却水温度の低温レベルまで広範囲にわたり、熱回収設備の設置は技術的難易性と投資回収効率の観点から評価され実行された。地球温暖化対策に対するわが国の省エネ技術面からの貢献は今後の重要な施策であり、製鉄部門での主要な排熱回収設備の導入、実機化について概説する。

① 高炉炉頂圧回収タービン（TRT）、高炉ガス乾式集塵

高炉の炉頂圧は超高压操業に伴い1.5～3.0kg/cm²で操業されているが、高炉ガスはガスホルダー圧まで減圧して他工程で使用する。炉頂圧力は減圧制御弁で制御されるが音や振動、放熱の形態で放散されていた排エネルギーを膨張タービンで電気エネルギーとして回収する装置が高炉炉頂圧回収タービン（TRT）である。回収率はタービン形式、処理ガス量によって異なるが送風動力の%に達するものもある。代表的な設備系統図を図7.2に示すが、発電出力は4,000～1,200kw、銑鉄t当たり35kw/t程度である。

TRTの日本での最初の導入は昭和49年（1974）川崎製鉄水島第2高炉でフランスのソフレア方式の輻流タイプであった。

この方式は磨耗に強いが軸流方式と比較してタービン効率が10%程度低かった。次に導入されたのが昭和51年（1976）新日鉄名古屋第3高炉でソ連式の軸流燃焼式タービンであった。タービン効率は高いが含塵量の制約や断熱膨張過程でミストが発生しないよう

に120～140℃に加熱する必要がある。その後、種々の改善が施され昭和62年には全高炉に普及した。

さらに電力回収率を改善する方法として乾式除塵方式が採用された。高炉の2次集塵機を乾式方式に改善する方法であるが、湿式除塵方式と比較して流入ガス温度が上昇するのでタービン出力も30%程度増加させることができた。乾式除塵方式については耐熱性のバグフィルターで除塵するタイプが一般的であるが、炉布の耐久性、除塵能力、ダストの払落し装置の逆洗間隔、除塵ダストの排出機構、炉布保護のためのガス温度制御対策や酸露点回避のためのガス予熱対策等の課題を克服して昭和57年（1982）住友金属小倉製鉄所第2高炉でバグフィルター式の乾式集塵機が実機化され、さらに昭和63年（1988）に川崎製鉄千葉第6高炉、新日鉄大分第2高炉の大型高炉に設置され回収率の大幅向上に寄与した。

② コークス乾式消火設備（CDQ）

約1,000℃の赤熱コークスは従来は湿式散水方式で消火されその排熱は大気中に放散されていた。CDQは赤熱コークスを密閉した容器の中で不活性ガスを使って冷却して回収した熱を廃熱ボイラーでコークスt当たり500kgの高圧蒸気として回収するものである。わが国では昭和51年（1976）新日鉄八幡製鉄所のコークス炉にソ連からの技術導入により設置され、その規模はコークス処理能力56t/h、蒸気発生量27t/h（40kg/cm²）であった。コークスの製造エネルギーの内、赤熱コークスの顕熱は45%を占めておりCDQによって回収される熱量はコークス炉への投入熱量の38%を占める大きなものであり、且つ粉塵環境対策としても大きな効果があることから各製鉄所に普及した。図7.3に代表的なCDQの系統図を示す。ソ連式のCDQの特徴は熱回収の安定化を図るために、冷却塔の頭部にブリチャンパーを設置したことである。

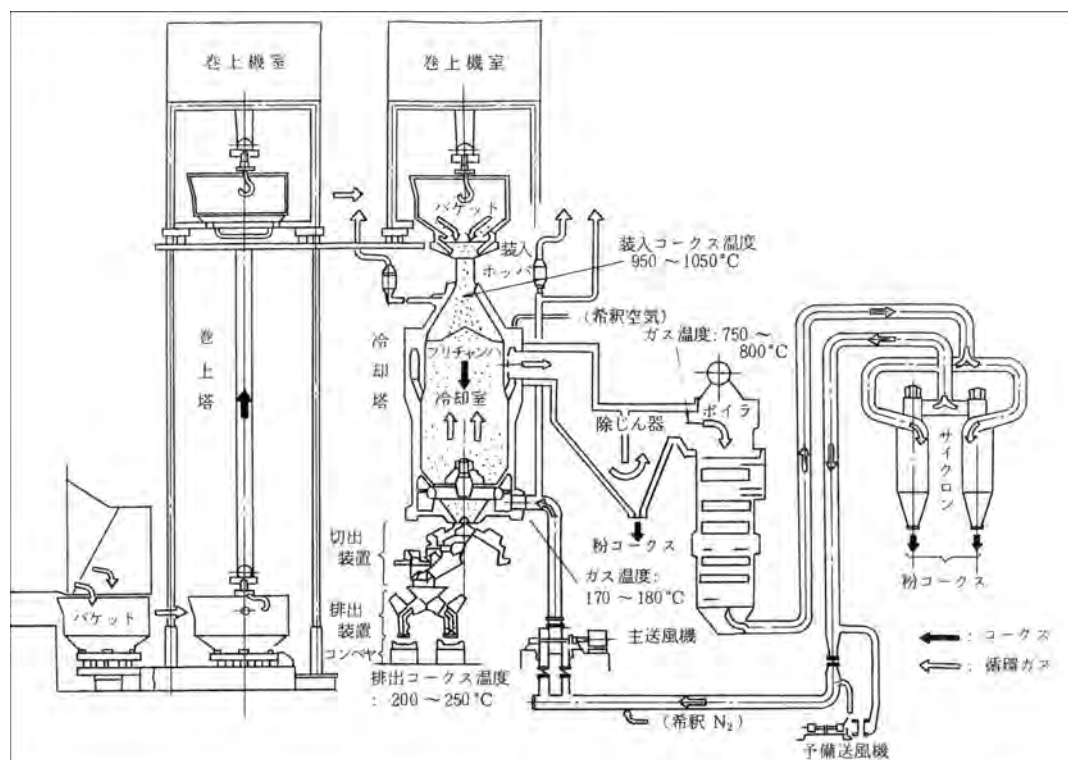


図 7.3 CDQ 設備系統図の例⁴⁾

これにより CDQ 操業時にコークス炉側の都合で赤熱コークスの供給が短時間中断されても、冷却コークスの切出しを中止することなくボイラー入熱の安定化を図る事ができる。蒸気発生量、熱回収率はコークス炉の運転方法と CDQ の運転方法によって大きく変動することが技術課題となる。即ち、コークス炉のフリー温度、置時間に変化すれば CDQ 投入時のコークス温度が変動し冷却コークスの切出速度や循環ガス量により蒸気発生源単位が変動する。従って、コークス炉と CDQ の運転方法を如何に効率的に連動運転させるか、循環ガスの組成管理と余剰循環ガスの回収方法、大型コークス炉に対応した大型 CDQ の設備構造、耐火レンガの改善など各社において改善が積み重ねられた。

③ 焼結クーラー廃熱回収設備

焼結工場は高炉に次ぐエネルギー多消費部門である。図 7.4 に示すように消費熱量の約 26%が焼結鉱の

顕熱として、23%が主排気ガス顕熱として排出されている。従って、焼結クーラーの排熱回収設備及び主排気ガスの顕熱回収設備が開発実用化された。

焼結クーラーでは焼結鉱は順次強制的に冷却されるので、特に上流部では 400°C 近い高温廃熱を回収することができるので排熱を自工程の点火炉燃焼用空気の予熱や点火前原料の予熱に活用する予熱焼結法（新日鉄室蘭 6 号焼結機）として回収する方法が開発された。焼結クーラー排熱回収は蒸気回収、熱水発電回収など種々の回収方式が各所で選択された。

大型主排気ガス顕熱回収は昭和 55 年（1981）に新日鉄大分製鉄所で実機化された。一例として図 7.5 に焼結クーラー廃熱回収設備の系統図を示す。

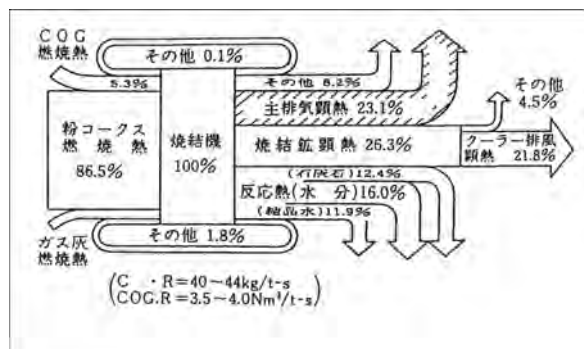


図 7.4 焼結プロセスの熱バランス

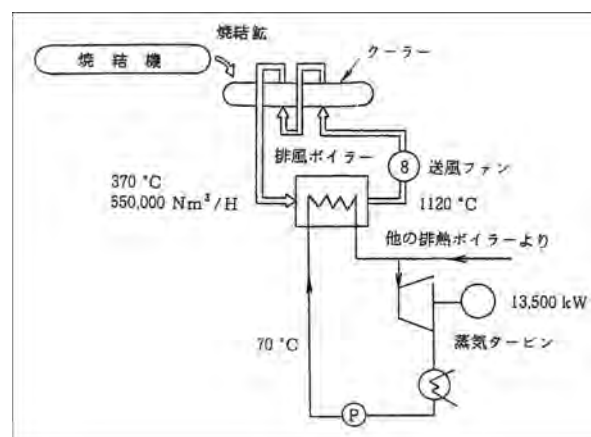


図 7.5 焼結クーラーの廃熱回収設備系統図
(住金と歌山 4 焼結) の例

④ 熱風炉の排熱回収

熱風炉の燃焼排ガスは平均 250℃の顕熱を有している。この排熱を自工程の熱風炉の燃焼用空気予熱に回収利用するものである。

熱交換方式には伝熱エレメント回転型、固定プレート型、熱媒体循環型が実用化されている。伝熱エレメント回転型は回転型熱交換器で伝熱エレメントが回転して熱交換を実施する方式であり、固定プレート型は排ガスと空気が直交流して熱交換する方式、熱媒体循環型は熱媒体を使用して煙道排ガスの熱を回収してこれを燃焼用空気に熱交換する方式で熱交換器の置くスペースに制限ある場合に適している。

7.2 微粉炭吹き込み操業

7.2.1 オールコークス操業

第2次石油危機における重油価格の高騰は一時的には高炉のオールコークス化を促進したが、高炉のオールコークス操業は単なる補助燃料の中止に止まるものでなく高炉の複合送風技術で確立した低還元材比型の操業思想の原点の変更を余儀なくするものであった。即ち、石炭由来のコークス炉ガスの価格が石油エネルギー等価で評価されることになるので、製鉄所によってはコスト的に有利な高還元材比操業が指向されコークス炉ガス、高炉ガスを増産して下工程の加熱炉や発電所の脱石油化が促進された。しかし、高炉本来の役割は効率的で安定な高出銑、低還元材比操業の推進であり、コークス炉の高稼働率操業は炉寿命にも大きく影響することから補助燃料として微粉炭を吹込む方法が検討された。石油市場価格の高騰は製鉄用原料炭市場にも波及しており高炉、コークス炉での安価な一

般炭や非微粉炭の使用がこの時期から注目の的となった。高炉での微粉炭吹き込みは強粘結炭調達を中心とした原料炭購買戦略の転換をもたらす画期的な端緒となった。

微粉炭吹き込み操業はわが国では昭和56年(1981)に新日鉄大分第1高炉に導入され、昭和61年(1986)には国内高炉の50%の16基、昭和平成8年(1996)に25基、平成10年(1998)に国内全ての高炉に微粉炭吹き込み操業が普及した。

7.2.2 高炉の微粉炭吹き込み⁵⁾

高炉の微粉炭吹き込みは1960年代にアメリカ、英国、ベルギー、ソ連等で試験研究が実施されて微粉炭の機械輸送方式から空気輸送方式による搬送、分配技術が発展した。代表的な高炉羽口への微粉炭供給方式としてはBabcock / ARMCO方式、Petrocarb方式、その他の方式があり、表7.1に各吹き込み方式の特徴を示した。

各方式の大きな違いは分配配送方式にある。羽口毎の分配をフィードタンク出口で行うか、ディストリビューターで行うかに大別される。フィードタンク出口で行う方式にはフィードタンクで加圧押出されるデンスフェースの微粉炭を搬送気体の圧力や流量で制御して、羽口毎の微粉炭流量をコントロールする圧空方式とスクリュューフィーダーで機械的に切出す方式の2通りがある。一方、ディストリビューターで分配する方式は羽口毎に微粉炭量を等圧損で均等分配するシステムであるが、等圧損を得る方法において2通りの方法がある。ARMCO方式では各枝管の圧損差を0とするように配管長をシンメトリックに設計する。このためディストリビューターを高炉槽上に設置する。

表 7.1 微粉炭吹き込み方式の比較⁵⁾

法式名	分配/配送法	気送濃度	流速	支管流量制御	適用	設備費
PetroCarb	Feed tank より直接 羽口別に配管気送	低	高	キャリヤーガス圧・量 (Down take)	National Steel 神鋼(Kobe Steel) NKK	中
デンカ		低	高	同上(up take)	川鉄	中
Kuettner		高	低	同上+流量計	Thyssen	大
旧 PW		中	低	Rotary Valve	Dunkerque	中
Simon Macawber		低	高	Coal Pump	Scunthorpe	大
ARMCO	Feed Tank →	低	高	等圧損配管均等分配	新日鐵 Hoogovens	小
新 PW	Main pipe 経由 →	高	低	絞加圧損配管均等分配	Sidmar, Solisc Fos, NK	小
Klockner	Distributor →	高	低	同上	Dunkerque, Taranto	小
住金	羽口	低	高	Rotary Feeder+ 等圧損(One way)分配	住金	中

新 PW、Klockner 方式は出側に絞り機構を設けて高圧損部を作り、配管長さで生じる圧損差を無視し得るようにして均一分配流を確保する。従ってディストリビューターの設置場所は低所でよいが搬送気体の元圧を高める必要がある。各々の方式によって石炭の気送濃度や流速が異なるので配管磨耗、脈動燃焼、安全性などの使用要件を考慮して選択される。

ARMCO 方式はフィードタンクからパイプを経由してディストリビューター（分配器）に配送された微粉炭はディストリビューターの分配機能によって各羽口に均等に分配されるが、Petrocarb 方式の場合は羽口毎にキャリアーガスを用いて個々に供給されるところに特徴がある。わが国で最初に導入した新日鉄では ARMCO 方式を選択した。米国 ARMCO 社では 1960 年初頭 Ashland 製鉄所の出鉄能力拡大対策として微粉炭吹き込み操作が検討され Babcock 社との共同開発の結果、1966 年に Bellefonte 高炉、次いで Amand 高炉に導入された。種々の改善を経て昭和 48 年(1973)以降 80kg / t の安定吹込操作を継続していた実績を評価して、大分製鉄所では ARMCO 方式を導入している。

ARMCO 方式は、①微粉炭の高圧圧送ラインに機械的回転部分がないこと、②微粉炭の羽口分配については流体の幾何学的流れの特性を活用したディストリビューターを高炉槽上部に設置して各羽口に均等分配すること、③微粉炭の搬送管内流速をフレーム伝播速度以上に維持し微粉炭の堆積が生じない構造によって火災、爆発に対する安全設計となっていること、④シ

