

以上に抑止することが重要であり、そのために以下の3点を長寿命化の基本的な考え方としている。

1) 炉令に応じた操業設計

最大の外乱は押詰まりであり、老令化すればするほど押詰まり回避が必要である。そのためには、装入炭の嵩密度、収縮量などの性状管理および炉壁カーボン管理の強化が重要である。

2) 定期的な炉体診断

炉体の劣化・変形は緩慢であるが、確実に進行する。定期的に定量診断し、長期的な視点からその傾向を見極めるとともに、操業設計などに反映させることが重要である。

3) きめ細かな操業管理と炉体保全

炉の機密性保持と炉体金物の締め付け維持が必要で、そのためには炉温管理、炭化室の壁面管理などの日常管理をより強化するとともに、劣化部位の補修周期を見直し、より計画的な炉体修理の実施が重要である。

(2) 炉体診断技術

コークス炉の劣化は、炉令で20年前後から炭化室の欠損や燃焼系統の不具合による生産障害、環境悪化、メンテナンスコストの増大が見られてくる。特にコークス炉の炭化壁は

最も過酷な条件下にあることから、炉令の律速要因と考え、レンガの薄肉化と貫通した縦亀裂長を炉壁劣化の重要な指標としている。

従来の炭化壁診断では、炉外からの目視による外観観察で実施していたが、例えば川崎製鉄(株)水島製鉄所の1,2コークス炉で開発された炭化室ITVにより、全壁面を自動的にモニタリングすることが可能となり、劣化の指標として経時変化の把握に活用している。

炭化室プロフィールの変形も、押出し性や目地切れによる環境悪化に大きな影響を与えられ、定期的なプロフィール測定や煙道煤塵濃度の計測を実施し傾向管理している。

(3) 炉体補修技術

前述した診断技術と一体となった炉体修理により、劣化の加速は抑止できる。炉体修理は溶射補修法が主流となっている。従来の溶射補修は、熟練した炉修作業員による補修技術を必要としたが、現在は、自動化や長尺ランス化などの改良が実施され、溶射補修のスキルレス化が図られつつある。また、熱間積替補修の大規模修理も各社で実施されており、さらなる延命が期待される。

2.11 新製鉄法への始動

2.11.1 まえがき

溶融還元法とは溶融状態の鉄鉱石の還元を取り入れた銑鉄または鋼の製造法である。

高炉でも溶融還元が起こるがその割合は少なく、溶融還元というよりは融着帯を形成する半溶融還元なので、高炉は溶融還元法の仲間には入らない。つまり溶融還元法は高炉によらない鉄鉱石還元法の一つである。

2.11.2 背景

高炉は溶銑を製造する優れた炉であり、世界各地で大規模なものから小規模なものまで稼働している。しかし、高炉はコークスを使用しないと操業できないので、粘結炭の入手はむずかしいが非粘結炭や天然ガスなどが豊富に得られる地域では、これらを使用して高炉によらない方法で鉄鋼を製造している。シャフト炉やロータリーキルンによる還元鉄の製造はその代表的な例である。還元シャフト炉にガス化・溶解炉を組み合わせたCOREX法もこれらの一つであり、非粘結炭を使用して溶銑を製造している。いずれも小～中規模(年産60万t程度まで)のものである。

溶融還元法は、小規模で実用化されたものもあるが、開発中の方法である。今後のエネルギー情勢を考えると、いくつかのアイデアのなかで非粘結炭を直接使用(電力に変換して電気炉を用いる方法ではなく)する方法が世界の大方の地域

で有力視されるようになった。この方法には、溶融還元鉄浴を使用する方法や石炭の流動層を使用する方法などいくつかの方法がある。いずれも非粘結炭の直接使用に加えて、溶融状態の鉄鉱石の還元速度が固体の鉄鉱石のガス還元速度に比べて数倍速いことから溶融還元炉そのものの設備を小さくできる、全体としても高炉法や還元鉄製造法のような現存する高炉によらない鉄鋼製造法に比べて設備が小さくなることを期待できそうである。さらに、工程省略によるエネルギーの節減・炭酸ガス発生量の低減、工程が短く稼働休止が容易になり生産や品種に応じた臨機応変な運転が可能になりそうなので、この溶融還元法に注目が集まっている。ここでは日産数百tの規模で最近実験が行われている鉄浴を使用する方法を中心に説明することにしたい。

