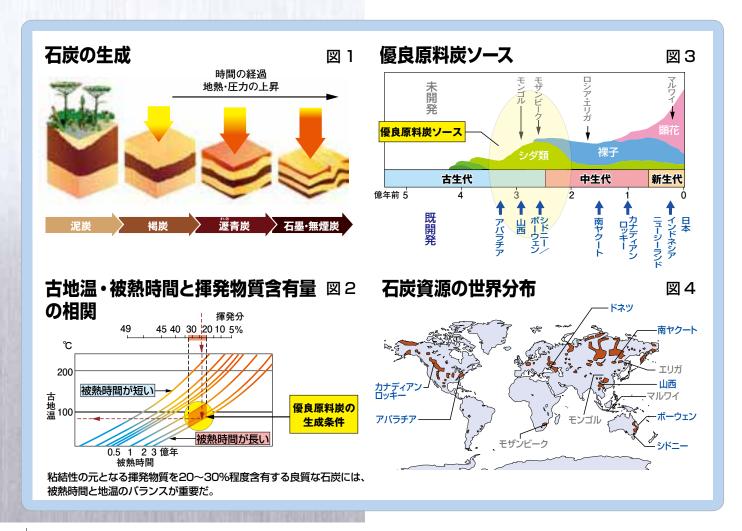
鉄鋼原料(3) 石炭(還元材)の 使用技術

鉄鉱石と並び、鉄鋼原料として不可欠な石炭。鉄鋼業では、粉砕した石炭を蒸し焼きにして強度を高め、品質を均一化したコークスを鉄の主な還元材として使用している。 銑鉄を 1トン生産するためには約 500kg のコークスや石炭の還元材が必要だが、現在、鉄鉱石と同様に、世界の鉄鋼需要の急速な伸びに伴って品質の多様化と劣化が進んでいる。本シリーズの最終回では、石炭資源の概要とコークス製造技術や事前処理技術を紹介するとともに、鉄鋼原料の今後を展望する。

時間・圧力・温度のバランスで決まる 石炭の品質

石炭の元となるのは植物だ。熱帯雨林などで繁茂した30m級の巨木をはじめ、多様な植物が腐敗分解する前に地中に埋もれて堆積し、長い歳月をかけて地熱や圧力を受けながら石炭に変化する。石炭の生成は陸上植物が生まれた約4億年前から始まった。植物は石炭化が進むにつれて含まれる酸素や水素が減り、褐色から黒色に変わるが、地中での時間と圧力、温度の微妙なバランスが、生まれる石炭の品質を左右する。時間が経ち過ぎると無煙炭(アンソラサイト)や石墨などのカーボンの塊になり、逆に短いと植物からの変化が比較的少ない泥炭や褐炭になる(図1)。現在は、その中間にあたる約3~2億年前に堆積した植物が高品質な石炭(瀝青炭)として重用され、鉄鋼業でもそうした石炭を、鉄鉱石から鉄分を取り出す還元材として使用している。

品質の違いを成分で見ると、3~2億年前に堆積した 良質な石炭は粘結性の元になる揮発物質を適度な20~ 30%程度含有し、温度や圧力が高い状態で長い時間を経 た無煙炭は揮発物質が少なく、圧力負荷・時間経過が少 ない褐炭などは揮発物質や水分が多い(図2)。また、植 物にはシダ類、裸子類、顕花類などいくつかの種類があ るが、3~2億年前のシダ類が100℃ぐらいの地熱環境下



