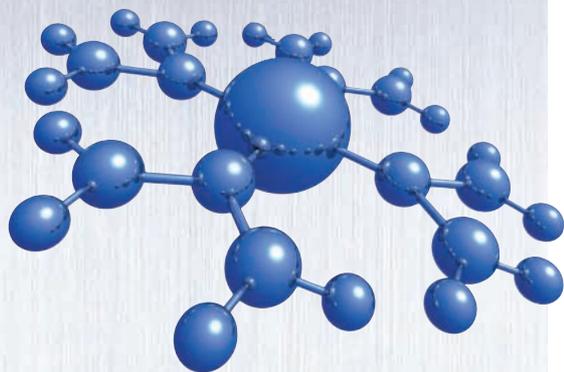


# 鉄鉱石から鉄を生み出す(下)

「製鉄プロセス」は、「鉄鉱石」から「銑鉄(注)」を生み出す工程だ。鉄鉱石とコークスを反応させ、鉄鉱石の酸素をいかに効率よく取り除き、“鉄”を取り出すかがポイントだ。これまで2回にわたり、製鉄業の原点である、鉄鉱石を鉄に生まれ変わらせる「高炉」のダイナミックな世界を紹介してきた。3回シリーズの最後となる今号は、「これからの製鉄技術」にスポットをあてながら、将来を展望する。



## 新日鉄の“技” 原燃料の事前処理技術

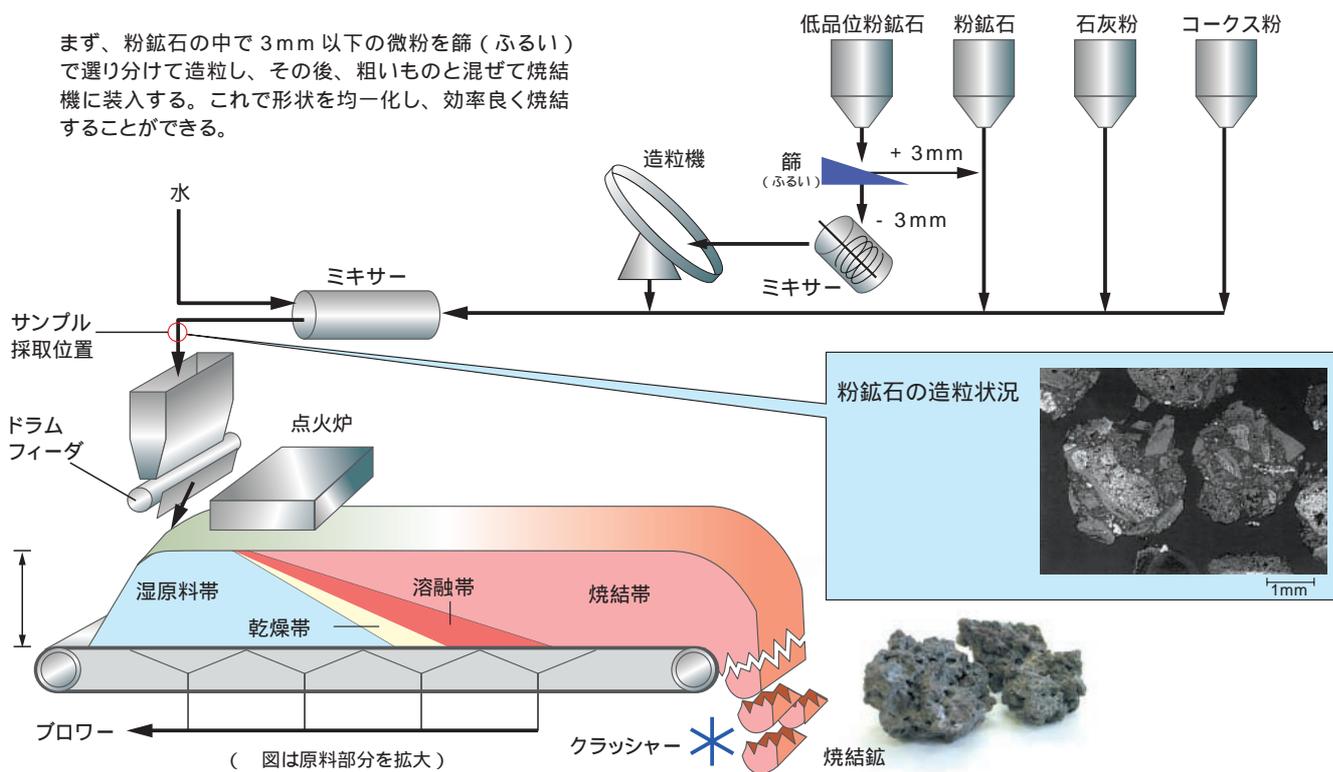
原燃料の品質を決める重要な工程は、「焼結機」と「コークス炉」での“事前処理”だ。使用する鉄鉱石は、5mm以下の粉状になった粉鉱石が主体となる。産地も性質もバラバラな粉鉱石の配合を揃え、なるべく同じになるようにブレンドする。しかし、この粉鉱石をそのまま高炉に装入すると高炉は目詰まりを起こし、炉内の下から上に向かう還元ガスの流れを阻害してしまう。そこで事前に少量の石灰粉を混ぜ、粉鉱石を一定の大きさに焼き固めて鉱石の塊成物を造るのが「焼結機」だ。