2.11.3 理論とその応用上の課題

溶融還元法の反応や相変化は、溶融している酸化鉄の還元、固体の酸化鉄の還元、スラグによるメタルの精錬、アルカリや硫黄の循環など、個々には高炉の中で起こるものと変わらない。しかし、高炉とは原燃料の辿る温度、時間、酸素のポテンシャルなど異なるところがある。また、ミクロにもマクロにも物理的な状態が異なるところがある。例えば、鉄浴の溶融還元はFig. 2.41のように流動性の良い浴の中で溶融状態の酸化鉄が溶鉄中の炭素とチャー中の炭素によって還元されるが、この反応に関しては不明な点が多く残されている

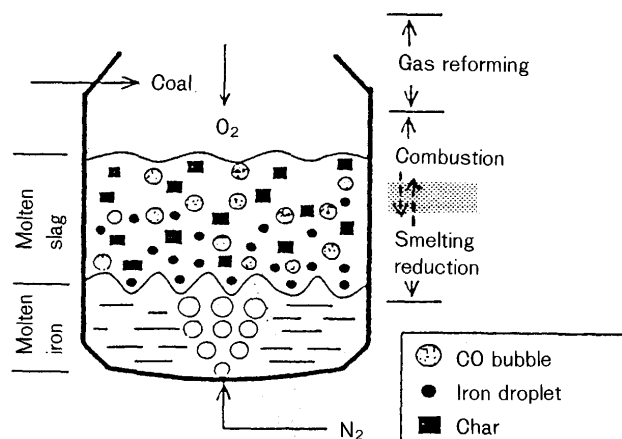


Fig. 2.41. Image of in-bath smelting reduction.

る。すなわち、還元反応速度とその支配要因に関しては、固液反応・液液反応へのガス相の介在と圧力の効果が、反応場の形成とその支配要因に関しては、石炭からチャーを経る炭素の供給形態と浴の流動挙動・スラグフォーミング状態が、そして以上が総合されて生産性に及ぼす効果などがあり、これらをマイクロな実験や実用規模の状態に似せたマクロの実験で解明し最適化していく必要がある。

溶融還元法の熱伝達については、溶融還元が大きな吸熱反応であり、効率良く熱を反応場へ運ぶことが必要である。これに対して、マクロには液中燃焼で石炭とガスを燃焼し、浴をガス攪拌することが効果的なようである。ただし、燃焼と還元の間が互いに近接しているため、両者が棲み分けるためには、燃焼と伝熱と還元を同時に考え最適解を見いだしていく必要がある。なお、この過程では酸化鉄の溶けこんだスラグの性状が重要であるように思われる。

上記の鉄浴溶融還元反応と熱伝達は耐火物との関わりが欠かせない。

もう一つの理論としては溶融還元法の総合的な熱物質フローに着目した全体構成の構築が挙げられる。

溶融還元法では、溶融還元炉の温度が鉬石を溶かすために高く、ここから排出されるガスの顕熱と潜熱（還元力）を有効に利用できるかどうか経済性の重要な決め手になる。すなわち、この種のガスは電力に変換することが最も一般的な利用方法であるが、それ以上に経済的な方法がないかという命題である。予備還元はこの方法の一つであり、溶融還元の負担を一部肩代わりできることを考えると、これは非常に有力な方法である。すなわち、予備還元を溶融還元の前段にもつことにより、溶融還元法で自己完結する場合石炭消費原単位を低減でき、生産性の向上につなげることができる。

もっとも、逆に溶融還元法は石炭のガス化機能を持つと考えて、副生ガスとその顕熱・潜熱を系外で利用して、系外を含めたより広い系の経済性を追求することもできる。

全体構成は以上のようなことも考えて構築することになる。

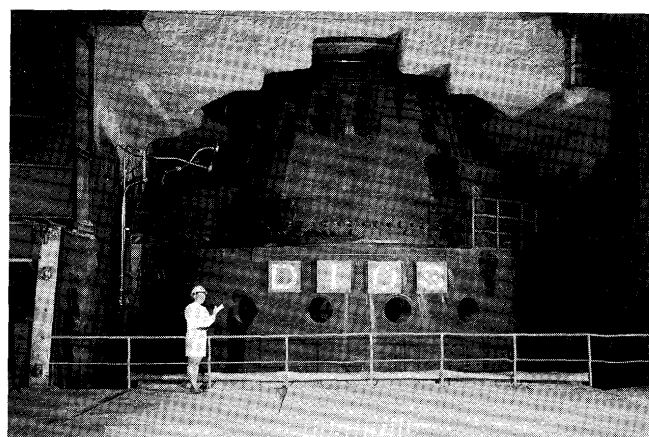


Fig. 2.42. Illustration of DIOS pilot plant.

