

焼ガス化し、還元ガスとして炉内で有効に活用される。図1.8中に示す分離された塩化ビニル樹脂中の塩素を除去する脱塩素プロセスは別途、開発されている。

またJFEでは吹き込みに適したプラスチックの性状を明確にするために、試験炉、実高炉を用いて各種の燃焼ガス化実験を行っている。それによれば、レースウェイはコークス充填層で囲まれた空間であり、その境界面から飛散しない粒子径を選択すれば、長い滞留時間を確保でき、瞬時に通過する微粒より高い燃焼ガス化率を達成できるとされている。上記のプロセスでは本結果に基づき数mmの粗粒に廃プラスチックを造粒あるいは粉碎し、全体に簡素な事前処理で吹き込みを実施している。現在、JFE全体では約15万t/年の処理能力を持つ。さらに神戸製鋼加古川でも同様な廃プラスチックの高炉吹き込みを実施している。

1.10.3 コークス炉による廃プラスチックリサイクル技術

新日鐵では2000年10月より、名古屋、君津製鉄所にてコークス炉化学原料化による一廃プラスチックのリサイクルを開始している。コークス炉化学原料化法は一廃プラスチックを減容化処理して塊状に成型し、ハンドリング性を向上した後、コークス炉に投入する方式である。コークス炉に石炭と共に投入、乾留され、コークス20%、タール、軽油に20%、

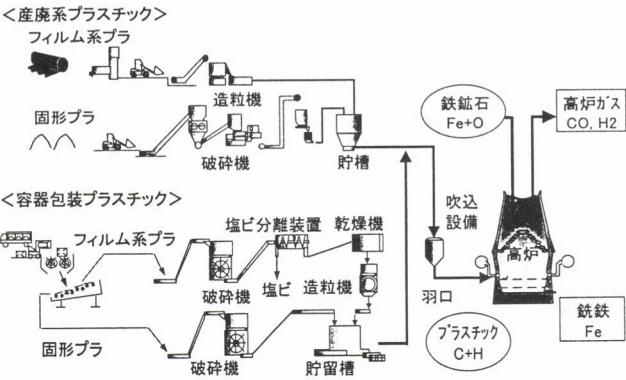


図1.8 高炉を利用した廃プラスチックリサイクル処理フロー

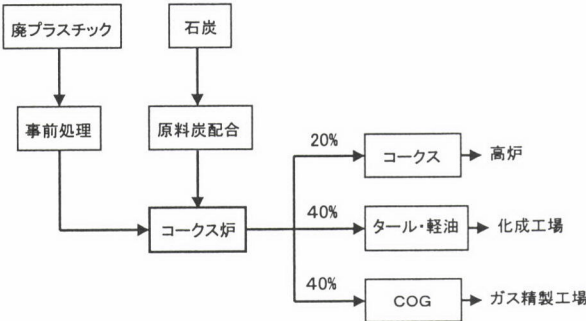


図1.9 コークス炉における廃プラスチックのリサイクル

コークス炉ガスに40%の割合で変換される(図1.9)。ここでコークスは高炉で鉄鉱石の還元材に、回収された油化物は化学原料に、そしてコークス炉ガスはエネルギー源として活用される。多用途に廃プラスチックがリサイクルされるユニークな方法である。新日鐵の研究によれば、1%程度の投入の場合、DI (Drum Index)、CSR (Coke Strength after Reaction) などのコークス性状に影響は無いとされている。また廃プラスチックの粒度の影響についても調査し、ポリエチレンでは10 mm、ポリスチレンでは3 mmでコークス強度が最小になると報告している。このように廃プラスチック投入の石炭乾留現象に及ぼす影響は明確にされ、工業化の指針となっている。

同社は最初に名古屋、君津に4万t/年の処理設備を建設し、以降、室蘭、八幡においても各々2万t/年の設備を設け、全国的に同技術を展開している。現在では大分の新設に加え、各設備の能力アップを行い、総計年間22.5万tの能力保有に達するとされている。