また、焼き固められた鉄鉱石と一緒に装入されるコークスには、鉄鉱石を還元して鉄分を取り出す役割や鉄鉱石と石灰石を溶解する役割に加えて、還元ガスや溶けた銑鉄の通路を確保する重要な役割を持つ。そのためには、粘りの出方が違う色々な石炭を所定の粒度に粉砕した後、うまく組み合わせて「コークス炉」で蒸し焼きにし、簡単に割れたり潰れたりしない強さと粒度を持たせることが必要だ。

新日鉄では、1980年代後半から、低品位原料の新たな事前処理技術を開発してきた。その代表技術の一つ

### 選択造粒法を適用した焼結鉱の製造工程

図1



注：炭素分を4~5%含んだ鉄。この銑鉄の炭素や不純物を、次工程の製鋼プロセスで徹底的に減らすことで、粘りのある強靱な「鋼(はがね)」を造る。

が、「焼結工程における選択造粒」だ。粉鉱石の中で3mm以下の微粉を部分的に篩(ふるい)で選り分けて、その部分だけを造粒して、その後粗いものと混ぜて焼結機に装入する。微粉部分をあらかじめ造粒して形状の均一化を図り、効率良く焼結を行う技術だ(図1)。

また、コークス炉でも低品位の石炭が多く配合できるように、同様に微粉部分を事前に造粒・塊成化した後にコークス炉に装入して品質の良いコークスを造る研究を進め、「DAPS」と呼ばれる技術を大分製鉄所で確立した。

この2つはいずれも微粉原燃料の造粒強化技術として「大河内記念生産特賞」(前者は1993年、後者は1990年)を受賞している。新日鉄では、こうした事前処理技術の開発を通じて原燃料の品質向上を図り、前号で述べた、“強度と気孔率の高さ”といった相反する性質を両立させた高炉装入物を造り込んでいる。

さらに、この原燃料の事前処理技術は、鋼材製造に必要な総エネルギーの約70%を占める銑鉄製造部門のエネルギー消費量を減らすためにも有効だ。原燃料の事前処理技術が大きく貢献して、新日鉄の場合、銑鉄の製造エネルギーを端的に表す還元材比(コークス比+微粉炭吹き込み比)が490kg/t-p前後と国内他社と比べてきわだって低い。還元材比が低いということは、1tの銑鉄をつくる場合のCO<sub>2</sub>発生量が少ないことを意

味している。したがって、新日鉄は環境負荷の少ない鉄を他社に先駆けて提供しているといえる。

## 新日鉄の“技” 高炉内のシミュレーション技術

新日鉄の炉内平均容積は国内最大で、生産性も最高だ。2003年5月に火入れした君津製鉄所第4高炉(5,555m<sup>3</sup>)に続き、今年5月の高炉改修によって大分製鉄所第2高炉(5,775m<sup>3</sup>)が世界最大となる。こうした超大型高炉の操業は、前号で述べた“融着帯や炉芯コークスの制御”にその難しさがある。新日鉄では、先述した事前処理による原燃料の高品質化をベースに、優れた高炉操業診断技術、コントロールシステムの構築を進め、“超大型高炉の高効率操業”を高いレベルで実現している。

特に高度な数学モデルをベースとした、融着帯や炉芯コークスの形状など高炉内の状況を推定する“シミュレーション技術”は、操業管理の飛躍的なレベルアップを実現した。またそれが新日鉄の“特技”でもある。

例えば、100年以上前に日本で初めて建設された釜石・大橋高炉の内部状況を再現することもでき、現在の最新鋭高炉との比較分析を行うことも可能だ。容積が変わることによる形状、プロフィールの変化や、容積の変化に左右されない基本的現象を正確に捉えることができるため、容積拡大をはじめとする高炉技術が進化した(図2)。