2.11.4 現状

石炭を直接利用する溶融還元法の大規模な実験が、現在日本を初めアメリカ、オーストラリア、ヨーロッパなどで進められている。その瞬間生産量を仮に年産になおすと数十万tの規模である。これは実生産を行っている還元鉄製造法やCOREX法に匹敵する規模であり、大きさの点では実用化目前ということができる。しかし日産5,000tや10,000tの高炉にとって代わるためには、今後実用1号機2号機を経てスケールアップしていくが必要になるので、実用化研究の緒についたところといえてよいであろう。

日本では、日本鉄鋼連盟が、通産省の石炭生産・利用技術振興費補助金を受けて、国内鉄鋼一貫製鉄8社の参加のもとに石炭利用総合センターと溶融還元法の共同研究を行っている。この共同研究では、日産500t規模のパイロットプラント試験に基づいて数千tの実用機の経済性を検討し、また設備の設計を行うことになる。研究は1988年度から始まり現在パイロットプラントで試験をしている段階にきている。1995年度に終わる予定である。この方法をDIOS法(Direct Iron Ore Smelting reduction process)と呼んでいる。パイロットプラントはNKKの京浜製鉄所構内に設置されているが、Fig. 2.42にその概略図を示す。石炭と同様に鉬石も粉のまま直接使用するために、予備還元炉と予熱炉は流動層になっている。また、溶融還元炉の排ガスに粉炭を添加してガスの温度を調節し還元力を回復する機能をもつ。Fig. 2.43は溶融還元炉である。酸素上吹ランスを1本と窒素の底吹ノズルをもつ。石炭と鉬石は上方より装入する。溶融還元炉の大きさは100t転炉相当である。

DIOSと他の鉄浴方式の溶融還元法を比べると、オーストラリアのHISmeltでは、助燃材が酸素ではなく高温空気を使用すること、溶融還元炉への石炭の装入位置が浴の上方からではなく浴の中であること、また、溶融還元炉と予備還元炉の連結すなわち溶融還元炉のガスを予備還元炉へ導入する方法がサイクロン・分散板を経ないで直結することなどの違いがみられる。アメリカのAISIの共同研究では、鉬石はペ

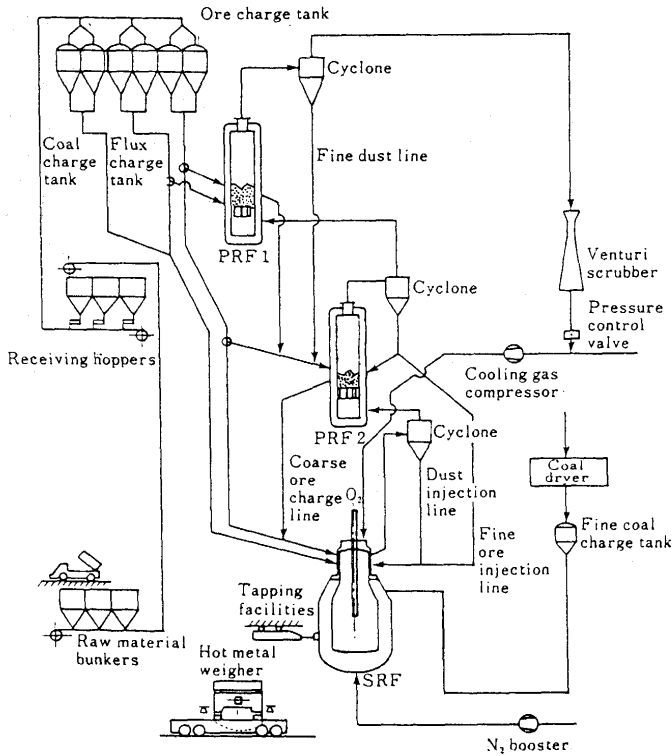


Fig. 2.43. Illustration of DIOS pilot plant.