1.11 新製鉄プロセスと新技術の萌芽

1.11.1 新製鉄プロセスのグローバル化

20世紀における直接製鉄プロセスの急速な発展は世界的な鉄鋼需要の増加に対応して、ラテンアメリカ、中近東あるいはアジアの工業発展途上国が鉄鋼を生産し始めたことが一つの大きな理由である。鉄と鋼創立80周年記念特集号では、「新製鉄法への始動」と表題された本項であるが、その後10年間の新製鉄技術の進歩は、相互依存関係の網の目がいくつもの大陸にまたがって広がっている世界の状態であり、まさしく、この10年ほどですっかり耳慣れた言葉になったグローバル化の様相を呈している。

世界製鉄業の動向は、20世紀からの延長路線に加えて、以下の5点に集約される。第1には、「アジアを中心とする鉄鋼中進国の台頭」によって、アジアにおける日本の製鉄原料購買独占の妙味が薄れてきていることである。第2には、ブラジルを主体とした成長ゾーンの拡大によって、地球的な規模での「グローバルな資源分配」が予想されることである。この成長ゾーンの拡大には、新製鉄法の拡大による「コプロダクション」の勃興があげられる。さらに、第3として原燃料ソースの多様化に伴う「高炉像の変容」があげられる。第4には、北米での粒鉄生産あるいは豪州における冷鉄生産など資源の地理的利点を享受できる先進諸国の「鉄源供給形態の高品質化」が加速していることである。第5には、欧米を主体とした先進諸国が、地球を一体として「グローバルな開発研究活動」を展開していることである。

1.11.2 新溶銑製造法の拡大とコプロダクション

高炉によらない一般炭を用いた溶銑製造法としては、COREXプロセスが、1987年に世界初の商用化プロセスとして南アのISCOR社に完成（年産30万トン）し、1989年から生産されている。1995年から韓国POSCOにおいても年間60万トンの設備が操業を開始し、さらにインドJindal（年間160万トン）および南アSaldanha（年産65万トン）において1998年から1999年にかけて稼働を開始した。Jindal社では日産2,000トン容量のCOREX2基からの発生ガスから130 MWの発電設備2基を稼働させている。また、Saldanhaにおいては、直接還元鉄製造プロセス（MIDREX）を併設し、日産2,500トン程度のDRIを生産している。

POSCOにおいては、鉱石粒度の制約を解消するためシャフト炉の代わりに、3段の気泡流動層を用いるFINEXの開発が行なわれており、年産60万トン規模の実証試験操業が、2003年5月から浦項製鉄所で開始された。その後、2010年に改修時期を迎える浦項第1、2高炉をFINEXに置き換えるほか海外への技術移転を推進する予定であるとしている。

インドでは、1997年に国営鉱山開発会社（National Mineral Development Corp.）が、Bailadila鉱山の尾鉱（red mud）を製錬するため、ROMELTのライセンスを取得した。ROMELTの開発母体であるMoscow Inst. of Steel and Alloy（MISA）とSteel Authority of India Ltd.（SAIL）が、ROMELT-SAIL Ltd.を設立し、年産30万トン規模の設備建設が、2005年完成の予定である。ROMELTプロセスは、溶融還元炉単段であり、鉱石の還元をシャフト炉でほとんど完了させるCOREXプロセスとは、対極の還元機構をなすが、いずれも発生ガス顕熱は廃熱回収ボイラーにて回収し、発電に用いられる。豊富な鉄鉱石と限られたコークス用炭の問題が、インド製鉄業の発展にともなって顕在化する矛盾であった。その処方箋が、前述の新しい製鉄法の実現あるいは、後述の伝統的な高炉法に適合させる形での新技術の形成であり、これにより21世紀初頭の新製鉄プロセスの展開が特徴付けられる。

1.11.3 高炉像の変容

従来の高炉法は、膨大な設備投資を必要とし、その大型化は、生産弾力性の観点からも利するところは少ない。これらの背景を受けて、ブラジルではTubarao第2高炉（年産120万トン）を原型にしたCBF（Compact Blast Furnace）の概念が、市場に導入されつつある。この小ロット・高品質化の潮流は、コークス灰分由来のトランプエレメントが少ない木炭高炉が再脚光を浴び始めたことも追い風となっている。さらに、ブラジルでは、異型シャフト炉で炭材内装ペレット（ブリケット）の還元と溶解を連続して行い、溶融鉄を生産