で熟成したものが鉄鋼業の原料炭として最適だと考えら れている(図2、3)。

需要増大・厳しい採掘条件を背景に 進む品質の多様化と劣化

現在、エネルギー資源としての石炭の埋蔵量は豊富だ。 鉄鉱石よりもはるかに新しい3~2億年前の地層に存在 し地域的偏在性も比較的小さい(図4)。最近の調査では 経済的に採掘できる確認可採埋蔵量は約9,000億トン以 上、採掘可能な年数は200年以上あるとされている(図 5)。しかし、鉄鋼原料に適した良質な石炭資源の量は限 られており、近年の世界の鉄鋼需要増大により減少傾向 にある。現在、優良な石炭はアメリカのアパラチアやオー ストラリアのボーウェン、中国の山西などにあり、新日 鉄では優良な原料炭は、ボーウェンなどから調達してい る。日本でもかつては北海道や九州などに大きな炭坑が あったが、現在稼働しているのは釧路炭田だけだ。

一般的に、石炭は採掘地でハンドリングしやすい 50mmサイズに砕き、選炭・洗浄してから輸送される。 良質な石炭が現在減少しつつある一つの要因は、大深度 の地下での採掘が難しい点にある。例えば、岩石の硬い 金鉱山では、地下3.900mまで採掘する技術が確立してい るが、石炭は粘土のように軟らかい堆積岩でできている ため、深くなると上部の地層を支えられずに落盤しやす くなる。また採掘時に、地層内に閉じ込められている石 炭の揮発物質が高気圧ガスとなって噴出し、事故につな がる危険性もある。こうした制約により、たとえ可採埋 蔵量が多くても大深度への採掘が進みにくい。

オーストラリアのボーウェン炭鉱は、その品質の良さに 加えて、露天掘りで採掘できる恵まれた環境にある。(写 真1、2)。しかし最近では、ボーウェン浅部の高品質な石 炭が減少していることから地下200~500mの地層での採 掘(坑内掘り)も始まっている(写真3)。世界的には、今後、 浅い地下での採掘も進むものの、安全性の観点から、たと え品質が劣化しても露天掘りのように採掘条件の比較的良 い場所での新規炭鉱開発が進むものと予測されている。

また鉄鉱石と同様に、鉄鋼原料として使われる石炭に 含まれる灰分 (シリカ、アルミナ) やサルファ (硫黄) が 製品の品質に悪影響を及ぼすため、今後の品質劣化の過 程では品質対策も重要だ。新日鉄では従来、粘結性があ り、灰分10%以下、サルファ1%以下の石炭だけを選定 して使用していたが、近年さまざまな石炭を利用する過 程で、品質劣化に対応する技術開発を強化している。

鉄の還元効率を高めるコークス製造 技術

従来から鉄鋼業では、鉄鉱石から鉄分を取り出すた めの還元材として石炭を粉砕して炉で蒸し焼きにした 「コークス」を使用している。この方法は、森林資源の枯 渇から、木炭の代替原料として石炭を使った現在のシャ フト炉(高炉)が登場した18世紀初頭から始まった。

高炉では炉頂部から鉄鉱石とコークスを交互に装入し て、炉下部の送風羽口から熱風を吹き込む。すると時間 経過とともに炉頂部から下降してくるコークスが、熱風 によって一酸化炭素や水素などの高温ガスに変化し、激 しい上昇気流として炉内を吹き昇り、鉄鉱石から酸素を



奪い取って鉄を還元する。従来原料として使っていた木 炭は硬かったため炉内で壊れにくく、ガスの通気を阻害 しなかったが、石炭は比較的軟らかく粉状になりやすい ため、そのまま高炉に装入すると目詰まりを起こしてガ スの流れを阻害する。そこで、3mm程度に粉砕した石 炭をコークス炉に入れ、外側から約1,200~1,300℃の熱 を加えて24時間程度蒸し焼きにすることで(石炭の燃焼 を防ぐ空気遮断で間接加熱)、3mm程度の石炭粒同士が 融着し、簡単に割れたり潰れたりしない粒度と強度を持 つコークスを製造して高炉に装入している(図6)。

コークスは高炉内で最終的にガス化するが、高炉の上部 から腹部までは炉下部から上昇するガスの通気性を確保 するため、固体を保つ必要がある。そのため、鉄鋼原料と して使用される石炭の最も重要な特性として、強度の高い コークスを作りやすい「強粘結性(※1)」が求められる。