レットを使用しシャフト炉で予備還元を行うので流動層に比べてガスの導入は容易であろう。

Hismelt の報告では、溶融還元炉のスラグ浴が DIOS や AISI に比べて浅くそこで起こる反応が異なると述べている。

各国で行われている溶融還元法の研究の特徴にも注目して DIOS を考えると、前項の理論を規模の大きなところに適用することの中で、特に、粉鉱石を流動還元し集めて溶融還元炉へ移送し浴中に鉱石を溶かしこむこと、固体炭素を一定量浴中に留めること、上吹酸素と底吹ガスの条件、その結果溶融還元と伝熱の鍵を握ると思われるスラグ浴のチャーや粒鉄の最適な分布を得ること、溶融還元炉の形状・炉体構造、溶融還元炉ガスの予備還元炉への導入とガス中ダストを回収循環すること、系外を含めたエネルギーの最適化などが、DIOS の課題であるように思われる。今後数年各国で精力的に実験が行われるのでその成果に期待したい。

2.11.5 高炉法に基づく新プロセス

抜本的な新製鉄プロセスとして、溶融還元法の開発が現在、活発に進められている。しかし、今後、高炉法が溶融還元法に急激に変わるのではなく、コークス炉の寿命、エネルギー事情、環境問題の変化に応じながら、両者が両立、あるいは溶融還元法に徐々に変わっていくものと考えられる。現行の高炉法は今後も、主要な製鉄法として位置づけられると思われる。ただし、高炉法にとっても、前述のような鉄鋼業を取り巻く環境の変化に柔軟に対応せざるを得ない。このような観点から、そのプロセスの改善、機能拡大を狙った技術開発がこの十年間に始まりつつある。

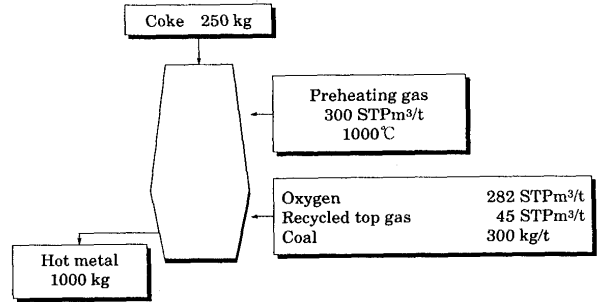


Fig. 2.44. Conception of oxygen blast furnace.

(1) 粉鉱石吹き込み

高炉の操業柔軟性、原料の選択幅拡大、微粉炭多量吹き込み時の通気性確保、高酸素富化操業時の羽口先温度、および熱流比制御のために、粉鉱石を直接、羽口先から吹き込む技術が開発されつつある。冷粉鉱石を直接、投入することにより高炉の燃料比は増える傾向になるが、難焼結粉などを焼結機を経由せずに高炉で使用することにより、製鉄プロセス全体で合理化につながる可能性がある。本プロセスでは粉鉄鉱石を高温のレースウェイ内で急速還元するため、レースウェイ内溶融還元とする見方もある。住友金属工業(株)では超複合送風と命名し、コークス充填層のホットモデル実験を経て、和歌山3高炉で羽口1本試験を行っている。その結果によると微粉炭との同時吹き込みにより粉鉱石の還元率は上昇し、粉鉱石の加熱と溶融還元は速やかに進む。また(株)神戸製鋼所では粉鉱石の急速還元についての基礎研究を行い、同様な結果を得ている。以上のような粉鉱石吹き込みは、合理化技術だけでなく、高炉の機能拡大にもつながる可能性があるが、同時にその吹き込み量によっては炉芯の温度低下、レースウェイ近傍の通気性、通液性低下を招くことも報告されており、適正な条件の選択についてはさらに研究を要すると考えられる。

(2) 酸素高炉法

高炉において酸素を常温で送風することにより、還元ガス濃度が高まることにより鉄鉱石の還元速度が上昇し、生産性も向上することは以前より提唱されており、欧州などで基礎研究がなされた。近年、この考えを基礎に、いわゆる酸素高炉法の研究、その実証試験がなされた。NKK では炉頂ガスを燃焼させた予熱ガスをシャフト部に吹き込み、シャフト部における熱不足を解消させたプロセスを提唱するとともに、内容積 3.9 m³ の試験高炉を用いて実証試験を行っている。そのプロセスの概念を Fig. 2.44 に示すが、純酸素送風により多量の微粉炭を吹き込むことが可能となり、生産性向上も併せ、溶銑コスト削減への効果は大きい。また、欧州、中国でも同様な酸素高炉法の研究が進められている。羽口から冷酸素を送風する基本概念は共通であるが、炉頂ガスの循環に関して、脱炭酸を行うなど相違点もある。いずれの方法も実現が期待されるが、酸素製造コストが本プロセスの経済評価に大きく影響するため、安価な酸素製造技術の開発も同時に必要と考えられている。