ステムがダウンした場合に高炉の安定操作の継続を配慮した設計となっていることなどが高く評価された。

実機化に当たっては大分製鉄所第 1 高炉が 4000m³ 大型高圧高炉であり適用に当たっては微粉炭燃焼試験炉での各種試験、使用石炭銘柄の粉碎特性の把握、高圧操作での搬送と制御などの設計条件を確認するためのデモプラント試験、高炉羽口やレースウェイ近傍での燃焼性を調査のため羽口一本テストなど周到な準備をして得られた知見を実機設計に反映した。最大の懸念課題とされた点は、ディストリビューター方式で大型高炉 38 本へ脈動流なく均等分配できるかと言う課題であったが、実機サイズモデルでの検証の結果微粉炭流量の羽口間バラツキが 2% 以内に収まる事が確認されて実用化の見通しが立った。

2) 設備と操業

大分第 1 高炉での微粉炭吹き込み設備は昭和 56 年(1981)に稼動を開始したが、全体の設備構成を図 7.6 に示した。

微粉炭設備の場合は重油と異なって流量の制御範囲が狭いので吹き込み設備の常用範囲を厳密に選定する必要があり 80kg/t を前提として設計された。設備設計として①粉碎系統は 2 系統とし貯蔵タンク、フィードタンク容量は粉碎系統が故障しても高炉の減鉄、休風準備の体制が取れるまでの操業継続が可能な容量とすること、②搬送ラインは微粉炭濃度の濃いデンスフェースラインと濃度の薄いダイリュートフェースラインとからなり均質な搬送と低圧損輸送を実現すること、③貯蔵タンクから羽口間の高圧ラインには遮断弁

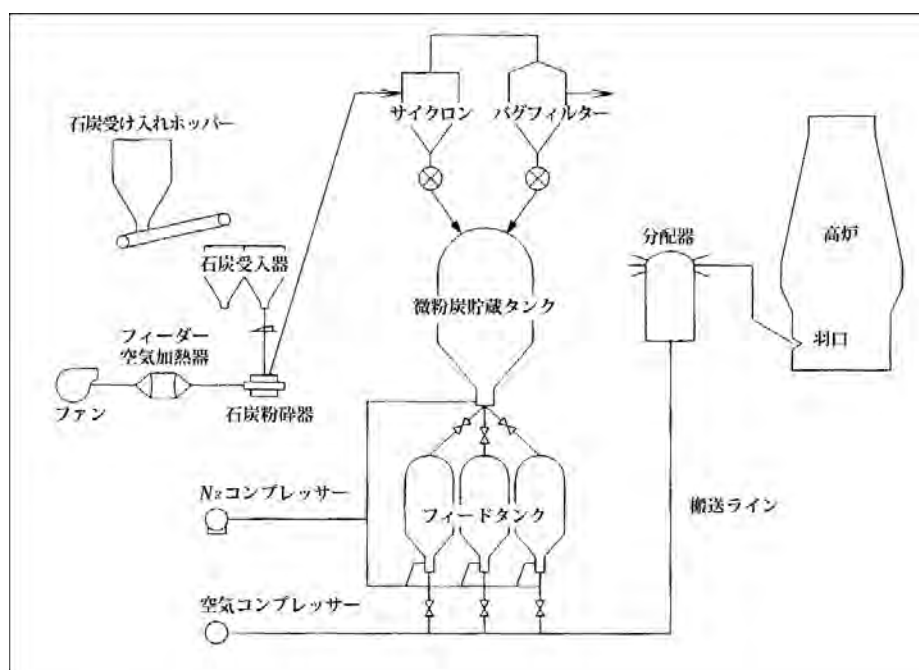


図 7.6 微粉炭設備構成フロー

以外の可動部分がなく設備の高稼働率の維持と整備が容易であることを特徴としている。

微粉炭吹き込み操業は、酸素、送風湿度、送風温度などの送風条件と組み合わせた複合送風のメリットを活かして高炉の安定化、効率化、省資源・省エネルギーの武器として十分な力を発揮した。

国内での微粉炭設備の普及状況について述べると昭和57年(1982)に合同製鉄での独自開発方式が実機化、次いで米国 Petrocarb 方式を導入した神戸製鋼が昭和58年(1983)に Kobelco 方式として加古川第2高炉、神戸第3高炉で設置した。昭和59年(1984)年に新日鉄名古屋第1高炉、日新製鋼呉第2高炉に ARMC0 方式が実機化された。NKK は Kobelco 方式、川崎製鉄は川鉄デンカ方式、住金は独自方式を採用した。昭和61年(1986)には高炉の50%の16基、平成10年(1998)には国内で稼動する全高炉で微粉炭吹き込み設備が装備された。

ヨーロッパにおいても1960年代に小型高炉で実績があり環境対策やコークス炉の寿命延長対策を目的として大型高炉での吹き込みが進められ1983年に Hoogovens-Ijmuiden で ARMC0 方式が導入され、1984年に BSC の Scunthorpe では SimonMacawber 方式、1983年に Sollac の Dunkerque 工場で PW 方式と Klockner 方式で、1985年には Thyssen の Hamborn 高炉、次いで1987年には Schwelgern の大型高炉に Kuettner 方式、ILVA の Tranto 第5高炉

には Klockner 方式の設備が相次いで導入された。

7.2.3 高微粉炭吹き込み操業

わが国における補助燃料比(重油比、微粉炭比)とコークス比の実績推移を他の操業諸元と共に図7.7に示したが、昭和56年(1981)年以降の微粉炭吹き込み量の増加と共にコークス比の低減が重油吹き込みの場合に比較して大きいことが分かる。微粉炭吹き込み操業は、①コークス炉の稼働率を低下させてコークス炉の寿命延長を図る、②コークス炉での強粘結炭の使用削減をはかる、③操業の安定化、低コークス比操業により銑鉄コストを削減するなどの目的から高微粉炭操業が追求された。この結果、微粉炭吹き込みは着実に増加し平成10年(1998)年には平均130kg/t、コークス比370kg/tに達し以降横ばい状態となっている。しかし、安定な高微粉炭比操業技術確立するには高炉技術の一層の革新を要求するものであり独創的な操業手段を創出する「呼び水」になった。

重油吹き込み操業の場合にはレースウエーで重油がガス化することが必要要件であり、そのためには約110kg/t程度が重油吹き込み量の限界とされ、コークス比は400kg/t以下とすることは困難であった。一方、微粉炭吹き込み操業の場合にはレースウエーで微粉炭がガス化しなくても未燃焼炭は粉コークスとして機能するので多量吹き込みが可能となる。このため200kg/t以上の吹き込みも可能でコークス比を大幅に低

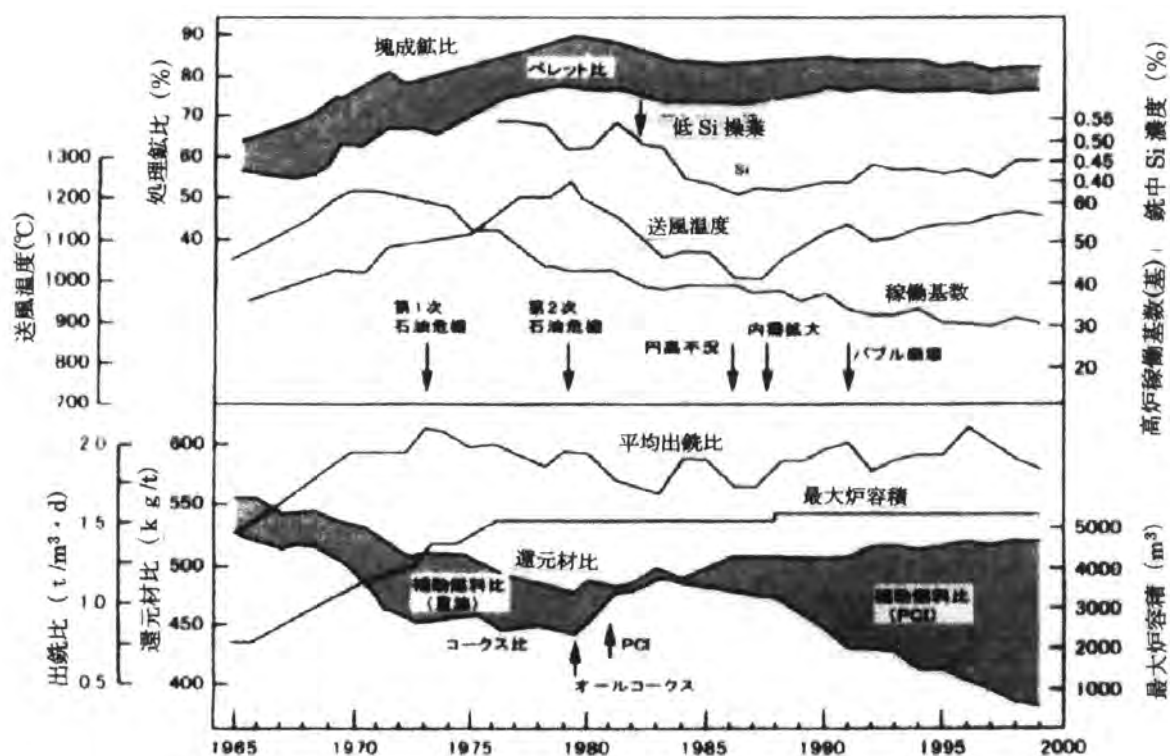


図7.7 わが国の燃料吹き込み(重油、微粉炭比)とコークス比の推移

下させることが期待できる。

微粉炭の多量吹き込み操作はコークスの不足する製鉄所を中心に追及された。わが国では平成6年(1994)に神戸製鋼加古川第1高炉で200kg/t、平成10年(1998)に加古川第1高炉、NKK福山第3高炉で250kg/t、外国に於いてもHoogovens-IJmuiden第6高炉、中国宝山製鉄所第1高炉、韓国POSCO第3高炉では200 kg /tを越える操業成績が報告された。高微粉炭操業を安定に長期継続するためには、以下の技術課題を克服する必要がある。

1) 微粉炭によってコークスを代替するので炉内の鉱石／コークス比率(O/C と称する)が著しく高くなることである。通気性の安定を図るためにコークスの強度を高め、装入物分布制御技術の革新を図って炉内の半径方向の O/C 分布の適正化、安定した中心流操業を確保する必要がある。

2) 微粉炭が羽口レースウエーで未燃焼となったバルーン状のチャー(微粉コークス)が炉内で有効に消化されずに炉芯部や炉壁部に蓄積して不活性ゾーンを形成し通気性を阻害しない対策が必要となる。微粉炭がレースウエーで酸素と優先的に燃焼できるような微粉炭の吹き込み方法(炭種選択、粉碎粒度、吹込みバーナー配置)の改善や不活性ゾーンの生成を防止する総合的な操業設計が求められる。

高微粉炭比操業では、炉内の O/C が高くなるので安定した中心流操業を維持するための革新技術として「高炉のコークス中心装入技術」⁶⁾が神戸製鋼で開発された。

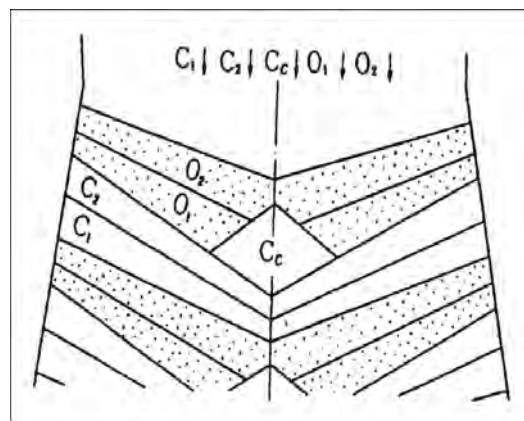


図 7.8 コークス中心装入法⁶⁾

コークス中心装入法は図 7.8 に示すように、高炉の中心部にコークス C_c を装入して鉱石層 (O_1, O_2) の中心部への流れ込みを堰止めて中心領域の O/C を局所的に低下させる装入法であり、中心ガス流の安定化と同時に炉芯部の大塊コークスによる炉芯の新陳代謝を促進し、炉芯部を活性に維持することを目的とした装入方法である。高微粉炭操業での技術課題である上記 1)、2) を同時に解消する優れた操業手段である。神戸製鋼加古川第2高炉での実証試験で $C_1 \downarrow C_2 \downarrow C_c \downarrow O_1 \downarrow O_2 \downarrow$ 装入方式で中心装入コークス (C_c) の装入量を 30kg /チャージから 150kg /チャージまでの範囲で段階的に増加させた結果、逆V型融着帯形状の温度パターンへと変化し操業の安定化が確認された。

昭和60年(1987)に加古川第2高炉で図 7.9 に示す設備を実機化、昭和63年(1988)火入れされた神戸製鋼加古川第1高炉(4,550m³)にもコークス中心装入

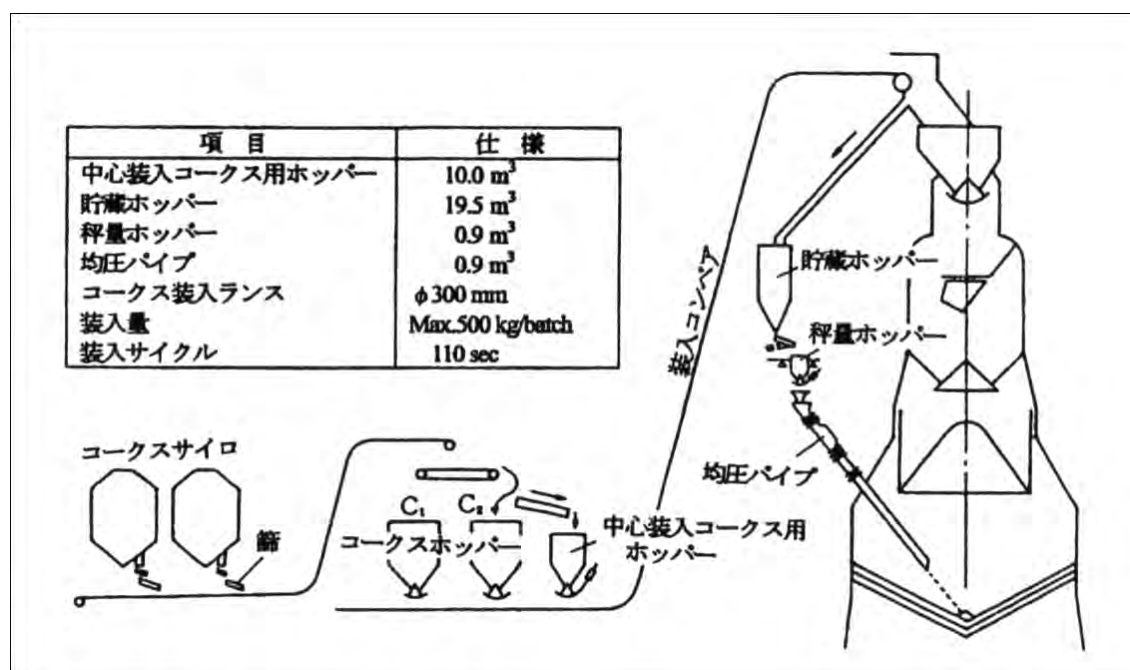


図 7.9 コークス中心装入設備構成図⁷⁾

法が導入された。当該技術は他社高炉にも技術移転され高微粉炭吹き込み操業での有力な装入物分布制御手段として広く適用されている。

ベルレス高炉においても巡回シュートを垂直装入可能のように問題点となる設備改善が行われて実用化されている。

次に、羽口先での微粉炭燃焼性の改善対策として、微粉炭燃焼率が微粉炭ランス先端部の微粉炭粒子の分散性によって支配されているとしてNKKでは偏芯ダブルランスを開発し福山製鉄所第4高炉で平成6年(1994)に行った微粉炭比230kg/t試験操業で実機化した。川崎製鉄千葉第6高炉では高乱流バーナーを開発実用化している。神戸製鋼では羽口の形状を変更して微粉炭吹き込み位置を最縮流部より炉内側に設置することにより、微粉炭の羽口内でのガス化率の変動がミニマム化された結果、風圧指数、装入物降下速度の変動が少なくなり操業が安定化したと報告している。