するTECNOREDプロセスの開発が着手された。Joinvilleでの時産7トンのパイロットプラントを経て、North Star Steelにライセンスが供与され、時産40トン規模の試験プラントが1998年5月に操業を開始したが、工業的に実用化されたとの報告はない。

一方で、インドの電気炉操業における課題は、自家発電の不足である。その解決手段としてUsha Martin Industries社は、1994年に開始したJamshedpur線棒工場の拡張計画の一環として1995年に日産400トンのMBF（Mini Blast Furnace）を完工した。

これらの事例は、高炉の大型化の歴史を一見、逆行しているようにみえる。しかしながら、酸素高炉を原型とし、さらには、将来の炭材内装原料の使用による高速還元を利用した高出銑化も期待される。設備コストの最適化および小ロット・高品質化に向けた高機能高炉に向けた萌芽として認識すべきものと考えている。

1.11.4 鉄源供給形態の多様化

以上のように南半球の製鉄業は北半球の製鉄の延長ではあり得ていないところに南半球の製鉄の特異性が象徴されていると言える。豪州では、1995年にAusmelt社、Meekatharra社、南豪州政府による実証プラントを中核としたSASE（South Australian Steel and Energy）プロジェクトが結成された。AusIronは、鋼製上吹二重管ランス（Sirosmelt Lance）を用いる非鉄製錬プロセスの鉄への応用プロセスである。本プロジェクトは、南オーストラリアに産出する一般炭と鉱石を原料にした年産250万トンの冷銑生産と発電事業を行うことを目的としており、Whyallaにおいて時産2トン規模の実証試験炉を稼働させた。

一方で、粉状の鉱石と石炭をあらかじめ混合しておき、スラグ浴に浸漬した水冷ノズルから鉄浴に向けて投射することによって鉄浴内で鉄鉱石を還元、浸炭させるプロセスが、Hismeltである。同プロセスは、西オーストラリア州のKwinanaに年産80万トン規模のプラントを2004年末の立ち上げで進められている。本プロジェクトには、Rio Tintoが60%、Nucorが25%、三菱商事が10%、首都鋼鉄が5%を出資し、製品（銑鉄）は、アジアをはじめとし、外販される予定である。

1.11.5 日本における製鉄プロセスの変化とソフトパワー

日本においては、1988年から8年間の国家プロジェクトにおいて生産量の調整が、容易で、原燃料の選択の自由度が高い高炉代替製鉄法としてDIOS（Direct Iron Smelting reduction process）の開発が行なわれた。1993年10月から1996年1月までの合計10キャンペーンの実証試験操業から

商用設備の石炭原単位は730～750 kg/トンと推定され、日産6,000トン規模では、商用設備が2基必要であり、高炉法と比較して、設備コストで35%、製造コストで19%の削減が可能とされた。溶融還元炉1基あたりの生産能力を大幅に拡大させることを目的とし、商用設備諸形式のエンジニアリングが実施された。そのひとつとしてのDuplex-DIOSは、鉍石の予備還元率を向上させることを目的にロータリーハース炉などの既存の固体還元技術を予備還元段階として溶融還元炉と組み合わせた形式であり、海外へ技術移転を含めた実用化の検討がなされた。

一方、日本経済は、バブル崩壊後13年がたち、グローバル競争の激化やデフレの進行、財政緊縮にともなう厳しい不況をリストラで乗り越えてきた。その結果、上述の世界ではダイナミックなプロセスが萌芽したのに対して、日本の鉄鋼業では高付加価値の製品をさらに目指す「高付加価値主義」が第一義としてダスト処理および鉄源供給において静かに進行したと言える。