前回紹介した焼結鉱と同じように、石炭を粉砕後に粒 度や粘り、溶けやすさなどが異なる粉炭を調合し、品質 の均一化が図られているが、使用する石炭の粘結性が高 いと、蒸し焼き後の結合力が強くなる。新日鉄では、供 給が制約されている、粘結性に優れて不純物が少ない強 粘結炭だけではなく、さまざまな特性を持つ多種の石炭 の複雑な配合を最適化し、高炉操業時の還元効率を向上 させるコークスを製造している(図7、写真4)。

原料品質の多様化と省エネルギーに 挑む技術開発

最後に、コークス製造技術の高度化に寄与した事前処理 技術の開発事例をいくつか紹介する。新日鉄ではまず、コー クスの製造時間の短縮と製銑プロセスの省エネルギーを目 指し「調質炭装入法 (CMC ※2)」(図8)を導入した。石炭 に含まれる約10%の水分を、コークス炉への装入前に低温 ガス (製鉄所内の排熱を利用) で蒸発させて、水分5~6% に緻密に制御し、コークス炉の加熱効率を高める技術だ。

次に、微粉炭を事前に塊成化して配合する「微粉塊成炭 配合法 (DAPS ※3)」を開発した (図8)。 石炭の水分を約 2%に乾燥させて、粒径が0.3mm以下の微粉炭と0.3mm 以上の粗粒炭に分離する。そして微粉炭に圧力をかけ塊 成化して、粗粒炭と混合した後にコークス炉に装入する 方法で、微粉炭を事前に塊成化することにより、コークス 炉に装入する石炭の嵩密度を上昇させることができ、コー クスの強度が向上する。粘結性の低い石炭を多く配合し てもコークスの強度を維持することができるDAPSは、省 エネルギー効果と生産性・コークス品質 (強度) を向上さ せる画期的なコークス製造技術として、1990年に「大河内 記念生産特賞(前号参照)」を受賞している。

さらに近年、日本鉄鋼業では国家プロジェクトとして DAPSの技術をさらに一歩進め、集塵した微粉炭を急速 加熱して塊成物を作るとともに、水分を蒸発させる際に、 部分的に石炭が溶ける約330~380℃まで加熱(DAPSは 約80℃) してからコークス炉に装入することで、コーク スの品質向上および生成時間のさらなる短縮と生産性向 上を実現する 「**SCOPE21** (*4)」 の開発に取り組んでい る。2008年5月に、同設備を導入した実機第一号プラン トが大分製鉄所で稼働を開始した(写真5)。

また、新日鉄では、保有する高度なコークス製造技術 を世界の環境対策の推進にも役立てている。コークス炉 で乾留した赤熱コークスは冷却してから高炉に輸送され

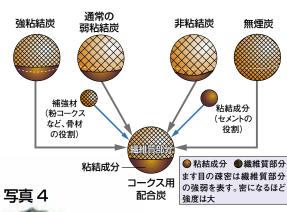
コークス炉模式図



性質が異なる石炭を3mm 程度に粉砕して蒸し焼き(間接加熱)にする ことで、強度と粒度を持つ均一な塊成物(コークス)を製造する設備。 コークスは高炉内で鉄鉱石を溶解し、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。

石炭配合の概念

図フ



新日鉄では石炭品質が多様化する中 で、さまざまな特性を持つ石炭の複雑 な配合(コール・ブレンド)を最適化 してコークスの粘結性を高め、還元材 品質の安定化に取り組んでいる。

※1 粘結性:400℃以上に加熱した石炭が膨張・融解し、さらに加熱していくと石炭同士が餅状に融着・固結する性質のこと。粘結性の強さにより強粘結炭、弱粘結炭、 微粘結炭、非粘結炭に分類される。

図6

- ※ 2 CMC: Coal Moisture Control 調湿炭装入法
- ※ 3 DAPS: Dry-cleaned and Agglomerated Precompaction System 微粉塊成炭配合法