7.3 高炉制御技術の進展

7.3.1 高炉解体調査⁸⁾

わが国では高度成長期に新規立地での大型高炉が建設され従来の小型高炉が休止された。例えば八幡製鉄所では戸畑地区、堺地区、君津地区での大型高炉の稼働に伴い明治以来歴史的役割を果たしてきた八幡製鉄所東田、洞岡地区の高炉群が昭和40年代に逐次休止した。

NKKでは福山、扇島製鉄所関連工事の完成に伴い、

京浜製鉄所の既存地区で稼働した川崎第2～4高炉、鶴見第1～2高炉が昭和46年から昭和51年にかけて休止した。

高炉炉内での反応挙動はブラックボックスとされ不明な点が多く残っており、大型高炉を安定に操業し、コークスや焼結鉱の品質改善を図る上で高炉内での反応挙動や移動現象を正確に知ることが不可欠であった。このため小型高炉の休止を絶好の機会と捉えて解体調査が実施された。

高炉解体調査とは高炉の装入物を充填した状態で吹卸して炉内装入物を散水又は窒素冷却によって常温まで冷却する。炉の上部から炉底迄の鉱石、コークスの分布状況、還元の進行状況を掘削によって丁寧に観察、適切に炉内試料を採取して化学分析や各種の物理測定を行い、ブラックボックスとされた高炉内の反応プロセスを解明すること目的とした調査である。

高炉の解体調査は1957年にアメリカの鉱山局の試験高炉、次いで1964年にはソ連のEnakievo小型高炉(426m³)でN₂冷却後に解体調査が実施されている。わが国では昭和43年(1968)に日本鋼管の試験高炉、八幡製鉄所東田5高炉をはじめとして試験高炉4回、昭和50年初頭までに実高炉11基の解体調査が実施された。更に昭和52年(1977)から6年間にわたって実施された産学共同研究「高炉反応部会」⁹⁾での討議、これを契機とした検出端の開発やモデル実験が精力的に推進された。

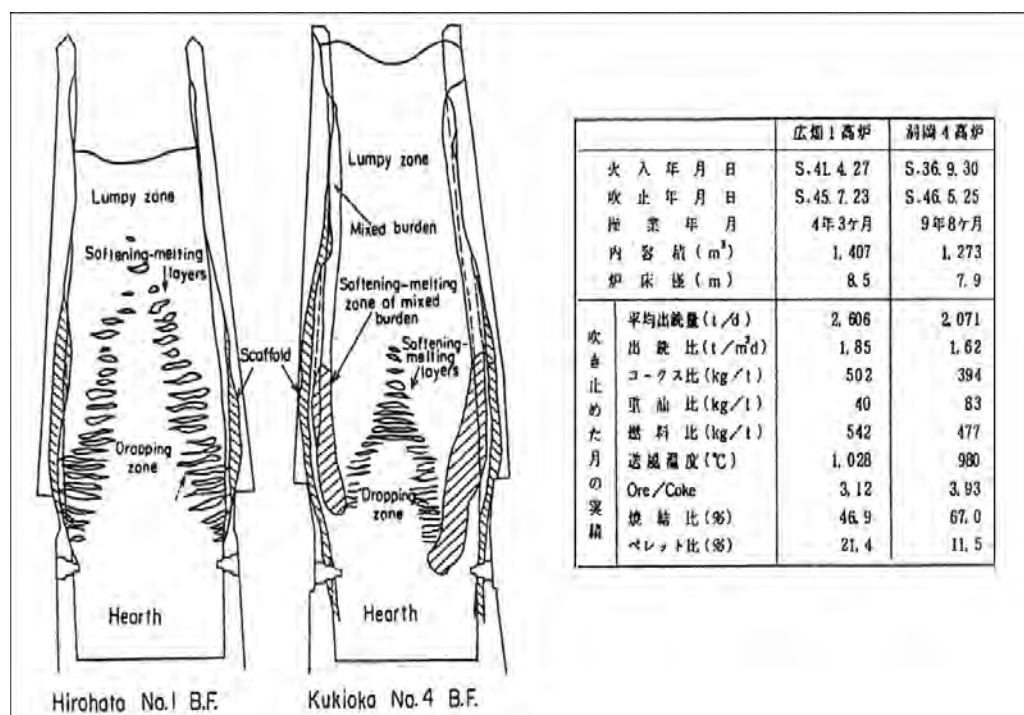


図 7.10 高炉解体調査結果の事例⁸⁾

この結果、今までブラックボックスであった高炉内での鉄鉱石の還元、軟化、融着、滴下に至る反応挙動やコークスの反応挙動及び移動現象が明らかにされた。なかんずく、融着帯の存在とその機能に関する知見は、その後のわが国の高炉制御技術の進歩に計り知れない大きな影響を与えた。

図 7.10 に融着帯形状の一例を示したが広畑第 1 高炉の事例は高出鉄比操業の事例で融着層の頂層が高い位置にある典型的な中心流操業の例であり、洞岡第 4 高炉の事例は低還元材比操業での事例で、中間部に混合層が存在する融着帯形状の事例である。

高炉の解体調査の知見、それを契機として発展した高炉検出端の開発（表 7.2 参照）やモデル研究が我が国の高炉技術発展の節目となる役割を果たした。種々の炉内検出端が標準装備となり、それらの検出端情報を有効に活用した制御モデルや操業管理基準が設定され、吹抜けなどの炉況異常を事前に回避し操業の安定性を高めた。同時に、鉄鉱石類の還元・融着・溶解挙動やコークスの炉内での破壊機構や移動現象が明らかになり、鉱石、焼結鉱、コークスの品質改善技術が著しく発展した。ブラックボックスとされていた高炉操業の可視化、標準化が著しく進展し、現場に定着したことが我が国の技術差別化の原点となった。

7.3.2 高炉制御技術の進展と「見える化」

高炉操業でオペレーターが選択しうる操作因子は、①装入物分布管理、②装入物性状管理、③送風条件設定管理、④出鉄滓の管理、⑤設備の修理管理等であり、高炉が安定稼動するために制御されねばならない主要な被制御因子としては、①高炉の塊状帯での安定なガス流れと装入物降下、②安定な中心流操業を担保する融着帯の形状、③滴下帯、活性コークス帯、レースウェイ部での溶鉄滓・ガスの通気通液性、④炉芯部、湯溜部の熱保存と通液性である。これらの被制御因子の状況を各種検出端を使用して検出してオペレーターが操作因子を上手に駆使して制御することによって高炉は安定に操業される。操作因子とブラックボックスとされた被制御因子との相互関連図の例を図 7.11 に示した。従来ブラックボックスとされた被制御因子の状況を計測するために各種検出端の開発が同時期に精力的に実施され標準装備化された。高炉操業診断用の検出端と検出方法の例を表 7.2 に示した。

高炉操業の「見える化」は、従来ブラックボックスの典型とされた高炉炉内状況を客観的或いは直感的に表示するものである。高炉の解体調査や各種検出端の開発、反応モデルや熱収支モデル等の開発と相まって開発が進められ、炉内状況イメージや操業推移を

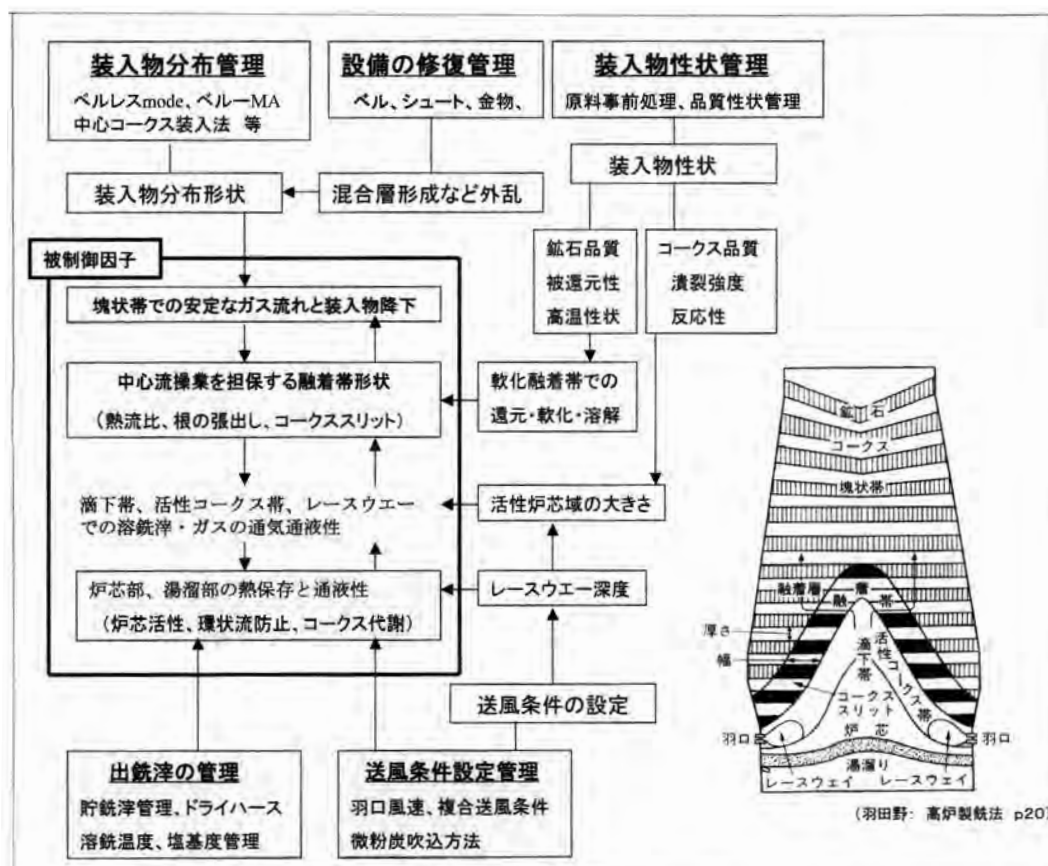


図 7.11 高炉操作因子と被制御因子との連関

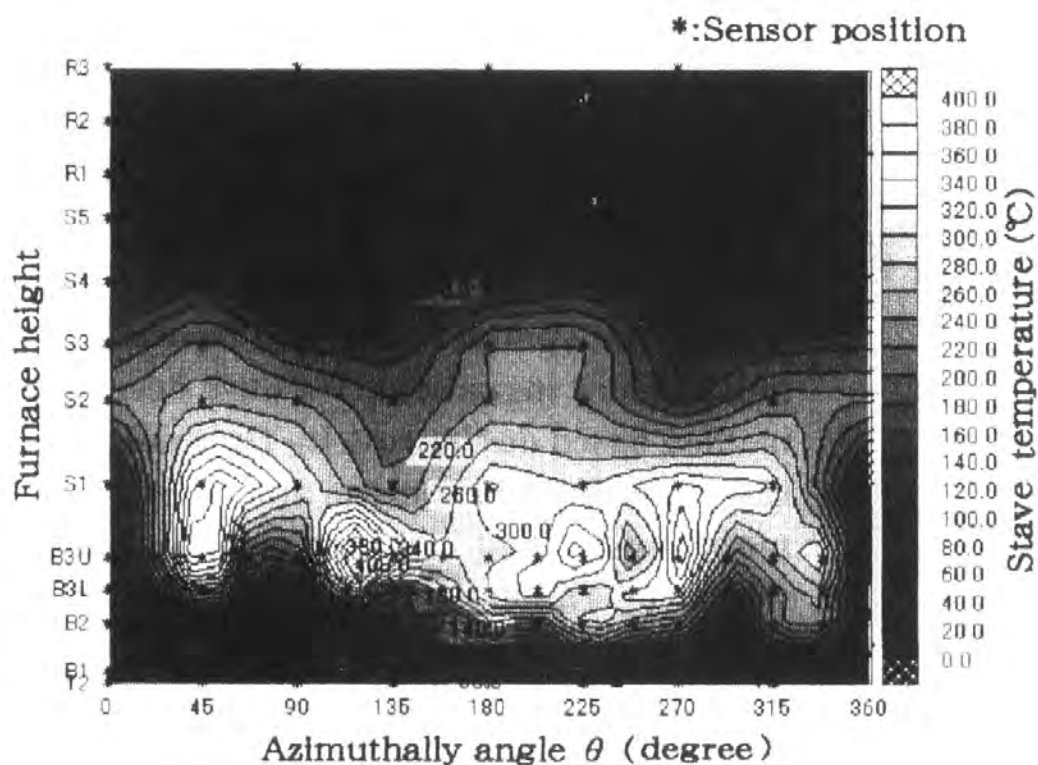


図 7.12 ステーブ温度の 2 次元可視化例

CRT、大型画面を使用して客観的に表示することが可能となった。2000 年前後から IT 技術や計算機容量の拡大、データベースの充実化によって「見える化」機能が飛躍的にレベルアップしている¹⁰⁾。

「見える化」は高炉の操業情報の単なる表示に留まらず、炉内で生じている現象をモデル化・イメージ化して知識情報として関係者が共有化するところに意義があり、課題の把握、解析による予測、制御アクションの選択などの問題解決型のツールとして機能している。

新日鉄での具体的な事例を紹介する。高炉には非常に多くのセンサーが取り付けられているが、全社の高

炉について検出端の挿入位置の違いを補完する仕組みを組み込み、これらの情報を多次元（周方向、高さ方向、時間推移）情報として可視化させる全社システムを開発して戦力化している（VENUS と称する）¹⁰⁾。例えば、図 7.12 はステーブ温度の等温線図を作図して視覚化したもので高炉方向、高さ方向の炉壁の熱負荷分布を知ることができ、これらの時系列推移情報や過去の類似情報などを組み合わせて、炉内のガス流れ異常の早期把握や融着帯根部の推定を行ない操業改善のツールとして活用している。