ロータリーハース法は、固体炭素の存在下で、約1,300℃という高温で操業されるため、比較的低温度で高い蒸気圧を持つ金属を含む製鉄ダストやスラッジ、とくに、高濃度のZn、Pb、Cd等を含む電気炉ダストおよびミルスケールからの有価金属回収に適している。新日本製鐵(株)広畑製鉄所ではロータリーハースプロセスによって転炉ダストを年間21万トン処理しており、ロータリーハースの生産性100 kg-DRI/m²hにおいて、金属化率91.9%、脱Zn率94.0%を達成している。君津製鉄所では、所内発生ダストを月間処理能力1.5万トンのINMETCOプロセスで処理し、還元ペレットを高炉で、微粒還元鉄を焼結プロセスにリサイクルしている。この還元ペレット(金属化率70～85%)は高炉用として50 kgf/cm²以上の強度に調整されており、高炉の燃料比の低減に寄与している。

これらのロータリーハース法の新展開による粒鉄製造プロセスが、ITmk3 (Ironmaking Technology mark three) とHi-QIP (High Quality Iron Pebble) である。従来の還元鉄は固体状態での鉄鉍石を還元するため、脈石を多量に含み、これがスクラップに対して不利な点であった。炭材内装塊成鉍を1,350～1,500℃の高温で急速に加熱・還元すると、反応の最終段階で鉄とスラグが溶融して脈石を分離できる。ITmk3は1,350℃で加熱還元するため還元は固体の状態で行い、反応がほぼ終了した時点で1,400～1,450℃に昇温して金属とスラグを溶融分離する。したがって、溶融スラグ中のFeO含有量は1%以下と低い。ITmk3で鉄鉍石から製造した粒鉄の代表的組成はTFe 96～97%、C 2.5～3.5%、S 0.05%と報告されている。一方、Hi-QIPは、1500℃の高温で加熱・還元するために、還元の途中段階で酸化鉄の溶

融が起こる。溶融スラグ中のFeOが内装炭材および炉床炭材と反応して金属を生じ、スラグと分離する。炉床炭材は中間段階で生成する高FeOスラグから炉床を保護するとともに炭素を供給する役割を果たす。これらのプロセスで得られる粒鉄はスラグを含まず、炭素を含んでおり、ハンドリング性に優れると共に製鋼コストを大幅に低減できると期待されている。

ITmk3プロセスは、2001年11月に米国ミネソタ州政府および北米鉍山会社クリーブランド・クリフス社、電炉メーカー スチールダイナミック社などが出資するメサビナゲット社との間で(株)神戸製鋼所が、商品化に関する覚書を締結し、2002年4月から年産25千トンの実証プラントの建設を終え、2003年5月から試験生産を開始した。パイロット規模でのHi-QIPプロセスの開発は、NEDOの民間基盤技術支援制度からの委託研究としてJFEスチール(株)が、2000年度から開始した。

以上のように、世界の新製鉄プロセスの位置付けは、これまでの高炉法との二者択一論に対して、世紀を跨いで、渾然一体化してきており、その結果、新製鉄法および高炉法の両者がグローバルに変容しつつある。そのなかで、日本の製鉄プロセス像は、高炉法を主体としたハードパワーと原料供給に融和する型でのソフトパワーに二極化すると同時に、その両者を重視するスマートパワーに重心が移行してきている。

1.12 CO₂削減技術への新たな展開

1.12.1 移動現象定量化と新高炉操業法評価

プロセスを解明することはプロセス内で生じる物理的、化学的变化を定量的に理解するとともに、プロセスの性能評価および制御を可能にすることである。この目的を達成するにはプロセス内で生じる現象のメカニズムに基づく変化の速度式を得ること、および、プロセスを記述する状態方程式の導出と数値シミュレーションを実行することが必要である。また、モデルを利用してより高効率で低環境負荷の新プロセスあるいは新操業法などを検討するためには仮想操業に関するシミュレーションを実行することになるため、要素現象を記述する速度式は予想されるプロセス内状況に対処できる形式にする必要がある。

高炉の移動現象論的研究はほぼ半世紀の歴史があるが、従来は、実プロセスの解析に主眼があったが、最近10年間におけるモデル化やシミュレーション技術および要素現象の解明における進歩は仮想操業のシミュレーションを可能にした。