る。コークスの冷却に水を利用すると、大量の水を使用 する、排熱を回収できない、消火塔から放散される白煙 中に粉じんやCO、CO2が含有されているなど環境上の間 題がある。そこでコークスを不活性ガスで消火し、赤熱 コークスの顕熱を回収して発電することにより CO2排出 量の削減を可能とする CDQ (コークス乾式消火設備) を開 発・導入した。そして近年、CDQ技術を中国などの発展

途上国の鉄鋼メーカーやその関連会社に移転して環境問 題への取り組みに貢献している。

新日鉄では今後も、多様な品質を持つ原料活用を可 能とする技術開発を進めるとともに、さらなる省エネ ルギーやCO2排出削減を実現する技術、コークス炉ガス (COG) に含まれる水素の有効活用など、社会貢献につな がる技術開発に積極的に取り組んでいく。

原料の選択と確保から鉄作りまでを再構築する時代へ

国内に鉄鉱石や石炭などの資源が乏しいわが国におい て、新日鉄は海外での資源確保のため、必要に応じ、資 本参加も含めて資源会社(山元)との連携を図り、原料 の安定購入とその利用技術開発、そして高品質な鉄作り までを具体化してきました。

一方、最近の中国やインドなどを中心とする世界的な 資源需要の急増に伴って、鉄鉱石の微粉化や優良粘結炭 の供給制約が顕在化してきており、また、中国やインド は自国内に高品質の資源を持っていることもあり、輸入 原料への品質要求は必ずしも日本と同じように高くあり ません。そうした中、資源会社は品質より大規模生産や 省力化での生産効率向上を優先する傾向にあり、今まで 対象とされていなかった劣質原料の開発も進行していま す。

その中で日本の鉄鋼業でも、劣質原料を使いこなす技 術開発が重要な課題となっています。安価劣質鉄鉱石を 利用できる焼結鉱の選択造粒法や、劣質非微粘結炭を配 合できるコークス製造技術の DAPS など、当社が開発し た技術は、原料の安定購入と、製造コスト低減に大きく 貢献した技術と評価されています。

また、現在、鉄鋼業では一層の省エネルギーや CO₂排 出削減問題への取り組みが重要になっていますが、原料 の使用技術開発においても、環境対応は最優先課題の一 つとなっています。変革の時代に、先輩が培ってきた 知見や技術も活用しつつ、新たな視点で多様化する供給 ソースからの原料の選択と確保から、鉄作りまでを再構 築する、厳しくも面白い時代がきたと感じています。

監修 新日本製鉄(株)

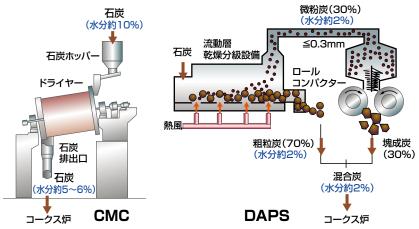
原料第二部審議役(資源調査) 兼 原料第一部審議役(石炭資源調査) 長野 研一(ながの・けんいち)

プロフィール 1950年生まれ、大分県出身。 1976年入社。主に原料資源調査に従事。 2000年原料第二部部長。 2006年より現職。



CMCとDAPSの概要

SCOPE21 実機プラント 写真 5 図8



CMC (左) は、石炭に含まれる水分 (約10%) を5~6%に減らし、コークス製造時間の 短縮と製銑プロセスの効率化を実現。さらに水分を約2%まで乾燥させる「DAPS」(右) では、O.3mm以下の微粉炭を回収して塊成化するため、粘結性の低い石炭使用が増えても コークスの強度を維持・向上させることができる。



DAPS の技術をさらに進化させ、コークスの品質と生産 性の向 Lを目指す SCOPE21 の実機第1号プラント。 2008年5月から大分製鉄所で順調に稼働している。

¾ 4 SCOPE21: Super Coke Oven for Productivity and Environmental Enhancement toward the 21st Century