表 7.2 高炉の検出端と検出方法

計測対象物	高炉操業診断用の各種検出端と検出方法
融着帯の直接検知	①TDR (Time Domain Refractometer/NKK 伝導性ケーブルにステップ状パルスを送り、先端部よりの反射波の戻る時間を計測して融着帯位置を直接検出する/扇島第2高炉) ②垂直ゾンデ (フレキシブル垂直ゾンデにファイバースコープを搭載して融着帯を直接観察/新日鉄室蘭、神戸製鋼加古川第2高炉他) ③炉腹ゾンデ (水冷式の剛体型ゾンデを炉腹部から挿入して融着帯根部のイメージファイバーによる直接観察/新日鉄大分第2高炉)
高炉塊状帯部の半径方向のガス温度、ガス成分の計測	①炉頂ゾンデ、②シャフト上部ゾンデ、③中部ゾンデ、④下部ゾンデ (水冷式のゾンデをシャフト上、中、下段で炉中心部まで挿入して、半径方向の温度、ガス成分を計測する/各社標準装備)、
装入物表面の形状計測、装入物表面の温度パターンの計測	①プロフィールメーター (半径方向の装入物表面までの深度距離を測定して装入物表面の形状、傾斜角を計測する。方式として機械サウンディング方式、レーザー方式、マイクロ波方式がある/各社標準装備) ②サーモビューア (装入物表面の温度分布パターンを計測/NKK福山、川崎製鉄水島、新日鉄君津など)
羽口レースウエーの温度計測、半径方向のコークス採取	①羽口コークスサンプラー (休風中にサンプラーを炉内に挿入して炉内半径方向のコークス、残留銑滓を採取/各社標準装備) ②羽口ゾンデ (操業中の羽口先のガス温度の計測、ガス成分を分析/各社)
シャフト部の圧力、温度の異常変動の直接計測	①シャフト微圧計、②シャフト静圧差圧計、③スキンプロー温度計 (シャフト部での棚吊り、吹き抜け、フラッディングなどの異常現象を早期検出する目的で設置/各社標準装備)
シャフト、朝顔部、湯溜部の壁温度を測定して熱負荷分布を計測	①シャフト、朝顔部の壁温度計、ステーブ温度計、②炉底壁温度計 (炉壁側壁部の温度を計測して高炉高さ方向、円周方向の炉壁熱負荷分布を計測/各社標準装備)
溶銑温度の連続計測	①光ファイバーを使用した放射温度計 (光ファイバーを溶銑中に浸漬させ入射光を光ファイバーで放射温度計に伝送して温度計測する。非接触型での被測定物近傍での熱放散誤差を回避/NKK)
羽口冷却水の入排水差流量の計測	①電磁流量計+差流量検出 (羽口冷却水の入排水流量差を精密に計測して羽口破損による漏水の有無を検出する/各社標準装備)

引用文献

- 山本哲也 第71回西山記念技術講座 (1980) p63
- 平田 賢 第80, 81回陣野友久 第80, 81回西山記念技術講座 (1982) p109
- 秋元栄治 第146回西山記念技術講座 (1993) p125
- 陣野友久 第80, 81回西山記念技術講座 (1982) p109
- 和栗真次郎 ふえらむ vol.8 (2003) No6 p23 ~ 31
- 清水正賢、木村吉雄、稲葉晋一、堀隆一、桑野恵二、野間文雄 神戸製鋼技法 Vol. 41 (1991) p11 稲葉晋一 ふえらむ vol.9 (2004) 10 p31 ~ 38
- 門口維人、後藤哲也、伊藤良二、矢場田武、清水正賢 神戸製鋼技法 Vol. 46 (1996) p3
- 神原健二郎、萩原友郎、重見彰利、近藤真一、金山有治、若林敬一、平本信義
- 鉄と鋼 Vol62 (1976) 3 p75、下村康人、西川潔、有野俊介、片山力、肥田行博、磯山正 鉄と鋼 Vol62 (1976) 3 p87、佐々木稔、斧勝也、鈴木明、奥野嘉雄、吉沢謙一、中村隆 鉄と鋼 Vol62 (1976) 3 p99
- 日本鉄鋼協会鉄鋼基礎研究部会高炉内反応部会 (高炉内現象とその解析) 福島勤、下田輝久 解体調査の総合検討結果 p35
- 松崎真六、伊藤雅浩、内藤誠章、柿内一元、磯部誠 など 新日鉄技法 第384 p89 ~ 94
- NIPPON・STEEL・MONTHLY「先進のその先へシリーズ」vol 5、vol 9

8 | 産業構造の再構築と世界的再編

8.1 高コスト構造の抜本的改革

8.1.1 中長期経営計画の策定と再編の成果

わが国の鉄鋼業は昭和60年（1985）のプラザ合意を起点とした円高の影響で国内、輸出とも鉄鋼需要は大きく減退し、粗鋼生産も9,828万tと第1次石油危機以来の最低水準を記録するなど未曾有の難局に直面した。鉄鋼各社は昭和61年（1986）から62年（1987）

にかけて事業の再構築をかけた抜本的合理化計画を骨子とした中長期経営計画を発表した。

大手6社の概要を表8.1に示した。

いずれも我が国の粗鋼生産規模9,000万t、為替レート1ドル150円を前提として、①生産拠点の集約、設備の休廃止、要員合理化によるコスト削減を図り国際競争力を強化すること、②新規事業の積極的展開によって収益構造の再構築を骨子とするものであった。急激な円高により労働単価は基軸通貨であるドルペー

表 8.1 鉄鋼大手6社の中長期経営計画の概要¹⁾

新日本製鉄 87～90年度	生産体制の集約化	①稼働中の高炉12基中5基を休止、1基を再稼働 ②圧延設備を集約
	要員合理化	90年度までに製鉄事業の人員を19,000人圧縮 (86年度末：製鉄事業人員 50,000人)
	新規事業分野等	①95年度事業規模目標 全社で4兆円 ②エレクトロニクス等を充実させ鉄鋼は50%以下に ③新規事業分野で6,000人の雇用吸収
日本鋼管 86～90年度	生産体制の集約化	①京浜の高炉1基（現在稼働2基）を休止 ②京浜の鋼管設備を休止
	要員合理化	90年度末までに鉄鋼部門の人員を約6,000人圧縮 (86年度末：鉄鋼部門人員 19,400人)
	新規事業分野等	セラミック、エレクトロニクス等の拡大により新材料事業部の事業規模を90年度に1,000億円近くに
川崎製鉄 87～88年度	生産体制の集約化	千葉の厚板工場、製鋼工場等を休止
	要員合理化	88年度までに鉄鋼部門の人員を5,300人圧縮 (86年度末鉄鋼部門人員 19,100人)
	新規事業分野等	サービス関連等の事業拡充により雇用吸収
住友金属工業 86～88年度	生産体制の集約化	和歌山の高炉1基（現在稼働3基）を休止 和歌山の厚板設備、尼崎の継目無鋼管設備を休止
	要員合理化	86～88年度に鉄鋼部門の要員を6,000人圧縮 (85年度末：鉄鋼部門人員 25,200人)
	新規事業分野等	エレクトロニクス、新素材等非鉄鋼部門の売上高を現在の600億円から88年度900億円に
神戸製鋼所 86～88年度	生産体制の集約化	尼崎の高炉1基（現在稼働1基）を休止
	要員合理化	88年度までに全社の要員を6,000人圧縮 (86年9月：全社人員 28,000人)
	新規事業分野等	新分野、新製品の売上高を現在の1,000億円から89年度3,500億円に
日新製鋼 86～89年度	要員合理化	89年度までに全社の人員を1,700人圧縮 (85年度末：全社人員 8,600人)

出所：通産省「基礎素材産業懇談会中間報告」

スで途上国の十数倍に相当する水準に達しており、思い切った設備集約と要員合理化により鉄鋼部門の人員の3割に当たる4万人以上の合理化を図る過去にない厳しい内容であった。

製鉄部門の主要な技術取組みとして、①生産設備拠点の集約を含む焼結、高炉基数の削減と労働生産性の向上、②資源（鉱石、石炭）に対する弾力性の強化、安価原料資源の多量使用技術の開発、③省エネルギー、地球環境問題対応力の強化などをキーワードとする国際競争力の強化であった。設備集約化の方法は高炉の製造拠点の集約化を図るもの、高炉基数の集約を図るもの、分社化による対応など各社の事情によって異なるが1990年前後のバブル経済の終焉に伴う鉄鋼需要の減退に呼応して着実に実行された。

一方、21世紀に入り中国、インドを中心とする途上国の高度成長による鉄鋼需要の拡大に対応した鉄鋼輸出量の増加、粗鋼能力拡大のニーズが生まれた。世界的な粗鋼量の急拡大に対するわが国の戦略として高炉基数を集約した状態で内容積の一層の拡大を図ることとした。長い経済低迷にあって投資抑制の一端として高炉の長寿命化を推進してきた多くの高炉が将に改修時期を迎えていた。この絶好の機会を利して5000^m3超の大型高炉比率を増加させ、これに先端技術や情報技術を装備して一層の合理化、効率化を進めた。

8.1.2 高炉、焼結部門の生産設備の合理化

この間の高炉操業の技術指標の変転を把握するため、平成2年（1990）と平成15年（2003）の高炉の主要操業指標を対比して表8.2に示した。

平成2年（1990）は中長期経営計画の推進途上にあったがバブル経済の影響で高炉休止の延期を図った時期に相当し、高炉は未だ37基が稼動しており年間出鉄量は80百万tと高い水準であった。しかし、平成15年（2003）の高炉基数は当初合理化計画の29基まで

集約化されている中で、内容積の拡大、コークス比の低減などの手段によって生産能力は平成2年（1990）を上回り82百万tを維持している。製鉄部門の要員合理化の指定統計がなく把握できないが図8.1から明らかにように大手5社の鉄鋼部門稼動人員は円高前の昭和60年（1985）の15万3千人に対して、8年後の平成5年（1993）度末には関連会社への転籍、出向や新規事業分野への移動などにより9万3千人に大幅に合理化されている。

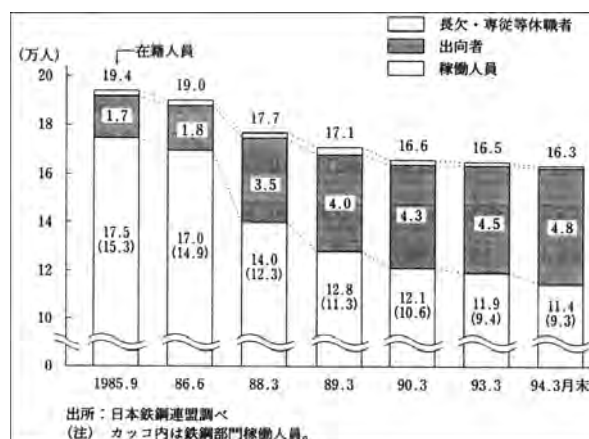


図8.1 鉄鋼部門の要員合理化

製鉄部門では高炉、焼結機の集約による合理化、高炉改修時の機械化合理化、業務集約や多能工化による配置合理化が推進された。

焼結部門の生産構造の改革としては、大型焼結機への生産設備集約、生産率の向上対策、安価原料ソースへの転換が特筆される。表8.3に平成2年（1990）と平成15年（2003）の焼結設備及び操業実績を全国平均値で比較した。

焼結機の稼動基数は33機から25機に集約され平均有効面積は9,017^m2から8,541^m2へ減少しているが、焼結鉱の総生産量は変化せず年産106百万tレベルを維持している。

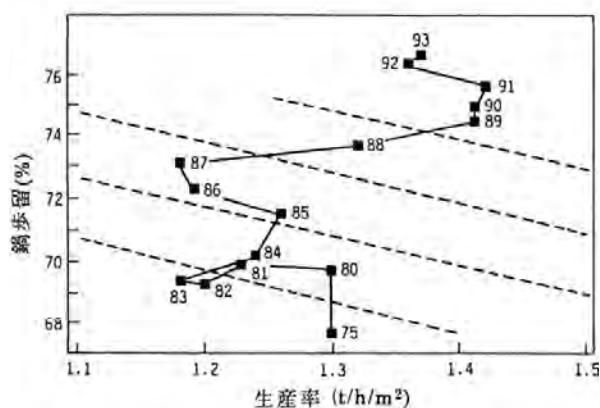
表8.2 高炉操業成績の比較（1990年／2003年）

	1990年（平成2年）	2003年（平成15年）
高炉稼動基数(総内容積 m ³)	37基 (122,997m ³)	29基 (114,017m ³)
平均内容積 (m ³)	3323m ³	3931m ³
年間出鉄量 (t/暦年)	80,144,653 t/年	82,089,710 t/年
平均出鉄比 (t/m ³ ・d)	1.99 t/m ³ ・d	2.04 t/m ³ ・d
平均還元材比 (kg/t)	505	506
平均コークス比 (kg/t)	446	381
平均補助燃料比 (kg/t)	59(微粉炭 51kg/t)	125(微粉炭 125kg/t)
スラグ原単位 (kg/t)	312	287
焼結鉱比/ペレット比%	77.0%/8.0%	73.1%/5.3%

表 8.3 全国焼結機の操業実績比較

項目	1990年(平成2年)	2002年(平成15年)
焼結機稼働基数(基)	33	25
焼結機有効面積(m ²)	9,017	8,541
生産量(千t/年)	106,442	106,496
1日当り生産量(t/d)	9,407	11,671
生産率(t/h/m ²)	1.41	1.46
歩留(%)	90	88.9

一般的に言えば、生産率を増加させれば歩留は2律背反の関係で図8.2²⁾に示した点線に沿って低下するが、造粒強化や原料の装入方法などの設備や操業方法の改善によって高通気・高歩留焼結技術が創出され、1988年以降生産率の改善と同時に歩留の改善も実施された。

図 8.2 生産率と鍋歩留の関係²⁾

この結果、生産設備が集約されても一機あたりの生産量は9,407tから11,671tへと大幅に増加、更に、運転制御室の統合や自動化、システム化によって要員の省力化が進み労働生産性の飛躍的な改善が実現している。

品質面では低SiO₂焼結鉱、高被還元性焼結鉱を製造して高炉下部の高温領域での強度向上を図ることを指向した。常温強度である落下強度、回転強度は若干低下しても高炉操業の安定化に大きく貢献したと評価されている。

各企業の具体的な対策をまとめると、①焼結機本体の拡充として、パレットの拡幅や機長延長による有効面積の拡大、ブローアの増強、サイドウォールの嵩上げ、スタンド支持方式の導入を挙げることができる。②装入方法の改善による通気性向上対策として、装入シュートの改善、通気棒の改造、幅方向の均一化、炭材の上部装入法の改善、③造粒強化対策として、ミキサの増設改造、選択造粒法、分割造粒法、石灰・コークス外装法の実機化、有機バインダーの使用、温水添加による造粒改善などが図られた。

要員合理化対策として焼結機の基数削減による合理

化、焼結操業要員の削減が推進された。後者の例として平成8年(1996)に実施されたNKK福山第4焼結機で実施された無人操業が先駆的である³⁾。福山焼結工場では操業監視センサーの増強、DDC化、4、5号焼結機運転室の統合による要員の効率的運用を図り、突発故障時に対応可能な体制を整えている。定常操業での運転管理システムとして焼成制御システム(BRP)定位置制御、原料水分制御、サージホッパーレベル制御、成分一定制御)の高度化、非定常操業対応として故障対応、自動停止、再起動システムを構築している。運転要員の介在を必要とする作業の中で最大の作業は原料の付着除去作業であるが、操業維持上不可欠な偏析スリットワイヤー付着原料の清掃装置、ミキサの壁に付着、成長、剥離して排出される大塊を除去するための自走式ロボットによる塊抜き取り装置の設置を実施した。その他、ベルトコンベアーの蛇行修正装置、ホッパーの棚吊り防止、ジャンピングスクリーンを採用による篩の目詰防止方法の改善、サンプリング、水分測定の前自動化などを開発導入して粉処理特有の人力介入作業の合理化対策を実施している。この対策によって第4焼結機を無人化とし非定常作業が発生した場合に第5焼結要員による対応を可能とした。