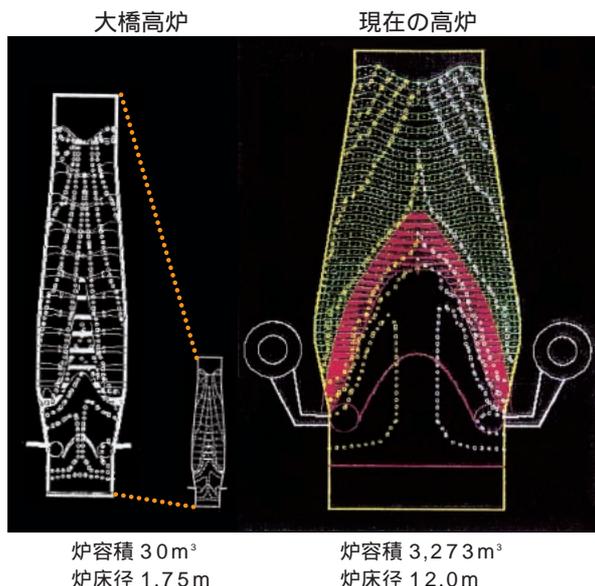
その画像を見ると、高炉は大小に関わらず、内部では同様の現象が起きていることが確認できる。新日鉄では、高炉内の還元溶融状況を推定する「ブライトモデル」と、炉頂の装入物分布形態を推定する「ラビットモデル」を組み合わせ、原燃料の装入量・方法の違いによる炉内の状況変化を推定し、変化を先取りした緻密な操業管理を実現している。また、ファジー理論やニューロ理論などを活用したAI手法に基づくエキスパートシステムも開発しており、超大型高炉における操業管理の信頼性を高めている。

新日鉄の高炉技術の強みは、国内5カ所の製鉄所で高炉が稼働していることにある。それぞれの製鉄所は異なる条件下で高炉技術を高めながら操業し、得られる知識や経験は社内で確実にトランスファーされている。高炉技術は普遍的なプロセスであるため、各製鉄所の技術が迅速に共有化できやすい。

海外に目を転じると、韓国POSCOの浦項第1高炉や中国宝山製鉄所の第1高炉についても、君津第3高炉の技術がベースになっており、隣国にも新日鉄が生み出した製鉄技術の活躍の場が広がっている。

## 旧高炉と現代高炉の炉内状況 シミュレーション

図2



新日鉄の優れたシミュレーション技術で、高炉内の状況を推定。高炉は小さくても大きくても、内部では同様の現象が起きている。

- ・(左) 100年以上前に日本で初めて建設された釜石・大橋高炉の内部状況を再現。
- ・(右) 現在の最新鋭高炉

## 循環型社会の構築に向けて 製鉄技術を“活かす”

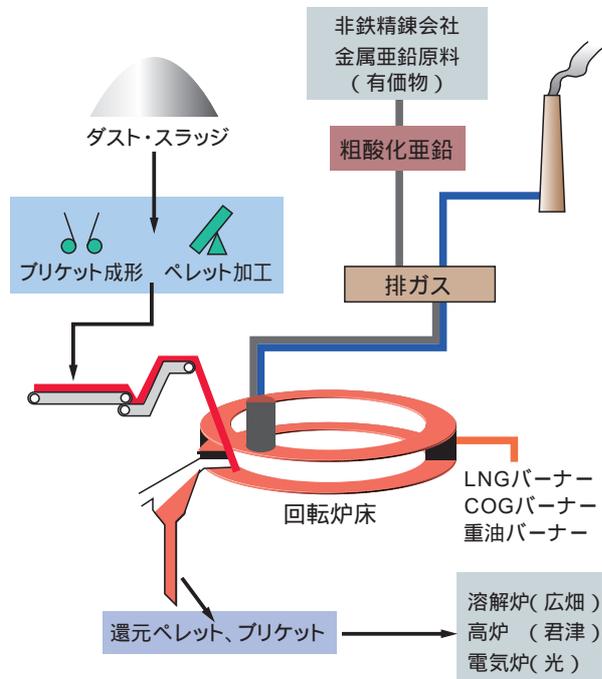
これまで解説したように、高炉やコークス炉は鉄製造の中心的な反応炉であると同時に、非常に優れた「高温溶解炉」、「ガス発生炉」だ。これらの機能の有効活用は循環型社会構築のキーになり得る。単に鉄を造るだけの高炉やコークス炉ではなく、炉のもつ機能や炉から生み出されるエネルギーをうまく活用して社会貢献を果たすことができる。