8.2 高炉出鉄能力の上方弾力性の拡大

8.2.1 高炉設備能力の拡大

最近の高炉設備の改善は高炉基数の集約を維持しつつ生産能力の拡大と効率化を図ることである。このためには、①5000m³以上の超大型高炉比率を増加させること、②高炉改修を超短期期間で完了すること、③20年以上の長寿命を担保できる高炉設備を建設すること、④先端技術、情報技術を活用して徹底的な要員合理化と操業高度化を図ること、⑤資源弾力性の高い高炉を建設すること、つまり、世界的な鉄鋼需要や社会環境変化に弾力的に対応可能なコンセプトでの飛躍が追求されてきた。

わが国での5000m³大型高炉は、昭和51年(1976)

の鹿島第3高炉（5050m³）、大分第2高炉（5070m³）の新設に端を発しているが、平成12年（2000）以降の高炉改修、新設での5000m³以上の高炉は表8.4に示したように10基であり、それ以前に行われた5000m³への拡大改修された平成7年改修での加古川第1高炉（5400m³）、平成10年改修での千葉第6高炉（5153m³）を加えると、平成21年度稼動高炉28

基中の12基が5000m³以上となっており、世界に類例のない急速な大型化への加速が実現していることがわかる。

高炉設備技術の高度化について炉容積の拡大、設備の堅牢化、設備の高性能化、改修工期の超短縮化に区分して各社の対策について鉄鋼年鑑（平成17年～19年版）⁴⁾などを参照して表8.5に総括的にまとめた。

表 8.4 5000m³ 以上の高炉建設の推移

火入年	5 0 0 0 m ³ 高炉名
平成7年（1995）	神戸製鋼所加古川第1高炉（5400m ³ ）
平成10年（1998）	JFEスチール千葉第6高炉（5153m ³ ）
平成12年（2000）	
平成13年（2001）	
平成14年（2002）	JFEスチール倉敷第4高炉（5005m ³ ）
平成15年（2003）	新日本製鉄君津第4高炉（5555m ³ ）
平成16年（2004）	新日本製鉄大分第2高炉（5775m ³ ）
	JFEスチール京浜第1高炉（5000m ³ ）
	住友金属工業鹿島第1高炉（5370m ³ ）
平成17年（2005）	JFEスチール福山第5高炉（5500m ³ ）
平成18年（2006）	JFEスチール福山第4高炉（5000m ³ ）
平成19年（2007）	新日本製鉄名古屋第1高炉（5443m ³ ）
	住友金属工業鹿島第3高炉（5370m ³ ）
平成20年（2008）	
平成21年（2009）	新日本製鉄大分第1高炉（5775m ³ ）

表 8.5 2000 年以降の高炉設備の高度化

項目	高炉設備の能力拡大対策
炉容積の拡大	1. 可能な範囲での内容積拡大の実施。改修での拡大は制約が多く、周囲設備による制約、基礎荷重、許容工期の範囲内での拡大を実施。薄壁化を含めて10%程度の内容積拡大が可能で4000m³級高炉を5000m³級へ拡大。 2. 高さ方向の拡大設備制約があり幅方向への拡大を指向。
設備の堅牢化	1. 20年以上の設備寿命を目標として開発技術の全てを導入している。炉底のカーボンレンガの材質については人造黒鉛を使用して材質の均一化を図り、微細気孔径化、耐溶銹性、熱伝導性の改善を図っている。炉底冷却は冷却能力の調整を図りうるシステムを採用している。炉底、出鉄孔近傍のレンガ材質の高度化を図っている。 2. シャフト部の長寿命化対策として第4世代ステーブとレンガの薄壁一体構造とし、高熱負荷部には冷却能の大きい銅ステーブを採用している。 3. 炉体冷却システムの高度化を図っている。
設備の高性能化	1. 幅方向の拡張が主体となるので、半径方向の装入物分布の精密な制御が不可欠。ベルレス装入法では3パラレルバンカ装入装置の採用と機能高度化。ベル装入方法では中心コークス装入法の採用、ムーバブルアーマーの機能高度化を図っている。 2. 高微粉炭操業を可能とするための設備の増強、高酸素富化設備拡充、高温送風熱風炉の改善等の実施している。 3. 安定な出鉄滓作業を行うための出鉄口数の増加、炉前作業の機械化とシステム化、要員合理化、生産最適化を推進している。 4. 電気、計装、計算機システムの一体化による操業診断、モデルによる解析、炉体整備状態などの「見えるか」を推進している。 5. 環境防災対策、省エネ設備対策を強化している。
高炉改修工期の超短縮化	1. 大ブロック工法の開発。 解体時には炉体マンテルを水平方向へ数ピースに切断、一体リング構造で撤去し据付時には事前にプレファブリケートした構造物を槽内に取り込みアッセンブルする工事方法である。オフライン作業によって溶接の品質向上安全作業性の確保、クリチカルパスの工期短縮を可能とした革新的方法である。センターポールジャッキ、エアキャスター、ドーリー等の搬出、搬入装置や方法を開発、改善して大ブロックでの工法を確立している。

8.2.2 高炉炉前作業の合理化・省力化対策の系統化

出銑・出滓作業の円滑な遂行は高炉の安定操業にとって不可欠な要素である。4000m³～5000m³の大型高炉で日産1万t以上の出銑を安定に行うためには、労働集約的作業である炉前作業において炉内で生成する溶銑滓を遅滞なく排出処理することが必要条件である。日産1万t高炉では炉内で一分間に10t以上の溶銑、溶滓が新たに生成しているのでこれを上回る速度で溶銑、溶滓を出銑口から間歇的に排出処理しなければならない。大型高炉の湯溜径は10m以上と大きく生成する溶銑滓の品質や温度は必ずしも場所によって常に一定ではない。炉況によっては炉内で生成した溶銑滓が十分に排出されず炉内に貯留して通気性を害し、不測の操業トラブルを誘発した事例が過去に多く散見される。

一方、炉前作業は典型的な昼夜交代による熟練を要する高熱重筋労働とされ、高度成長期には熟練要員の確保が困難、且つ定着率が悪かった。このため、古くから職場環境の快適化、安全作業の確保の観点から炉前作業の機械化合理化が常に追求されてきたが手足となる炉周作業機械のパワー不足で設備技術の進歩はどちらかと言えば後追い気味であり、労働負荷の高い炉前作業を余儀なくされる時代が続いた。本節では高炉炉前作業技術の発展経緯についてまとめておきたい。

1) 鑄床配置と出銑滓作業の合理化

日産1千t未満の高炉の鑄床配置は、戦前の八幡製鉄洞岡工場、戦後初期の千葉製鉄所のように溶銑、溶滓線を複数高炉で共有する直線型構造である。この時期の出銑出滓作業は1日4～6回程度で溶銑鍋、溶滓鍋線の輻輳を避けるため、原則として出銑時間、出滓時間が各炉で指定され出銑滓管理が実施されていた。当時はスラグ比が高く出銑と出銑の間に、出銑口と羽口レベルの間に設置された出滓口から出滓作業が実施されていた。

戦後、八幡製鉄所戸畑製造所の日産1500t高炉からは梯形方式の鑄床配置が標準化され、溶銑、溶滓線が各炉毎に専用線となり溶銑溶滓用の線路を複数独立に確保できるので鑄床作業の自由度が広がった。高炉の大型化によって出銑口の本数も増加した。一般的に言えば1出銑口で日産3000t程度の処理を目安とされ、4,000m³高炉では3～4本の出銑口、5000m³高炉では4～5本の出銑口を有し、鑄床の多面化、平面化、各種出銑樋構造が創出された。高圧操業、炉容拡大に伴う炉内圧力の上昇、溶滓中に混入する溶銑（流銑と称する）による滓羽口の破損、滓口閉塞機の作動不良などの問題が顕在化して、中間排滓作業は中止され出銑

口のみからの出銑出滓作業形態となった。

昭和42年（1967）年に火入れされた八幡製鉄堺第2高炉（内容積2620m³）の出銑口は2本であったが梯形鑄床方式で各出銑口には溶銑・溶滓線を各2線を配置し樋端にはシーソー型の溶銑、溶滓傾注樋（昭和35年に川崎製鉄千葉第3高炉で初めて採用）を設けて溶銑、溶滓鍋の切替えを行う方式を採用、出銑口前出銑大樋は溶銑と溶滓の分離を容易とするため長さ10～20mに大型化、溶滓に混入するわずかな流銑を溶銑として回収するための流銑鉢が設置された。流銑の抜き取り作業は高熱重筋作業でスラグ中に溶銑が存在するとスラグの冷却処理時に水蒸気爆発などの危険もあり、流銑鉢の設置は極めて有効な対策であった。出銑大樋の大型化、出銑滓回数の増加によって出銑樋内での貯銑の冷却による凝結を回避できる状況となると、溶銑貯留方式へと進歩し出銑ごとに大樋、枝樋を整備する作業が省力化された。又、大樋耐火物の補修には時間がかかるので交換樋方式が採用され、堺第2高炉では円形鑄床が採用され30t大型鑄床クレーンで出銑大樋を専属の樋補修場へ搬送する方式が採用され、昭和45年（1970）に改修された堺第1高炉ではクレーン能力が不足することからトラバース方式の樋交換方式が採用された。出銑口が3本以上となり出銑大樋の補修を当該出銑口の使用を数日間停止して現場で補修できる高炉の場合には、その場で樋補修を行う固定式大樋方式も採用された。

炉前環境対策として出銑作業に伴う出銑口や樋端からの発煙、発塵を防止し高熱作業環境を改善するため、出銑口部から樋端、落し口に至る樋、開口部にカバーやフードを設置、鑄床集塵や局所集塵設備が装備された。地域環境対策として出銑口の開孔時や出銑末期における出銑口からの大量発煙に対応して発塵の大気放散を防止するための鑄床建屋集塵設備も標準装備となった。

2) 高炉炉前作業機器の導入による省力化、生産快適化

高炉炉前作業での作業重機、省力化機器の最近の配置状況の例を図8.3に示した。

出銑口近傍には油圧式の出銑口開孔機、酸素開孔機、油圧式マッドガン、マッド供給装置、溶銑自動サンプリング装置、発塵防止のための樋カバーとトラバースー、溶銑、溶滓傾注樋近傍には監視カメラ、トーピードカーの湯面計測用レベル計、操業床には羽口、ブローパイプ取替え機等が設置されている。炉前機器の省力化、無線操作化、遠隔操作化は機器の信頼性の向上に従って実用化された。圧空式の開孔機については昭和26年（1951）に富士製鉄広畑第1高炉でドリル機能や

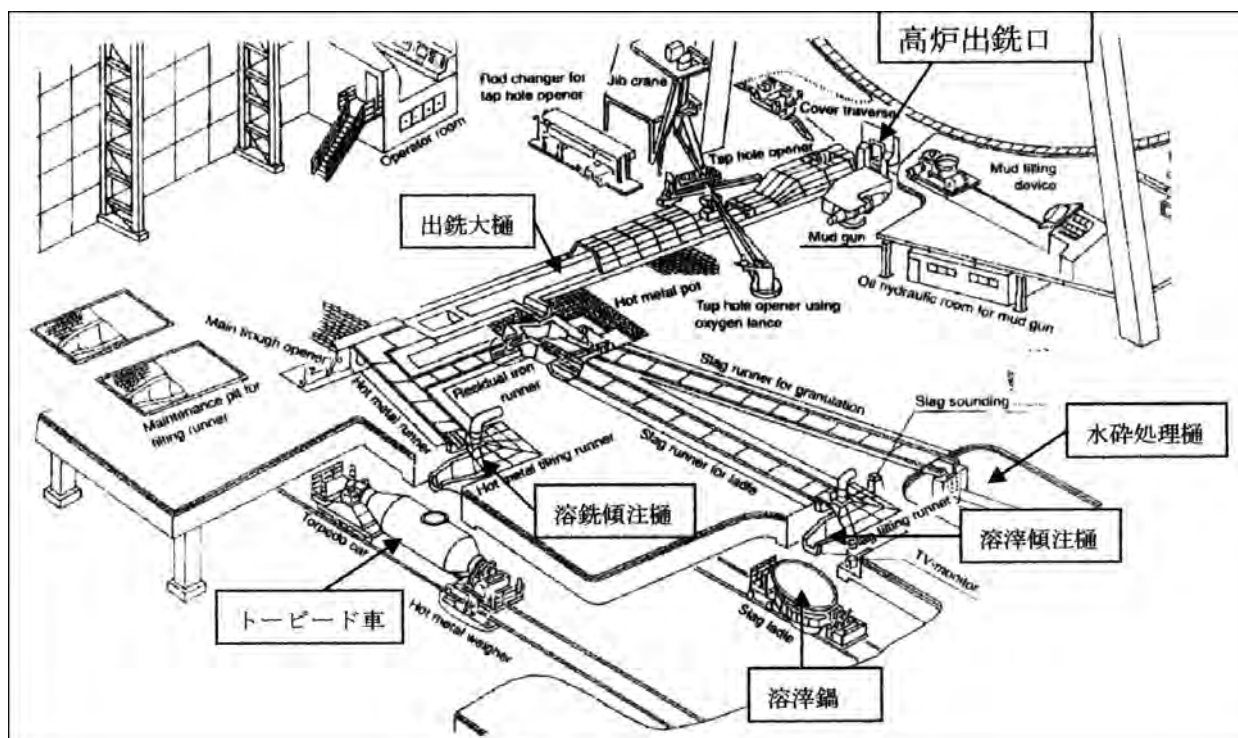


図 8.3 高炉鑄床での省力化機器の配置例⁵⁾

ハンマーによる金棒の打込み機能が機械化され、電動マッドガンについても昭和 26 年に広畑第 2 高炉、洞岡第 2 高炉改修で採用されている。これらの炉前機器は高熱や多粉塵環境での故障が多く安定稼動が大きな問題であったが改善により信頼性も向上し常用化された。

高炉の大型化、高出鉄操業においては出鉄状況に応じて複数出鉄のラップ出鉄や同時出鉄体制が必要となった。このためには出鉄開孔機のパワー不足が目立ち強力な開孔機の開発が要望されていた。平成 6 年（1994 年）の君津 2 高炉改修において強力な貫通力と調芯機能、錐繰り速度を有しパワー制御が可能な油圧式開孔機が戦力化して出鉄開孔作業の信頼性を高めたことは画期的な技術進歩であった。従来の圧縮空気による開孔機では出鉄口マッドが不押しとなって充分に入らない場合の穴切れやマッドが過焼成となった場合には開孔困難となり、出鉄開孔作業に長時間を要して出鉄作業に支障を生じる場合が多かった。このため現場では種々の事前開孔方法が開発工夫されていたが油圧式開孔機の実用化によって 90% 近い一発開孔が可能となり、さらに焼成強度の高いマッドの採用も可能となり出鉄作業の安定化が可能となった⁶⁾。

溶鉄・溶滓傾注樋の自動切換に関しても監視カメラや湯面計測装置、操作用油圧機器の信頼性が高まり遠隔監視と遠隔操作化が実現している。これらの諸対策の結果、炉前作業要員は著しく合理化された。

高炉全体の各シフトの要員体制については炉前作業

機械の進展、操業監視機器の充足や作業技能の習熟と標準化によって作業の省力化が可能となり、従来の作業系列の大幅な統合化が実現している。従来の高炉関連作業として、①総合計器室での操業管理・監視業務、②出鉄出滓作業・樋整備作業、③炉体・冷却系統の見廻り点検作業、④装入設備・熱風炉・ガス清浄設備・微粉炭吹込み設備、水砕スラグ処理設備など付帯設備の運転・監視作業等で多くの作業系列と要員を抱えていたが、作業系列のグループ統合化、多能工化によって要員削減が可能となり、労働生産性の向上と作業環境の快適化が進んだ。

3) 出鉄樋材と樋施工方法の発展

昭和 30 年前半までの出鉄樋材は粘土、シャモット、コークス粉の混合物に水を加えて手動ランマーでスタンピングするものであったが、高炉の大型化に伴い炭化珪素、電融アルミナ、黒鉛などを添加して耐食性の向上が図られた。耐食性に影響する要素は溶鉄、スラグによる機械的磨耗と化学的侵食の他に樋の温度変動による収縮に伴って発生する亀裂による損耗助長作用が大きく炭化珪素、窒化珪素、カーボンなどの添加による熱間容積安定性の強化が図られた。同時に短時間で均質、緻密な組織の形成を図るための施工方法の開発が行われた。施工方法⁷⁾としては昭和 50 年（1975）に 5% 程度の低水分耐火物を入れた成型型枠に振動を与えて流動化し、振動を止めると固化する揺変性を利用して樋内張りを成形する VF 工法が新日鉄で開発

され、更により簡便で適用性のある N-CAST 法が開発された。この方式はコロイド物質に起因する流動・凝固特性を付与した低水分材料を流し込む方法をシステム化したものであり今日の樋施工方法の主流となっている。

使用材料は低セメントキャストブル耐火物であり電融アルミナ、炭化珪素が主剤で黒鉛・カーボンが添加されている。補修すべき樋や樋カバーの種類も多くなり高炉の出鉄大樋、傾注樋、枝樋、樋カバーなどで固定樋、移動樋、取替え方式のものなど多様であり、材料も負荷や使用条件に応じて経済的に対応するゾーンライニング思想が基本となっている。

8.3 原燃料の多様化、寡占化への対応

8.3.1 難処理鉄鉱石原料の有効利用技術の開発

発展国の高度成長に伴ない、特に中国が鉄鉱石原料輸入国に転換したことから世界の鉄鉱石需給が逼迫し、鉄鉱石原料価格が高騰している。

2007 年の輸入実績統計では、中国が 394 百万 t を輸入して全体の約 5 割を占め、豪州 (146 百万 t)、ブラジル (98 百万 t)、インド (80 百万 t) から輸入している。次いで日本の輸入量は 139 百万 t で輸入国は豪州 (83 百万 t)、ブラジル (31 百万 t)、インド (5 百万 t) で近距離ソースへ転換が進んでいる。EU29 国の輸入量は 169 百万 t で輸入国は欧州 (34 百万 t)、ブラジル (68 百万 t)、CIS (20 百万 t)、アフリカ (16 百万 t)、豪州 (7 百万 t) である。その他に韓国が 46 百万 t、台湾が 16 百万 t を輸入している。鉄鉱石の輸出国は豪州、ブラジル、中国、インドであり、近年シッパの寡占化が進んでいることが特徴的である。

中国では 2000 年以降 6 年間で 5 億トンの鉄鉱石を河北省、遼寧省、内モンゴルを中心に自国で新規開発していると報道されている。鉄分 30% の劣質鉄鉱石を内陸部の鉄鉄生産増に必要な鉄鉱石として開発し、鉄鉱石の需給ギャップの解消に努力していることは注目せねばならない。

わが国は、鉄鉱石資源に関してフレートの有利な豪州志向をはかり約 60% を依存する状況にある。豪州の鉄鉱石資源は、近年低リンブロックマン鉄鉱石の枯渇化が進みゲーサイト系の鉄鉱石比率が増加している。更に結晶水の高いマラマンバ鉄鉱石の開発が行われ 2002 年から単味出荷や混合銘柄による出荷が行われている。

中長期合理化対策の原料面での対応として高 Al_2O_3 ゲーサイト鉄鉱石や多孔質な微粉マラマンバ鉄鉱石などの難処理原料を有効に使用する技術の開発が推進され

た。鉄鉱石の基礎特性として粒度分布、化学組成、鉄物組織、気孔量、気孔系分布があり、焼結する場合の影響特性として造粒性 (付着力、吸水性)、熔融性、石灰石との同化性などが評価対象とされた。これらの鉄物組織、化学成分などの銘柄特性を基本とした焼結組織制御技術が研究対象となり種々の事前処理法⁸⁾が実用化された。具体的な改善対策として各製鉄所の状況に応じて選択造粒法、CaO 分割添加法、粉コークス・石灰石の外装造粒法、HPS 法などが実機化され成果を挙げている。

8.3.2 コークス工程での非微炭炭多量使用技術の展開

高炉用コークスとして必要な強度の高いコークスを製造するためには強粘結炭が必要である。わが国では強粘結炭の大部分を輸入に依存してきたが、高価な強粘結炭を節約して強度の高いコークスを製造するための技術研究が明治以来粘り強く推進されてきた。

明治の創生期から戦後の昭和 30 年初期までは一部でスタンピング装入法、コーライト配合法等が実施されたが事前処理として石炭の洗炭と粉砕が中心であった。高度成長期以降の石炭銘柄の変化、コークス炉の大型化、コークス品質向上要求などの状況変化に対応して、配合粉砕方式の改善、石炭配合理論の高度化、乾燥炭、成型炭装入法などの事前処理技術の実機化が推進された。最近で安価劣質炭の多量使用を目的とした微粉炭塊成化法、被覆造粒炭法などが開発され実用化している。

最近の革新技术の事例として新日鉄大分製鉄所での微粉炭塊成化法 (DAPS)⁹⁾が実用化され、非微炭炭使用比率の大幅な拡大が可能となっている。従来の「調湿炭装入法」は石炭水分を 10% から 5% 程度まで乾燥してコークス炉に装入することによってコークス乾留熱量の低減と装入密度の上昇によるコークス強度などの品質向上を図る方法でありコークス炉での標準装備技術となった。しかし、この方法では石炭水分をこれ以上低下させると石炭の搬送過程や装入作業中に微粉炭が発塵するため、作業環境の著しい悪化、コークス炉内壁への付着カーボンの増加による操業トラブル、タール品質への悪影響などの問題が顕在化する。石炭水分を更に大幅に低減させ安定的に乾燥炭操業を実施する技術として微粉炭塊成化法 (DAPS) が開発された。DAPS 法の概要図を図 8.4 に示した。

10% 程度の水分を含む湿炭を流動乾燥分級機によって乾燥、分級した石炭の 0.3mm 以下 (約 30%) の微粉炭をロール成型機で塊成炭とした後、粗粒炭と再び混合して石炭バンカー、装入車を経てコークス炉に

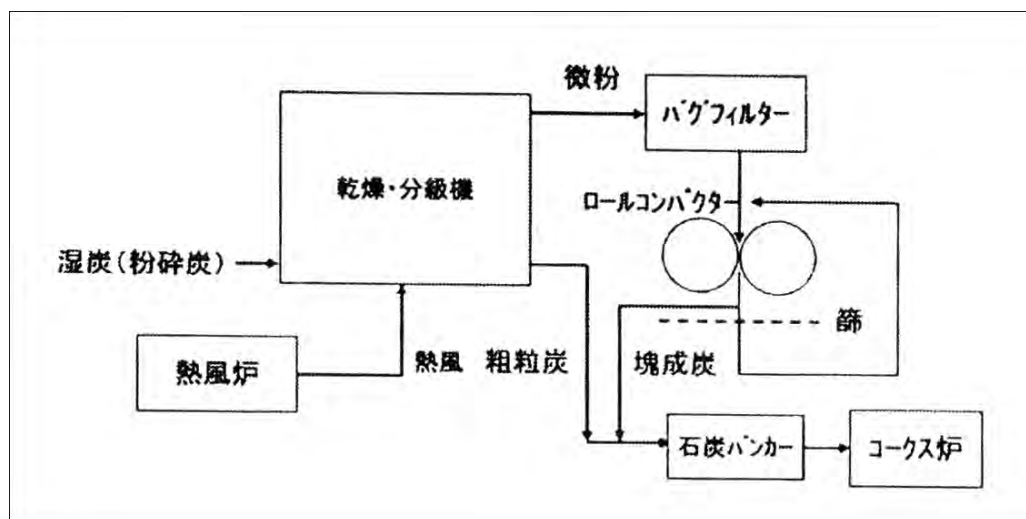


図 8.4 DAPS 法のプロセス概要⁹⁾

装入される。装置構成は石炭を乾燥、分級する装置として流動層による乾燥分級方式を採用、微粉塊成はロールコンパクターが採用されているが成型圧力、ロール径、溝型形状、脱気条件についての最適化が検討された。新日鉄大分製鉄所では第 3、4 コークス炉での石炭の全量処理を可能とする能力として乾燥機処理能力 284t/h、分級機での微粉炭割合は 30%、成型機能力は 28.4t/h × 3 基であり、塊成混合炭の水分は 1.8%、コークス炉装入密度は 0.8t/m³ 迄向上し均一にコークス炉に装入されている。

DAPS 法で製造されたコークスの強度は従来の調湿炭装入法と比較して潰裂強度 DI^{150}_{15} 指数で 1.5%、反応後強度 GSR が 4.5% と大幅に向上し非微粘炭配合比率の向上に大きく貢献している。コークス強度の向上は石炭装入密度の上昇によってコークスの気孔率が数%低減し、粒子間接着強度の向上、コークスの CO₂ 反応性の低下によるものである。省エネルギー効果は事前処理のない湿炭操業に比較して 15% の省エネルギー、省資源効果としては非微粘炭使用比率を 40% 以上を使用する事ができた。同時に、装入密度の上昇に伴いコークス炉の膨張圧が上昇して押出トラブルが発生しないようにコークス炉への装入密度に応じて配合炭の膨張性を制御するための配合設計技術の高度化が同時に開発されている。

高価な強粘結炭を削減し非微粘炭の多量使用する技術としては、高炉での高微粉炭操業の推進、コークス炉での強粘結炭使用削減対策によってわが国の原料炭中での非微粘炭使用比率は 40% を超える水準に至っており石炭の調達自由度を大幅に改善する事ができた。

8.3.3 資源リサイクル・ゼロエミッションの推進

製鉄所の環境集塵機から発生するダストは焼結機の

許容する範囲で新原料に混合して焼結プロセスや非焼成ペレットとしてリサイクルされてきた。しかし、集塵ダストは超微粉の湿ダストが多く亜鉛等の重金属を含むことから焼結機の生産性の低下、増エネルギー、排ガス環境問題、有害成分面からの使用制約などの課題を抱えていた。最近では含亜鉛系スクラップ類のリサイクル量も増加し、製鉄所内で脱亜鉛可能な製鉄ダストのリサイクル法として回転炉床炉法やロータリーキルンによる還元脱亜鉛プロセスが実用化された。

1) 製鉄ダストの還元脱亜鉛プロセス

亜鉛、塩素等は製鉄・製鋼プロセスでは循環成分であり所内発生ダスト中に濃縮する。スクラップ類のリサイクルの増加により製鉄所における亜鉛バランスが蓄積側にシフトしていることから、製鉄所全体のゼロエミッションを達成するためには本格的な脱亜鉛設備の必要性が高まってきた。わが国の亜鉛製錬メーカーでは電気炉ダストからの非鉄金属回収システムが稼働しているが、鉄鋼メーカーでの脱亜鉛設備としては現在八幡製鉄所構内で稼働している光和製鋼の塩化揮発法、住友金属鹿島製鉄所でのウエルツキルン法（SPM 方式）、ステンレス系ダストの処理として JFE スチール千葉製鉄所での STAR プロセス、回転炉床炉法は新日鉄君津、広畑、光製鉄所で発生ダストを還元鉄として回収し高炉、製鋼炉等でリサイクルされている。塩化揮発法では脱亜鉛精鉱をペレットに焼成し高炉用原料としてリサイクルされ、ウエルツキルン法は脱亜鉛された還元物が粉状塊成鉱であることから粒度分別して高炉、焼結鉱の原料として使用されている。製鉄・製鋼系ダストには微粒の炭素が含まれており回転炉床法による還元脱亜鉛プロセスが注目され新日鉄君津、広畑、光製鉄所などで稼働を開始している。いずれも所内発生ダストを原料として脱亜鉛して還元鉄を製造

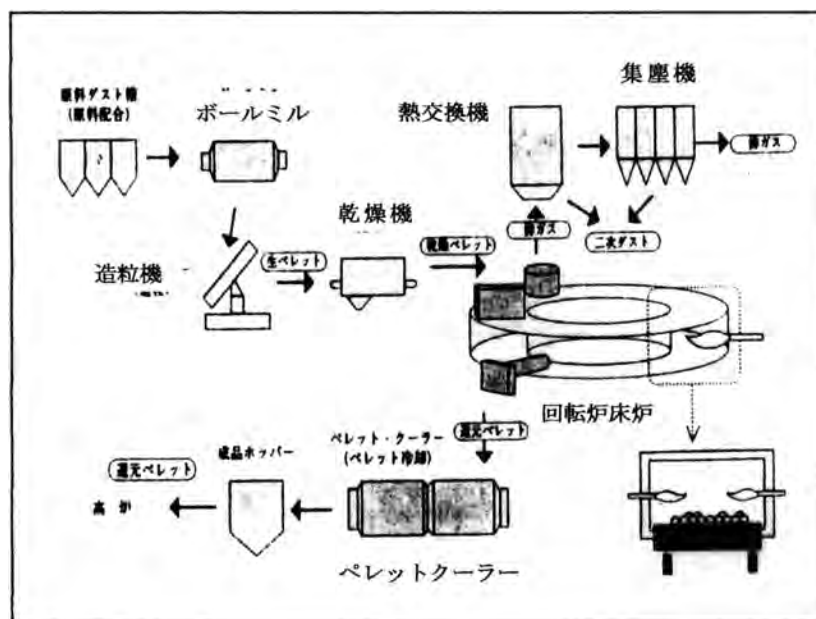


図 8.5 還元脱亜鉛プロセスの概要¹⁰⁾

する設備であるが広畑、光においては金属化率の高い製鋼用還元鉄、君津では高炉用還元鉄を製造している。

回転炉床方式については INMETCO 方式、FASTMET 方式、Iron-Dynamics 方式などが報告されいくつかのプロセスが実用化されている。一例として、新日鉄君津製鉄所での INMETCO 方式回転炉床法（RHF）による還元脱亜鉛プロセスの概要を図 8.5 に示した。

図 8.5 のプロセス内容を概説する。ダスト原料として高炉、転炉系の高亜鉛湿ダスト、環境集塵ダスト等を使用、還元用炭材として所内で発生する微粉コークスや集塵炭材を還元に必要な理論炭素量を配合、少量のベントナイトを加えて潤式ボールミルで混練、造粒機（ディスクペレタイザー）で 10～15mm 径の生ペレットを製造する。生ペレットの急熱爆裂を回避するため脱水乾燥後、回転炉床炉に投入する。回転炉床炉では急速昇温され 10～20 分の短還元時間で予熱帯（1,000℃～）、数ゾーンの還元帯（1,100～1,300℃）を経て高温還元するところに本プロセスの特徴がある。この過程で亜鉛は還元昇華するが排ガス中の酸素で再酸化され集塵機で粗酸化亜鉛として回収される。還元ペレットは特殊な排出スクリーンで掻き出され、外部散水クーラーで窒素雰囲気中で冷却後に篩分され製品ホッパーで貯留、高炉で使用される。回転炉床法の燃料はコークス炉ガスが利用され、燃焼排ガスは熱回収され燃焼用空気の予熱に使用されている。君津製鉄所第 1 号機のダスト処理能力は年産 18 万 t で還元ペレットの品質仕様は高炉用として金属化率 70%、脱亜鉛率 90% で計画されている。