従来から高炉やコークス炉から出るエネルギーは発電

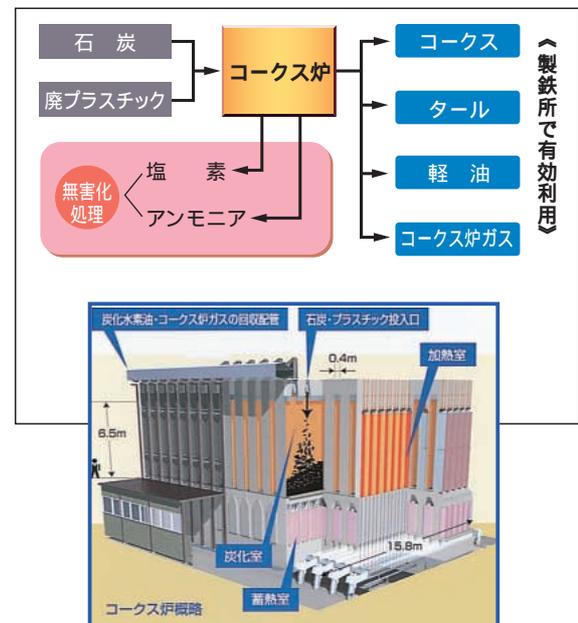
やガス供給、熱供給などに活用されてきた。最近では、さらに、社内外の副産物の処理にもこれらの炉の技術が大いに活躍している。製鉄所から発生するダストやスラッジを「回転炉床式還元炉（RHF）」によって付加価値の高い還元鉄に変え、高炉で再利用する技術が君津製鉄所で開発された。これは副産物のリサイクル利用と地域環境改善に貢献した一例だ（図3）。

一方、新日鉄が自治体に提供している、高炉と同じシャフト炉でゴミを処理する「直接熔融資源化システム」は、高炉の高温溶解技術が社外の廃棄物処理に貢献している好例だ。また、都市生活から発生する廃プラスチックをコークス炉に添加して石炭の一部を代替する技術も

製鉄ダスト・スラッジ再利用設備の概要 図3  
(RHF : Rotary Hearth Furnace)



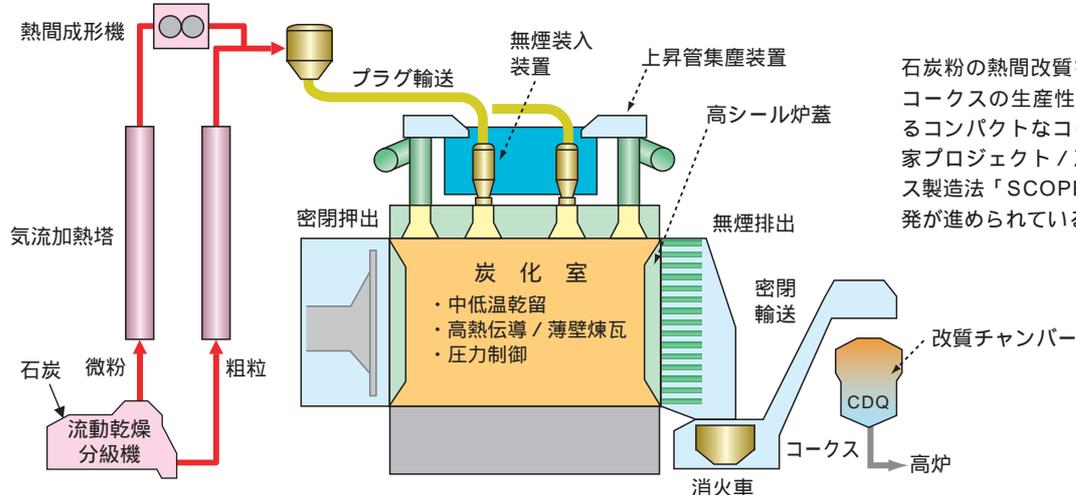
コークス炉プラスチック熱分解処理 図4



新日鉄は、石炭の一部を廃プラスチックに代替しコークス炉に添加、100%資源化する技術を世界で初めて開発・実用化した。全国4つの製鉄所で、各地の都市廃棄物の循環利用システムに大きく貢献している。

次世代コークス製造法「SCOPE21」

図5



石炭粉の熱間改質を事前に行い、コークスの生産性を2倍以上高めるコンパクトなコークス炉法。国家プロジェクト/次世代型コークス製造法「SCOPE21」として開発が進められている。

新日鉄が世界で初めて開発・実用化した。現在、全国4カ所の製鉄所に適用され、各地の都市廃棄物の循環利用システム確立に大きく貢献している(図4)。

今後は、さらに、クリーンなエネルギー社会の構築に向けて高炉やコークス炉の役割が一層期待されている。例えば、水素50%前後を含むコークス炉ガスから燃料電池用の水素を取り出す研究が国家プロジェクトとして推進されている。新日鉄は全国各地にコークス炉をもつことから、水素の供給の面からも新日鉄が重要な役割を果たすことが期待されている。

## 未来に向けて さらに“進化”する高炉技術

現在まで約300年間受け継がれてきた高炉技術は今後も進化し続ける。例えば、酸素の多量使用によるコンパクト高炉の実現が考えられる。高炉の下部から吹き込まれる熱風(空気)は、通常、酸素を21%含有しているが、廉価な酸素が大量に供給できれば、熱風中の酸素分を30~50%にまで高めることが可能となり、大きな炉容を持

たないコンパクト炉でも大きな生産性が得られる。

また、コークス炉についても、石炭粉の熱間改質を事前に行う方法でコークスの生産性を2倍以上高めるコンパクトなコークス炉法が提案され、国家プロジェクトで次世代型コークス製造法「SCOPE21」として開発が進められている。新設のコークス炉への適用が期待される技術だ(図5)。

高炉法によらない新製鉄法の開発も行われているが、日本ではすぐに高炉法に置き換わることはない。なぜなら、高炉法は高品質の鉄鉄を低コストで大量に生産できるだけでなく、鋼材加工部門や発電所などに経済的かつ高効率でエネルギー供給ができる機能を担っているためだ。

高炉を保有しない国でグリーンフィールドに建設する場合は高炉よりも新製鉄炉を導入した方が経済的との評価がある。しかし、既存の高炉で必要な生産能力を持つ先進国では、改修を経てエンドレスに利用できる高炉は今後も経済的に有利だ。

今後、先進国においては、色々な原燃料やリサイクル材を積極的に使いながら弾力的な生産を行うことが余儀なくされるので、将来は高炉法と新製鉄法を併存させた“複合型鉄製造法”も進展しよう。

## “国際分業”も視野に入れた原燃料使用に挑戦を!

新日本製鉄株顧問 奥野 嘉雄(おくの よしお)

最近海外の原燃料価格の高騰や地球温暖化に関するCO<sub>2</sub>問題が顕在化していますが、これらの問題はまさにエネルギー消費の多い製鉄部門においては総力をあげて解決すべき課題と考えます。

しかしながら、既に原燃料の優れた改質技術などで世界最少のエネルギー消費原単位を達成している日本の高炉では、低質エネルギーの回収などで原単位の削減を図ってもコスト高をもたらす、また、回収に必要なエネルギーが多くなり、エネルギー削減につながらないことは皆さんもご承知の通りです。このことは製鉄工程の内だけで課題解決するにはもはや限界に来ていることを示すとも言えます。

したがって、我々が直面している課題を解決するには発想を変えた新たな挑戦が求められます。原燃料について言えば、海外の山元と日本の高炉の間で経済性とエネルギー消費の両面から幅広く事前処理法を考える視点が必要です。例えば、山元で安価な天然ガスや石炭を用いて鉱石中の酸素や結晶水を除去し、この品位の上上がった鉱石を日本の高炉に運んで使用することが考えられます。山元で不必要な酸素や結晶水が減れば鉱石の輸送量が少なくなり、輸送エネルギーも軽減できます。これは一種の国際分業ですが、低品位資源の使用が一層求められる時代ではこのような発想も必要となるでしょう。

一方、エネルギー消費についても削減を図る手法の研究に加えて地球上の循環エネルギーであるバイオマスエネルギーを利用することが考えられます。循環エネルギーですからバイオマス自体のエネルギーは消費してもエネルギーの増大にはなりません。したがって、地球環境面からも望ましいといえます。もちろん、使用に当たっては集荷の難しさや高水分による処理上の問題があって経済的なハードルは高いのですが、化石エネルギーを軽減し、地球温暖化を防ぐ視点に立って、その利用研究への挑戦が期待されます。



プロフィール  
1938年生まれ、岐阜県出身。  
1961年入社。1993年フェローを経て、2002年より顧問。  
1974年：Iron and steel society of AIME  
「AIME Ironmaking Conference Award」受賞  
1988年：(社)日本鉄鋼協会 西山記念賞  
1991年：科学技術庁長官賞「科学技術功労者表彰」  
1993年：(社)日本鉄鋼協会 山岡賞  
1996年：紫綬褒章  
1999年：(社)日本鉄鋼協会 香村賞