8.4 地球温暖化対策への対応

8.4.1 鉄鋼業での自主的取り組み¹¹⁾

地球環境問題では 2005 年 2 月に京都議定書が国際的に発効した。わが国は 1990 年基準 CO₂ 排出量の 6% 削減義務を公約することになった。日本鉄鋼連盟では 1996 年 12 月に「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」を策定、地球温暖化対策と廃棄物・リサイクル対策を中心に 1990 年を基準年として 2010 年度までの自主行動計画を策定した。自主行動計画では 5 つの基本対策を盛り込んでいる。①鉄鋼生産工程における省エネルギーの推進（粗鋼生産年産 1 億をと前提として数値目標として 1990 年比 10% 削減する）、②廃プラスチック等の有効活用（集荷システムの確立を前提に 100 万 t 活用する）、③製品・副産物による社会での省エネルギー、④国際技術協力による省エネルギーへの貢献、⑤未利用エネルギーの近隣地域での貢献。

京都議定書の問題点として米国、中国などのエネルギー多消費国が枠組みに参加していない点が挙げられているが、鉄鋼業界では各国の鉄鋼業界を通して省エネルギーや CO₂ の削減取組みを推進している。国際鉄鋼協会（IISI）では 2007 年に世界鉄鋼業の総意に基づき「鉄鋼業の温室効果ガス削減のための政策提言」を発表、政策提言による鉄鋼独自のセントラルアプローチの採用を決定するなど、幅広く地球温暖化問題に取り組んでいる。

8.4.2 製鉄プロセスでの廃プラスチックの原料化

2000年4月に容器包装リサイクル法が完全施行され、容器包装品を対象とした一般廃プラスチックの再資源化が開始された。日本鉄鋼連盟では省エネルギー自主行動計画として2010年までに100万t/年規模の廃プラスチックを製鉄原料化することによって1.5%のエネルギー使用量を追加的に削減する計画を掲げている。

我が国の廃プラスチックは平成19年（2007）実績では年間に約1,000万tが排出されているが27%の270万tが焼却、埋め立て処理となっている。鉄鋼業界では製鉄所の既存インフラを最大限に利用して①高炉による原料化、②コークス炉による化学原料化の2方式で実機化が進められた。高炉による排プラスチックの原料化は平成8年（1996）にNKK京浜第1高炉で実機化し、引き続き平成12年（2000）にNKK福山製鉄所、神戸製鋼加古川製鉄所で稼働している。コークス化学原料化については平成12年（2000）に新日鉄名古屋、君津製鉄所で実機化され、平成14年（2002）に室蘭製鉄所、八幡製鉄所で稼働している。平成19年（2007）での廃棄プラスチックのケミカルリサイクル量は30万t弱である。

高炉原料化¹²⁾は、排プラスチックをフィルム系と固形系に分別した後にフィルム系は破碎後塩化ビニル樹脂を遠心分離装置で除去し造粒する。固形系は破碎造粒する。造粒物は貯槽に貯留、吹き込み設備を経由して高炉に空気輸送され羽口から吹き込まれる。廃プラスチックはコークス、微粉炭の代替として同等に使用することができるが塩化ビニルを含む場合は脱塩素化処理が必要である。

コークス炉化学原料化¹³⁾とは廃プラスチックを粗破碎・選別して異物を除去した後に二次破碎機で粒状に圧縮成形し減容化したものを石炭と混合してコークス

炉に装入してガス化する方法である。排プラスチックに含まれるPE（ポリエチレン）、PS（ポリスチレン）、PET等は300℃前後で1次の熱分解が完了しPVCは250℃で熱分解が始まる。更に400℃の温度域で主鎖の熱分解が生じる。以上のことからプラスチックは石炭に比して低温で熱分解を開始して200～450℃でガス化し500℃で炭化物の残渣が生成する。廃プラスチックのコークス炉での各製品への転換率はコークス20%、コークス炉ガス40%、タール・軽油などの油化物に40%である。コークス品質への影響は石炭に1%配合する程度では強度への影響は認められていない。プラスチック中に含まれる塩素の90%以上が塩化アンモニウムとなり安水中に移行しコークスやコークス炉ガスへの移行はほとんどない。

8.4.3 中期的な技術開発の取り組み¹⁴⁾

鉄鋼業の省エネルギー、CO₂削減に関する次世代の大規模研究開発は官民共同のプロジェクトとして推進されている。製鉄部門の主要プロジェクトについて概説する。

1) 次世代コークス製造技術（SCOPE21）¹⁵⁾

本プロジェクトは日本鉄鋼連盟傘下の11社により平成6年（1994）から8年計画で実施され2003年に成功裏に終了した。2006年に実証第1号機として新日鉄大分製鉄所第5号コークス炉が着工され平成20年（2008）に竣工した。

SCOPE21では、コークス炉の生産性を従来の室炉法に比べて飛躍的に向上させるため、コークス製造工程の各機能に対応させて乾留機構を3つのユニットに区分して考えた。そして各ユニットを効率良く組み合わせることによって室炉式コークス製造プロセスの生産性を極限まで向上させるための手段が追求された。プロセス概念図を図8.6に示した。

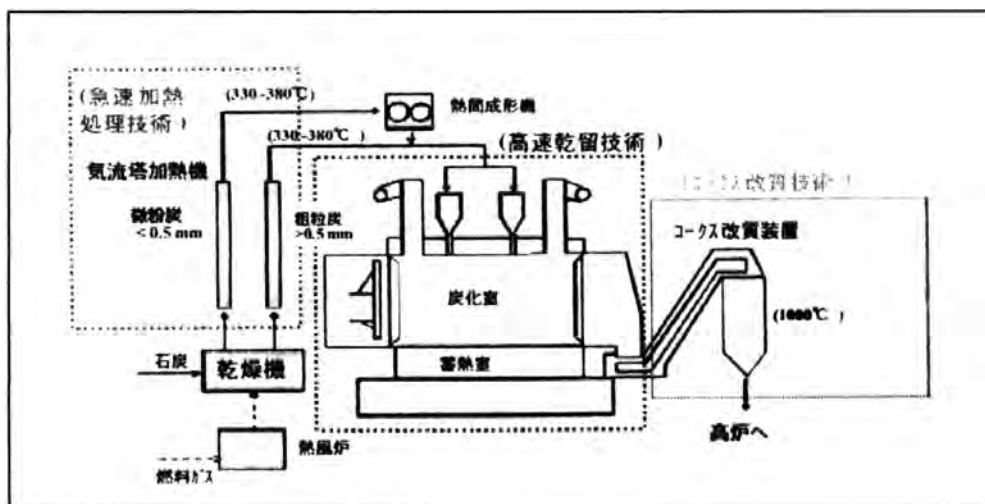


図 8.6 SCOPE21 のプロセス概念図

具体的には、先ずコークス製造用に使用される石炭を乾燥分級し、粗粒炭と微粉炭を各々 350 ～ 400℃まで急速加熱し、微粉炭は熱間成形機で成形後に粗粒炭と混合する。この石炭を急速加熱する事前処理技術によってコークス用原料として適さない非微粘結炭の使用比率を大幅に増加させることを可能とすると同時にコークスの生産性を大幅に向上させ省エネルギーを図る。次に、高温に加熱した石炭を高熱伝導率の薄壁煉瓦を採用したコークス炉の炭化室内で石炭を乾留するがコークスの乾留温度を通常の乾留温度（約 1000℃）より低い中低温乾留で窯出することにより炭化室内でのコークス乾留に必要な時間を短縮する。最後に、コークス炉から中低温で系外に窯出したコークスを CDQ（改質チャンバー）を用いて通常の乾留温度レベルまで再加熱することにより、コークス炉炭化室内で 1000℃まで乾留した場合と同等のコークス品質を確保しつつ生産性を大幅に向上させる。このような新しいコンセプトであり、①コークス生産性の大幅な向上、②石炭資源対応力の向上、③省エネルギー技術の開発、④環境対応力の向上を目標とした室炉式コークス炉の革新を図るものであった。

2) 革新的製鉄プロセス技術開発 (COURSE 50)¹⁶⁾

脱炭素、排出 CO₂ の分離回収など新しい視点から鉄鋼プロセスの CO₂ 削減を目的とした長期的技術開発プロジェクトで平成 20 年 (2008) から 4 年間 (フェーズ 1) に NEDO の委託を受けて鉄鋼連盟傘下の各社が共同で実施するものである。

COURSE50 は、日本政府が推進している Cool Earth

プロジェクトの一貫として推進されているものでプロセス概要を図 8.7 に示した。①高炉ガスの CO₂ の分離回収技術、②コークス炉ガスからの水素増幅技術、③高炉ガスの循環と水素還元技術による高炉操業技術の開発が骨子となっている。即ち、コークス炉ガスに含まれる 30% 程度のメタンの水蒸気改質を行うことで水素の増量を図り、その水素を高炉で還元に利用する方法と高炉炉頂ガスから CO₂ 分離回収技術を開発して脱炭素後の還元ガスを高炉に再循環する高炉操業プロセスの開発から構成されている。水素の製造に多くのエネルギーを消費するが、本プロセスではコークス炉ガスの顕熱利用で水蒸気改質の熱を補填している。水素系ガスへの代替による脱炭素操業と炉頂ガス循環による低炭素材比操業によって出側基準で 30% の CO₂ 削減が期待されている。

我が国の高炉製鉄法は、臨海地区で大型・効率的な「規模の経済」を活かし、製鉄工程で生成したエネルギー、副産物を効率的に製鋼、圧延の下工程に供給する、所謂、エネルギー貫化を競争力の原点とするものであることを歴史は示してきた。今後の方向としても工程間エネルギーロスの最小化、輸送エネルギーの省エネルギーを徹底的に推進すること、地域や製鉄所インフラを最大限に利用した排エネルギー、廃プラスチックの再利用、バイオマスなどの非化石燃料の活用を積極的に推進すること、特に、廃プラスチックやバイオマスの製鉄所でのケミカル利用に重点を置いた利用開発を推進することが重要である。

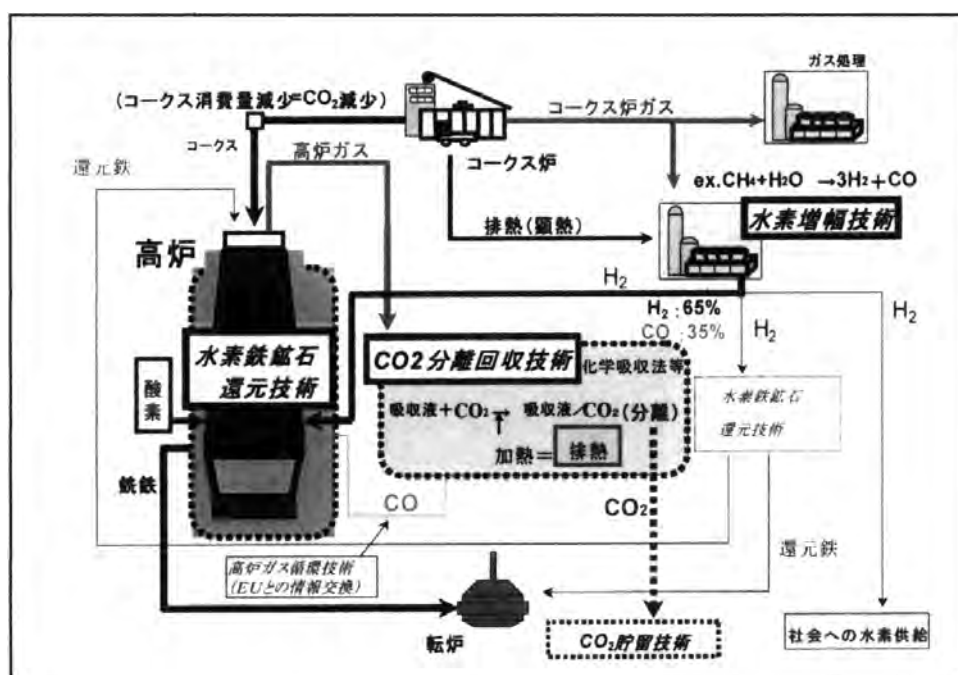


図 8.7 COURSE50 プロセスの概要¹⁶⁾

引用文献

- 1) 戦後鉄鋼 10 年史 (昭和 63 年～平成 9 年編) 日本鉄鋼連盟 p71
- 2) 稲角忠弘 焼結鉱—鉄鋼技術の流れ (日本鉄鋼協会) p215
- 3) NKK 技報 158 号 (1997) p67～70
- 4) 鉄鋼年鑑 平成 17 年～19 年版 鉄鋼新聞社
- 5) 川岡浩一、阿南邦義、津田昭弘他、新日鉄技報 384 号 (2006) p119
- 6) 伊藤 et CAMP—ISIJ vol.9 (1996) p239
- 7) 山広実留、萩原武、今井弘之 耐火物 33 (1981) 6. p319、田中英雄、島田康平 耐火物 30 (1978) 4. p323
- 8) 稲角忠弘 焼結鉱—鉄鋼技術の流れ (日本鉄鋼協会) p262～267
- 9) 加藤健次、中嶋義明、山村雄一 新日鉄技報 384 号 (2006) p38～42
- 10) 織田博史、茨城哲治、阿部洋一 新日鉄技報 384 号 (2006) p134～139
- 11) 戦後鉄鋼 10 年史 (平成 9 年～平成 19 年編) 鉄鋼連盟 p107～122
- 12) 有山達郎 第 179 回西山記念技術講座 (2003) p149～169 環境・リサイクル技術への展開
- 13) 加藤健次、野村誠治、福田浩一、植松宏志、新日鉄技報 384 号 (2006) p69～73
- 14) 戦後鉄鋼 10 年史 (平成 9 年～平成 19 年編) p153～156
- 15) 加藤健次 日本エネルギー学会誌 vol 86 No7 p485
- 16) 有山達郎 ふえらむ vol14 (2009)、No12 p44

9 まとめ

9.1 高炉技術の系統化

各時代区分における高炉技術発展の系統化図（潮流図）を図9.1、図9.2に示した。

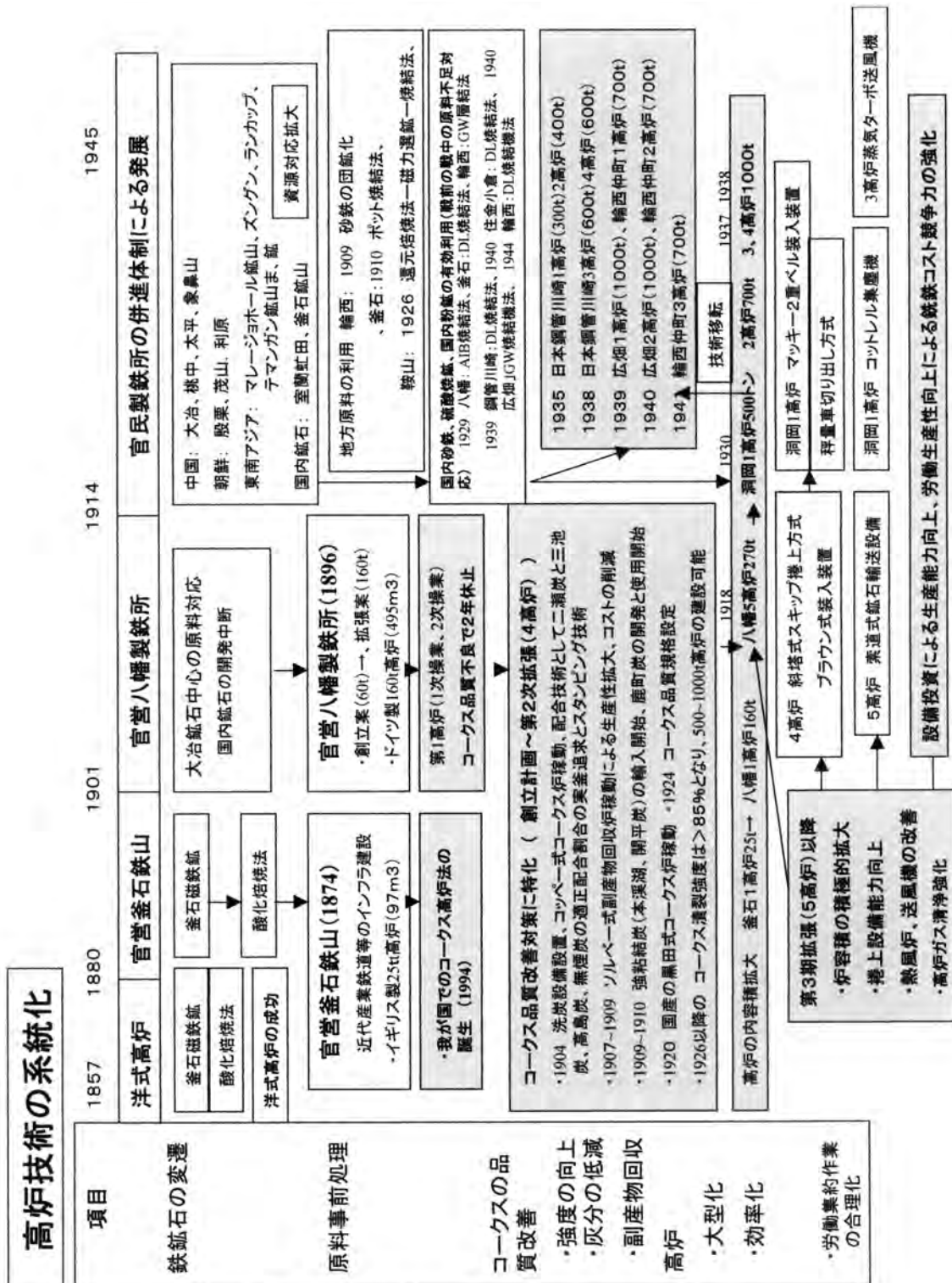


図9.1 戦前の技術系統化関連図

高炉技術の系統化

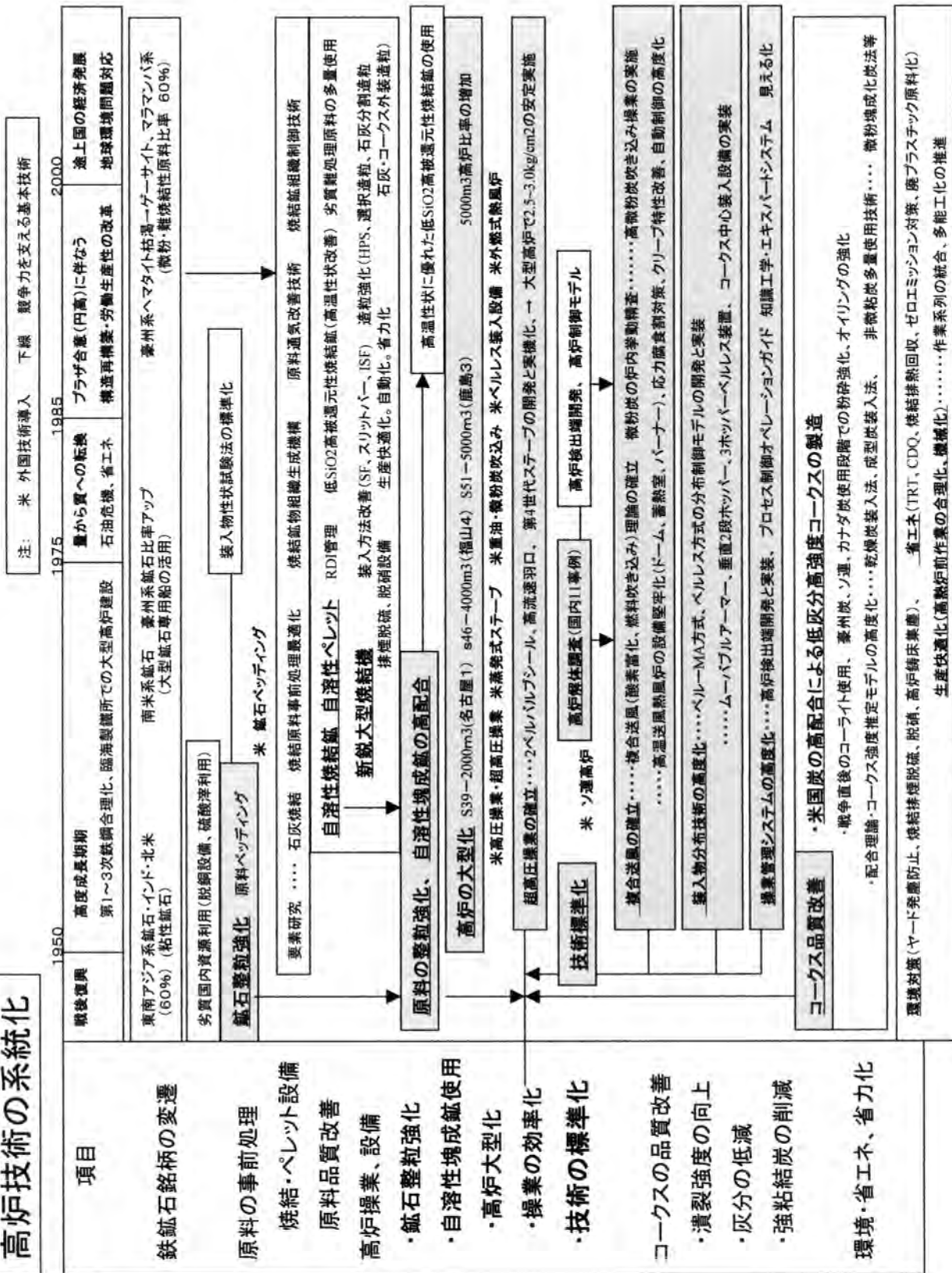


図 9.2 戦後の技術系統化関連図

一貫製鉄所における高炉の役割は多量の銑鉄を安価に供給することであり、成長発展過程では規模の経済手法が採択された。即ち、高炉の内容積を拡大しその稼働基数を増加させること、出銑比（内容積 1m³ あたりの出銑量）を増加するための技術手段を追求することであった。溶銑コストを下げるためには銑鉄 1t 当りの原燃料やエネルギー、労働や資本の投入原単位を削減することであった。高炉の安定操業にはコークスや鉄鉱石の品質が重要でありこれらの資源の入手の難易は高炉の発展に大きく影響してきた。

9.1.1 戦前の技術系統化

明治 34 年に操業を開始した官営八幡製鉄所第 1 高炉はドイツの最新鋭の大型高炉であったが、内容積 500m³ の高炉を操業するに相応しいコークスの強度が得られず、第 1 高炉の第 1 次、2 操業は成功しなかった。我が国には強粘結炭が出炭せず、先ず国内炭を使用して第 1 高炉に必要な潰裂強度を有するコークス製造法の確立に全力を傾注しなければならなかった。国内炭の洗炭、粉碎、各石炭の適正な配合の試行錯誤とソルベー余熱式法による副産物回収コークス炉の選択と運転方法の確立に成功し、明治 43 年（1910）には中国の強粘結炭の輸入が開始され、コークス強度はようやく欧米の水準並みに達した。

大正 5 年（1916）の八幡製鉄所の第 3 期拡張計画での新設第 5 高炉（内容積 595m³）から積極的な内容積の拡大に踏み切り、昭和 12 年（1937）の洞岡第 3 高炉（1000t、1112m³）では国産技術で 1000t 高炉を建設し操業する力を保有するに至った。コークス炉に関しても大正 5 年（1916）にわが国独自の黒田式コークス炉を国産で建設した。

第 1 次大戦以降、第 2 次世界大戦に至る時期は国際的なブロック経済体制への進行もあって銑鉄、鋼材自給率の拡大が要請された。このため、官営製鉄所、民間製鉄所、海外製鉄所の多数の生産拠点で高炉が建設された。我が国の労働単価も上昇し資本の調達が可能で投資環境も整備され、生産性の拡大と労働集約的な作業の合理化を図るための積極的な投資による生産設備の増強が推進された。戦前は、大陸の塊鉄石、石炭が国家権力で安定に確保されてきたので、粉鉄石の事前処理技術や塊成化技術の発展はローカルな原料処理の範囲に留まっていた。但し、鞍山製鉄所の珪酸質低品位鉄（大孤山鉄鉱石）の還元焙焼法と焙焼炉の発明と工業化は鞍山製鉄所の存否を支えた革新技術であったと評価された。

9.1.2 戦後の技術系統化

戦後の高度成長期において臨海製鉄所を中心に昭和 44 年（1969）から昭和 51 年（1976）にかけて 4000 ～ 5000m³ の高炉大型化が急速に進み、同時期に外国発の先端技術が競って導入された。高炉の大型化は生産性は高いが、一方ではトラブルが生じた場合の生産リスクは極めて大きい。故障を回避し、稼働率を高めるための設備改造やリスクをヘッジする操業の標準化が不可欠であり、この過程で独自の改善が継続的に実施され、数多くの完成度の高い革新技術も生まれ、技術の標準化も進展した。戦後の発展は戦前とは異なり鉄石の整粒強化、自溶性焼結鉄の使用、高強度低灰分コークスの使用などの恵まれた資源環境から始まるが、高炉の大型化が推進された時期に行われた高炉の解体調査の知見、それを契機として発展した高炉検出端の開発やモデル研究が我が国の高炉技術発展の節目をもたらした。大型高炉の安定性を高めるための種々の検出端が高炉に標準装備され、それらの検出端情報を有効に活用した高炉の制御モデルや操業標準が実装された。また、鉄鉱石や焼結鉄の還元・融着・溶解する挙動やコークスの炉内での破壊機構や移動現象が明らかになり、被還元性の高い焼結鉄やコークスの熱間強度の必要性も明らかとなり、原料技術、コークス技術が発展した。従来からブラックボックスとされていた高炉操業の標準化が進展したことが外国との技術差別化の原点であった。高度成長期の急速な高炉大型化、効率化を追求する段階での産官学の協調、設備メーカーとの協働、企業間競争による切磋琢磨を通して世界の最先端の技術水準を確保するに至った。地域環境問題の発生、石油危機の発生、円高での生産拠点の集約化合理化で示した迅速な技術対応などもこのような体制の中で実現した。

21 世紀に入り中国を中心として世界的に鉄鋼需要が拡大し原燃料に対する制約、地球環境問題に遭遇しているが、資源対応技術を中心に新たな製鉄プロセスを革新していくことが今後の技術課題である。

9.2 登録候補の選定

重要技術史料はその内容に応じて博物（実物）、図書、文書・図面、写真、電子情報媒体等の適切な資料形態によって保存、継承されている。高炉やその付属設備は巨大な野外構築物であり原形を博物（実物）として保存することは現実的でない。又、鉄鋼需要の拡大期においては大部分の高炉は拡大改修された。従って、高炉はスクラップアンドビルトされたので、革新的技

術であっても更なる改善、革新が施され当初のオリジナルな姿を留めていないものが少なくない。このため、重要技術史料はオリジナルな博物（実物）として残存することは少なく、図書（技術文献）、文書、写真の形態でその内容を知る事ができる。戦前に於ける重要技術史料として、①「明治期における官営釜石鉄山の近代製鉄業の創設とわが国でのコークス高炉法の誕生」、②「官営八幡製鉄所における第1高炉の建設と操業」について登録候補とした。その他、技術の流れを変えた革新技術として「八幡製鉄所洞岡地区での国産技術による1000t高炉の建設」、「我が国初の国産の

黒田式コークス炉」、「鞍山製鉄所での独創的な還元焙焼法と焙焼炉」なども挙げることができるが、写真、図書は存在するが博物（実物）が発見できず見送った。戦後の革新技術に関しては対象が多く博物（実物）の所在に関するデータベースを作成することが先決である。今後の活動に期待したい。

謝辞

今回の調査で、新日本製鉄三輪隆執行役員、並びに本社製鉄技術部の多くの方々に協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

表 9.1 登録候補

候補 釜石におけるわが国初の近代製鉄所の建設、コークス高炉製鉄法の誕生				
名称	史料形態	所在地	製作年	備考
1. 山神額	実物	釜石製鉄所、	明治27年	コークス高炉製鉄法の誕生
2. 官営釜石鐵山における鉄道用レンガアーチ橋	実物	釜石市甲子町	明治8年着工	官営釜石鉄山の建設
3. 官営釜石鐵山における鉄道用レール・機関車	実物 写真	鉄の歴史館	明治8年着工、	官営釜石鉄山の建設
4. 釜石鉾山田中製鐵所第1高炉の炉底鉄塊	実物	鉄の歴史館	明治19年	釜石鉾山田中製鐵所の建設
5. 官営釜石鐵山25t高炉	写真	鉄の歴史館	明治13年	官営釜石鉄山の建設
6. 釜石鉾山田中製鐵所第1高炉	写真	鉄の歴史館	明治19年	釜石鉾山田中製鐵所の建設
7. 釜石鉾山田中製鐵所コークス炉	写真	鉄の歴史館	明治27年	コークス高炉製鉄法の誕生
8. 田中長兵衛の野呂景義への書簡	文書	鉄の歴史館	明治25年	コークス高炉製鉄法の誕生
9. 釜石鐵山製鐵場建設場所論争(伺文書)	文書	鉄の歴史館	明治7年	釜石鉄山の建設

候補 官営八幡製鐵所における鉄鋼一貫製鐵所での第1高炉の建設・操業				
名称	史料形態	所在地	製作年	備考
1. 製鐵所平面図	図面	八幡製鐵所	明治34年	製鐵所建設時の平面図
2. 製鐵所「門標」	実物	同上	明治34年	八幡製鐵所設立時の門標
3. 官営八幡製鐵所第1高炉建設状況	写真	同上	明治32年～	第1高炉建設、操業に関わる写真集
4. 官営八幡製鐵所初の仮骸炭炉	写真	同上	明治34年	ビーハイブ式コークス炉
5. 熔鉾炉試製の状況報告	製鐵所文書	同上	明治34年	第1高炉の火入れ操業に関する製鐵所長官から所管大臣への状況報告文書
6. 熔鉾炉調査概報	製鐵所文書	同上	明治37年	野呂景義による第1高炉第2次操業の調査報告書

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第15集

平成22(2010)年3月30日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト・エディット 永田宇征、エディット 大倉敏彦・久保田稔男)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク