



## 入門講座

鉄鋼プロセス編 -7

# 鉄鉱石が鉄に変わるまで —溶鉄製造は酸素を取り除くドラマ—

奥野嘉雄

Yoshio Okuno

新日本製鐵（株）技術開発本部 フェロー

From Iron Ore to Molten Iron—Ironmaking Is a Drama in Which Oxygen Is Skillfully Removed

## 1 はじめに

高炉や焼結炉、コークス炉に初めて出会う若い技術者の大方は、どうしてこれらの炉は昔から同じ形で変わらないのか、自在に生産量の変更が出来ないのか、高炉の中はどうなっているのか、等の疑問を持つのではないだろうか。本講座ではそれらの疑問に出来るだけ答えたい。従って、本講座の内容は学術的なものよりもプロセスのもつ意味合いが理解できるように工夫したつもりである。とはいえ、鉄製造プロセスは固体、液体、ガスの3相が高温下で同時に併存する反応プロセスであるので、一刀両断的な説明は難しいことを了解してほしい。ここでは主に鉄鉱石中酸素の除去が効率良く出来る高炉法でどのように溶鉄製造が行なわれているのかを述べ、加えて、直接溶融還元法にも言及する。

## 2 高炉法とは

### 2.1 高炉法の発展は生産性向上の歴史

高炉の原型は10世紀前後に中国でつくられ<sup>1)</sup>、コークスを燃料とする高炉は17世紀頃に出現したとされる。発展段階で矩形や楕円形の炉も出現したが、最終的には理論通りのシンプルな構造で、炉体の熱放散が少なく、炉断面単位面積当りの生産性やエネルギー効率が高い円形炉になったと言える。高炉の大型化（世界最大炉の炉内容積5500m<sup>3</sup>）はこれらの利点を最大限活かすことを狙った結果であり、大型化が進むなかで生産性やエネルギー効率を一層高めるための技術（高压ガス化、高温送風、装入物分布調整装置採用、炉体冷却能向上等）が多く開発された。

現在は世界に約800基の高炉があり、高炉法が鉄鉱石からの鉄製造量の95%以上を占めている。粗鋼生産に対して占める高炉鉄も約70%と高いシェアにある。

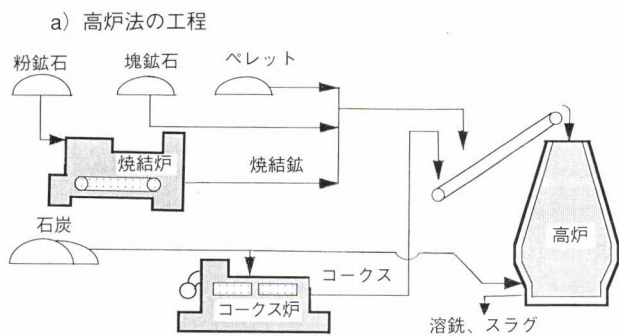
最近は原料選択の自由度や生産弾力性の拡大要請にも柔軟に対応できるプロセスが求められ、これにフィットするための高炉操業法の新たな改善や、高炉に代わる新製鉄法

の開発がなされている<sup>2)</sup>。微粉炭の高炉送風羽口への吹き込みや溶融還元炉での直接使用、更には、スクラップの利用などの技術開発はその一環と言える。

### 2.2 高炉は常に鉄鉱石中酸素の効率良い除去をめざす

高炉法の使命は‘如何に効率よく鉄鉱石に含まれる酸素分を除去（還元反応）するか’にある。シャフト炉型の高炉は、炉頂部より装入された鉄鉱石とコークスが下方に降下する一方で、炉下部の送風羽口より入る熱風とコークス、吹き込み燃料（微粉炭など）との燃焼によって生じる高温の還元ガスが上昇し、両者が向流で連続的に接触する反応容器である。その中で鉄鉱石（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ などの酸化鉄）は還元ガス（CO成分主体）からの熱を受けて還元され、金属鉄へと変化する。炉下部では更に炭素との直接反応も受けて炭素5%弱を含有する溶鉄となる。同時に、鉄鉱石中の脈石成分と呼ばれる $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ などの不純物も溶解・分離されてスラグとなる。コークスは鉄鉱石の還元ガス及び昇熱、溶解熱を造るための素材である。高炉の産出物として、炉床部からは間欠的に溶鉄とスラグが、また、炉頂部からは高炉ガスが取り出される。これらの反応・処理を一つの容器で実現しているのが高炉である。図1に高炉のプロセスと装入物、ガスの流れ図を示す。鉄鉱石と石炭の事前処理から始まり、高炉内で還元、溶解されて溶鉄となるまでを製鉄工程もしくは製錬工程と呼ぶ。

粉状の鉄鉱石と石炭は高炉装入前に予備処理して固められ（塊成化）、焼結鉄、ペレットとコークスに変えられる。これは高炉内で還元ガスがまんべんなく流れて、酸素が効率良く除けるようにするためである。生産性やエネルギー効率の高い操業をするには、主装入物である焼結鉄とコークスの粒度や強度、反応性が重要である。図2に高炉解体調査で測定された焼結鉄とコークスの炉内での粒度と強度の変化例を示す<sup>3)</sup>。これらの値は焼結鉄では昇温時の還元反応により炉上部で、コークスでは高温下でのガス化反応により炉下部で大きく低下するのでこれに耐えられるようこの部位での改善が必要である。



b) 装入物、ガスの流れ図

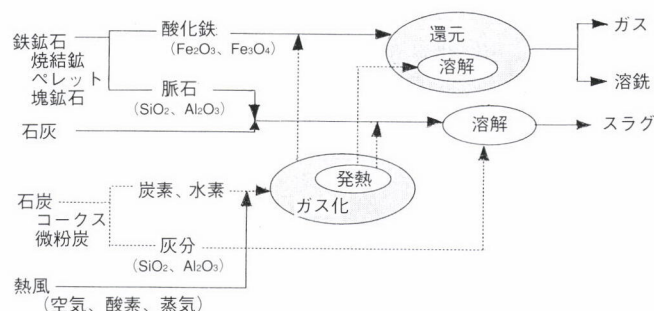


図1 高炉法の概略説明図

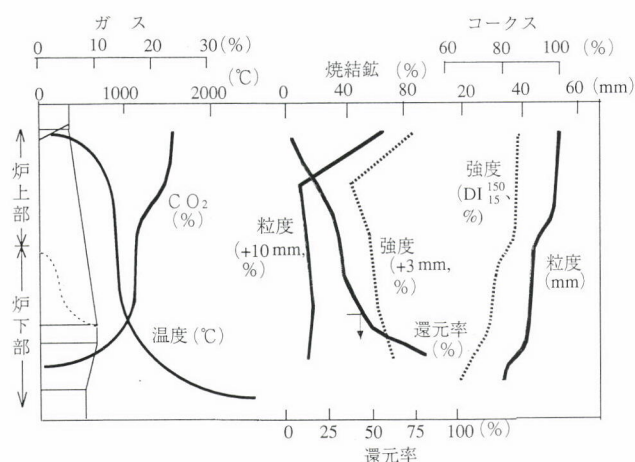


図2 ガス、装入物の高炉内での変化

られている。表1に代表的な鉄鉱石の概略成分を示す。日本では鉄鉱石の多くを豪州、南米から輸入している。

### 3.2 酸素を取り易くするための塊成化

酸素を取り易くするには還元ガスが鉄鉱石の粒間を大きなガス圧の損失なしに流れ、粒内によく浸透する必要がある。このため、鉱山で採掘した鉄鉱石の破碎処理で大量に発生する粉鉱は造粒・焼成して塊成化され、粒間の空隙が大きく、かつ、気孔率が高い焼結鉱とペレットに造り変えられる。塊成化によって粒内の比表面積が増すために被還元性が大幅に向上する。塊成物の製造では、気孔率が高いことによって生じる強度低下を防ぐことが重要である。現在、高炉では焼結鉱が70～80%、塊鉱石10～20%、ペレットは10%以下の装入比率で使用されている。

粉鉱は粒の大きさに焼結用の粗粒鉱粉（シンターフィード、10mm以下）とペレット用の微粒鉱粉（ペレットフィード、 $-250\mu\text{m}$ ）に区分される。図3に焼結鉱の製造工程を示す。造粒機で水分添加により1～2mmの粒に擬似粒化されたコークス粉や石灰粉も含む混合原料はグレート型焼結機（下方への風量吸引式）にて1200～1300℃の温度で焼成され、10～30mmの塊が造られる。最近では、安価なペレットフィードを焼結鉱用原料として使用するためにパン型ペレタイザーなどを造粒工程に取り入れている所もある。擬似粒化の度合は熔融帯の通気性だけでなく、高い強度を維持しつつ被還元性に富む焼結鉱を製造するのに重要であるため、従来から多くの擬似粒化向上技術の開発（ミニペ

## 3 鉄鉱石に求められるものは

### 3.1 酸素との結合状態で異なる鉄鉱石性状

鉄鉱石は酸素との結合状態で区分され、酸化が充分進んでなく黒色で磁性のある磁鉄鉱（マグネタイト、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ）及び酸化が進んで赤色を帯びた赤鉄鉱（ヘマタイト、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）、結晶水を10%前後含む褐色を帯びた褐鉄鉱（リモナイト、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）とに大別される。磁鉄鉱は鉄分が高いが緻密で硬い構造のため酸素を除くのに苦労する。一方、脈石分（ $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等）の多い赤鉄鉱や結晶水をも含む褐鉄鉱は高気孔構造で酸素が除き易い。このため、これらの鉄鉱石は多く使用されるが、銘柄によって酸化鉄の組織や脈石分の分布状態が異なるので使用の容易さに差が出る<sup>4)</sup>。したがって、各鉱石の性状差をうまく利用して使用することが求め

表1 鉄鉱石の種類と成分（焼結鉱用粉の例）

|     |                             | 磁鉄鉱          | 赤鉄鉱           | 褐鉄鉱            |
|-----|-----------------------------|--------------|---------------|----------------|
| 銘柄例 |                             | ロメラル<br>(南米) | ニューマン<br>(豪州) | ローブリバー<br>(豪州) |
| 成分  | T.Fe (%)                    | 65.5         | 63.0          | 57.2           |
|     | FeO (%)                     | 28.5         | 0.1           | 0.9            |
|     | $\text{SiO}_2$ (%)          | 4.19         | 4.89          | 5.47           |
|     | $\text{Al}_2\text{O}_3$ (%) | 0.87         | 2.35          | 2.62           |
|     | 結晶水 (%)                     | 0.34         | 1.97          | 7.68           |

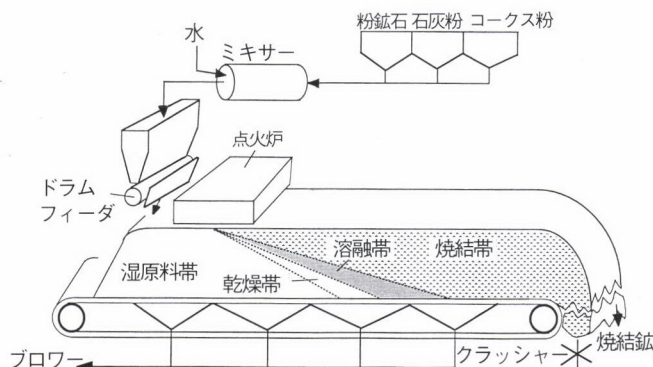


図3 焼結鉱の製造工程

レット造粒法、微粉選択造粒法など）が行われてきた<sup>5)</sup>。一方、焼結機上の原料層の通気性も生産性や歩留に大きく関与することから副原料の粒度調整を行ったり、焼結機上で生ずる粒度偏析を制御するために原料装入装置などの開発が行われている<sup>5)</sup>。

焼結過程の主反応は酸化鉄の溶融・再晶出及び脈石分の溶融、凝固である。前者は高炉内での被還元性の向上に、後者は同じく造さい化に有効な反応である。品質の指標として、被還元性 (RI) や冷間強度 (TI)、高温・還元ガス流下で示す還元途中での粉化強度 (RDI)、軟化溶融特性等が測定される。RDIは高炉内において焼結鉱の組織がヘマタイトからマグネタイトに還元される段階で示す体積膨張起因の粉化の度合を知る指標として重要視される。望ましい焼結鉱は被還元性が高い一方で、還元粉化が少なく、高温下で速やかに溶ける特性を示すものと言われる。図4に代表的な焼結鉱組織を示すが、被還元性では骸晶状ヘマタイト組織が、高温下での被還元性や溶融特性では針状カルシウムフェライト組織が望ましいとされる。最近は組織だけでなく焼結体の空隙構造についても被還元性や強度との関係を見るためにX線CTスキャナーを使用して定量的に測定・解析が行われている<sup>5)</sup>。

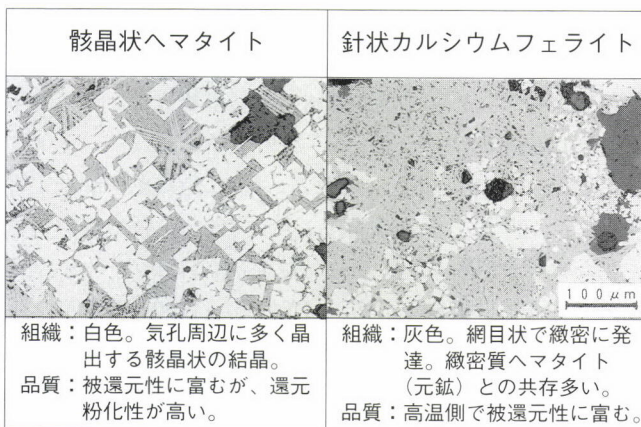


図4 代表的な焼結鉱の組織

現在、安価な褐鉄鉱系鉄石粉やペレットフィード粉が多く使用されている。前者は脈石成分に、後者は微粉である点に問題があるので焼結鉱の被還元性や強度に悪影響を与える。このために使用量の増加を図るにはこれらの品質の一層の改善が必要である。

ペレットはコークス粉を添加せずに12mm前後に造粒したあと外熱焼成（約1250℃）により製造される。ペレットは圧壊強度が高いが、焼結鉱よりも微細気孔であるために還元反応が粒の表層側から段階的に進行し、その反応過程で還元停滞を生じ易い難点がある。また、丸いペレットは転がり易く、角ばったコークスとの組合せでは高炉内で望ましい堆積形態が作り難いので多くは使用されていない。

## 4 高炉内の還元反応を支えるコークス

鉄鉱石（以下、塊成物も含め鉄鉱石と呼ぶ）を高炉内で加熱して効率よく酸素を除くには、還元ガスが炉内全体に充分行き渡るための充填層構造（ガススパーサーとしての機能）を作ることが必要である。この役割をも担うのがコークスであり、このために石炭粉を塊成化して空隙率と強度の高いコークスが造られる。コークスは石炭の乾留段階で炭素リッチな重質分が溶融・固結（塊成化）されたものであり、コークスの粒径と強度は石炭の粘結性や乾留温度に大きく依存する。コークス用石炭には乾留段階で溶融・固結し易い歴青炭（粘結炭）が使用されてきたが、近年では、種々の強度向上技術開発（石炭調湿法、予熱法、成型炭装入法等）によって粘結性に劣る重歴青炭（非・微粘結炭）も多く使用されている<sup>6)</sup>。図5に各炭種について400～600℃前後で生じる溶融特性（流動度の最高値で示す）と石炭組織が示す反射率との関係を示す。日本では石炭の多くを豪州、北米から輸入し、一定の品質を得るために常に数種類の銘柄を混合して使用している。

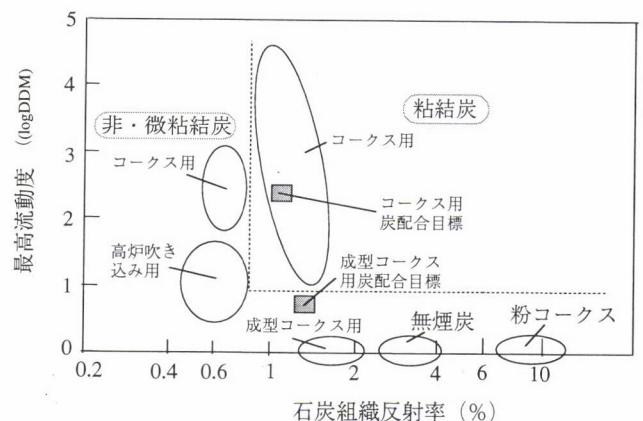


図5 炭種と反射率、流動度との対応

図6にコークス製造工程を示すが、混合炭は粒度調整されたあと炭化室に装入される。燃焼室からの熱を受けて約1200℃の温度で20時間程度かけて乾留され、粒径50mm程度のコークスが造られる。

コークス中の炭素は溶鉄中に一部浸炭する以外はその大部分が送風羽口から入る熱風中の酸素や湿分と反応して2200℃前後の高温の還元ガス (COとH<sub>2</sub>) を造る。この還元ガスは炉内で空隙率の高いコークス層内を主として流れ、その途中で鉱石層中に逐次分配され、鉱石を還元、溶解させる。従って、炉内でのコークスの堆積層形態は還元ガスを効率良く分配するために非常に重要となる。

一方、コークスは送風羽口前での反応のみならず、炉内降下の途中で還元反応を終えて上昇してくるCO<sub>2</sub>とも反応する（ソリューションロス反応と呼ぶ）。この時にコークス粒の表層部は脆くなるので、図2に示したように炉下部で

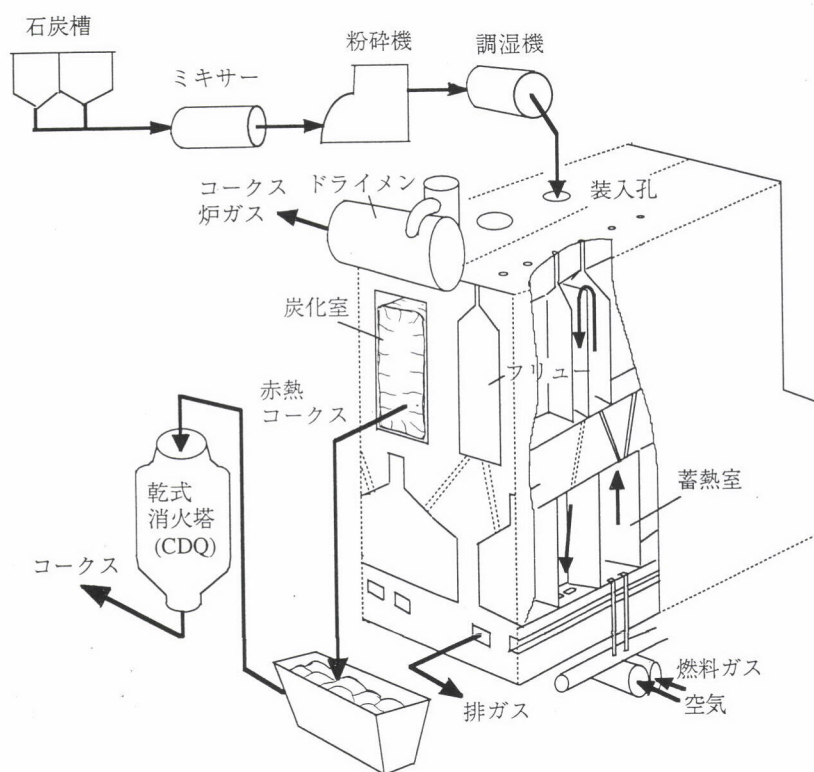


図6 コークスの製造工程

粒度低下が見られる。脆くなったコークは送風羽口前での反応に伴って粉化し、その細粒粉が後述の炉芯との境界域に集積してガススパーサーとしての機能を低下させる。このため、コークス品質として粒径が大きくて高温の反応下でも耐える硬い強度のものが要求される。その指標としては冷間強度（DI）及び炭酸ガス流下の熱間条件にて強度（CSR）が測定される。後者は上記の $\text{CO}_2$ との反応に伴う強度低下の度合を知るものである。

コークス炉は35年以上と言う長寿命の高温炉であるが、現在は一層の生産性が期待でき、かつ、環境にも調和できる次世代コークス炉の開発が進められている<sup>5)</sup>。また、一段と劣質な石炭使用が可能な連続式成型コークス製造技術も開発されている<sup>5)</sup>。

## 5 高炉内の状況は

### 5.1 還元・溶解が連続的に進む炉内のしくみ

炉頂部に装入された鉄鉱石は降下する途中で下方からくる高温の還元ガスとの接触によって連続的に「予熱－軟化－溶解－滴下」の過程を経て溶銑となり、炉底部に溜る。そしてこの間各種の還元反応が行われている。図7に高炉の構造、図8にセンサーを用いて解明された高炉内のしくみを示す。炉頂部から交互に層状装入された鉱石とコークスは所定の層厚で堆積し、下方に向かってその形状をほぼ崩さずに8時間程度かけて送風羽口レベルまで降下する。

降下は炉下部での鉄鉱石の溶解とコークスの燃焼による体積減少により生じる。炉内の各反応領域は塊状帯、融着帯（鉱石が軟化・溶解する領域で鉱石層の収縮率や軟化、滴下温度等で境域設定がなされる）、滴下帯（液状のメタル、スラグがコークス層内を滴下する領域）とに区分される。一方、送風羽口前では吹き込まれた熱風によってガスがコークスを巻き込んで旋回する楕円形空間の燃焼帯（レースウェイ）が形成される。このガスの流速、圧力には限界があるので燃焼帯は炉周辺部に限定される。この部位以外の炉下部では粒子移動が極めて遅いコークス層からなる炉芯（デッドマン）が形成される。炉底部では上側にスラグが下側に溶銑が滞留し、2～3時間の間隔で間欠的に排出される。

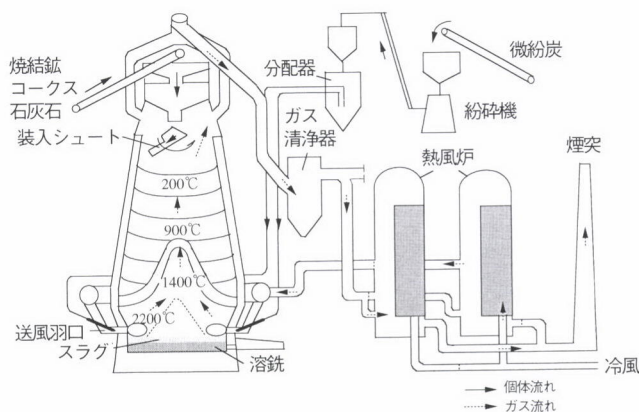
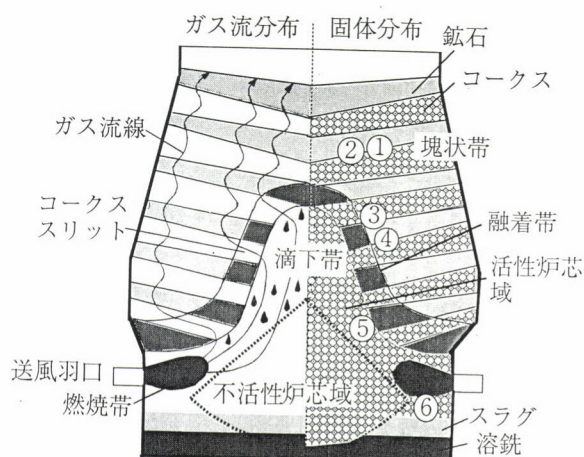


図7 高炉の構造



主な炉内反応（上図に概略の反応場所を番号で示す）

- ①COによる間接還元（コークス、微粉炭からのガス）  
 $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 - 12650 \text{ kcal/kmol}$   
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2 + 6250$   
 $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2 - 3330$
- ②H<sub>2</sub>による間接還元（湿分、微粉炭中の水素分）  
 $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} - 2800$   
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 = 3\text{FeO} + \text{H}_2\text{O} + 16100$   
 $\text{FeO} + \text{H}_2 = \text{Fe} + \text{H}_2\text{O} + 6500$
- ③カーボンソリュション反応  
 $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO} + 41220$
- ④水性ガス化反応  
 $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{H}_2 + \text{CO} + 31564$
- ⑤炭素による直接還元（コークス、微粉炭中の炭素）  
 $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO} + 37880$
- ⑥カーボンの燃焼（コークス、微粉炭中の炭素）  
 $\text{C} + 1/2\text{O}_2 = \text{CO} - 26416$

図8 高炉内のしくみと主な反応

コークスは融着帯内ではスリット層をつくり、融着帯の下方では粒子移動の大きい‘活性炉芯域’と粒子移動が極めて遅い‘不活性炉芯域’をつくる。従来、この不活性炉芯域を指して炉芯と呼ばれてきたが、最近は両者を区別して議論されている。後者の不活性炉芯は今まで不用なものと見られてきたが、現在は炉下部の熱変動を緩和する一種のバッファの役割と燃焼帯近傍で発生するコークス粉をその域内で滴下メタルやスラグと接触させて燃焼・消失させる役割を担う重要な部位と考えられている。従って、この部位では硬くて大粒のコークスを滞留させることが求められる。

融着帯は鉱石還元が急速に進む領域であると共に空隙率が小さく通気抵抗の大きい領域であることから、その形状が重要視される<sup>3)</sup>。融着帯形状は炉頂部の装入物堆積形態と下方からのガス流量の相互関係の結果として現れるので、装入物装入条件や送風条件が反映されていると言える。融着帯形状の制御はその形状が容易に変えられる炉頂部の装入物分布調整によってなされている。送風条件の変更による制御は常に入熱量変化を伴うので余り行われない。図9にパラフィン粒を鉱石に見立てた温間模型実験で再現した融着帯形状とO/Cで表す炉頂部半径方向の鉱石とコー

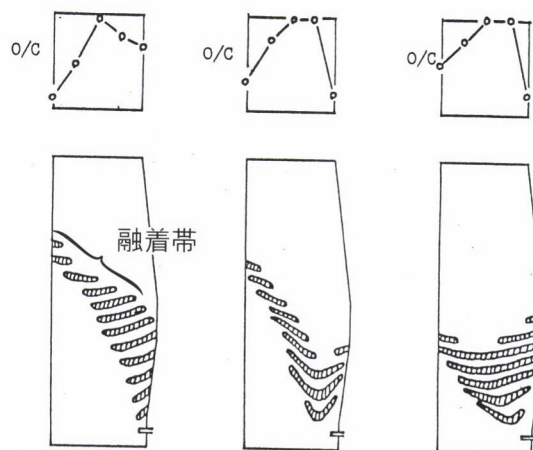


図9 炉頂部のO/C分布と融着帯形状との対応（模型実験）

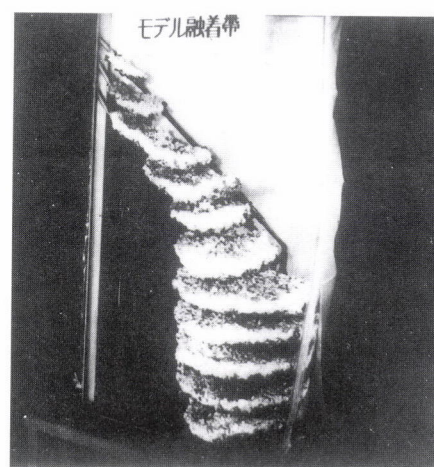


図10 融着帯形成状況（模型実験）

クの量比分布との対応を示す。図10にその融着帯の外観例を示す<sup>7)</sup>。

半熔融でドーナツ形状の融着帯は一種のガス整流板の役割を持つことからガスが炉径方向に行き渡るには炉中心軸側に一度集まり、その後にコークススリット層を介して再分配されるのがガス量の均一分配を図る上で望ましい。従って、このガス流れが造れるシャープな逆V型融着帯形状が適正とされる。同形状をつくるにはコークスを炉中心軸に厚く推積させる装入方法が有効であり、このための炉頂装入物分布調整装置が数多く開発されてきた。加えて、装入物やガス流れの分布、更には融着帯形状を推定するための高度な数学モデルも開発された。一方、高精度の操業管理を行うためにファジーやニューロの理論等をも利用したAI手法に基づくエキスパートシステムが開発されている<sup>5)</sup>。

## 5.2 燃料比をミニマムとする還元反応

鉄鉱石の還元は、ヘマタイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) → マグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) → ウスタイト ( $\text{FeO}$ ) → メタル ( $\text{Fe}$ ) の各段階を経て行われる<sup>8)</sup>。高炉内で起きる主な反応の式を図8に示す。還元反応は間接還元反応と直接還元反応に大別され、前者

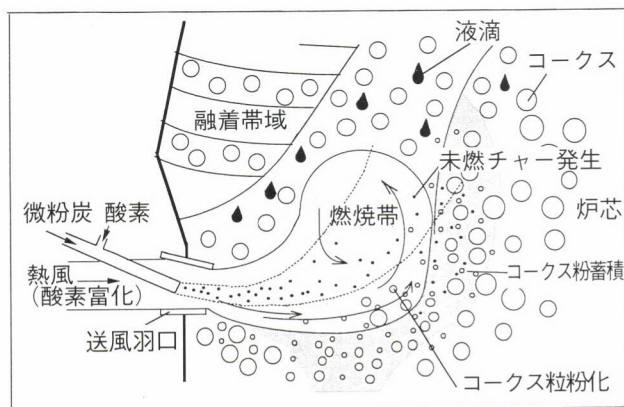


図11 羽口前燃焼帯近傍の状況

は固相の酸化鉄とCOガスとの反応（発熱）及び $H_2$ ガスとの反応（吸熱）であり、COガスとの反応が約90%を占める。後者は $FeO$ と固体Cとの反応（吸熱）である。前者と後者はコークス装入量比や羽口先温度等の調整によって約7対3の割合に保持されるが、これは還元と熱供給のために必要な燃料消費量が理論的にミニマムとなる比率である。このことは高炉法が効率良い反応炉である証の一つと言える。

カーボンソリューションロス反応は、主として融着带上端の高温域で還元反応を終えて生じた $CO_2$ とコークス中炭素との間で生じる。この反応で生じたCOは鉱石還元に再度寄与する。

一方、融着带上端付近では直接還元の吸熱反応に由来して図2に示したように温度が余り変化しない化学的に不活性な領域（熱保存帯、約 $900^{\circ}C$ ）が生じる。この現象はガスが充分流れない部位で顕在化する。この領域は還元停滞を起こすだけでなく焼結鉱の還元粉化を増加したり、粉化物の濃縮領域を形成するので常にこの領域の縮小（焼結鉱RDI値改善や装入物分布調整等）が求められる。

炉下部の滴下帯では液滴となった還元鉄の浸炭がコークスとの接触によって急速に進む。また、 $1400^{\circ}C$ 以上の高温下では溶銑中へのSiの還元が行われる。Siの還元はコークス灰分中の $SiO_2$ が還元蒸発して生じた $SiO$ ガスとCとが反応して、また、スラグ中の $SiO_2$ が同じくCと反応して起きるとされている<sup>3)</sup>。コークス中のS分はガス化して融着帯の還元鉄に多く吸収されるが、滴下途中や炉床部のスラグとの接触で脱硫される。溶銑中のSiやSなどの含有量は其の除去のために精錬工程に大きな負荷を与えるので、その低減を図ることも高炉の使命である。

### 5.3 コークス機能を代替する微粉炭の吹き込み

最近送風羽口からの微粉炭吹き込みが普及している。これは石炭粉を塊成化することなく直接に高炉で使用出来ることに経済的な利点がある。約 $100kg/t_p$ の吹き込み量で、コークス $90kg/t_p$ 強が置換出来る<sup>5)</sup>。微粉炭の送風羽口前での燃焼によって還元ガスと熱を造るコークスの機能が代替されるので、炉頂からの装入コークスはガススパーサーとしての機能

に一層特化されると言える。しかし、炉内でのコークス存在量が少なくなるので融着帯領域（幅）が広がると共に、ソリューションロス反応によるコークスへの負荷（脆弱化）の割合も増すのでコークスの強度向上が一層必要になる。図11に微粉炭吹き込みによる羽口前燃焼帯内の状況を示す。吹き込み量の限界は燃焼帯内での微粉炭と酸素との間の燃焼効率、及び発生した還元ガスの流れを妨げる炉芯表層域でのコークス粉蓄積量の割合とによって概ね決まる。

## 6 高炉内機能を2分割したのが新製鉄法

新製鉄法の多くは高炉内の融着帯に入る前の上側の部位と同帯を含む下側の部位とに機能が分割されたプロセスと言える。従って、各種の還元反応は高炉法と基本的に差はない。新製鉄法の開発の狙いとして原料の銘柄選択幅の拡大、原料予備処理の簡略化、生産弾力性の向上、環境改善等が上げられる。なお、エネルギー効率や反応速度を向上させるために一般には大量の酸素を必要とする。既に実用化されたものには塊成鉱をシャフト炉で予備還元する方法を採るCOREX法がある。現在、粉状の鉱石を塊成化せずに直接に溶融還元炉で使用方法が開発されている。その代表的なものとして、DIOS法やHISMELT法、ROMELT法がある。図12にDIOS法（日本で開発）の概要を示す。予備還元された粉鉱石を溶融還元炉内において粉石炭と酸素との燃焼熱で直接溶融還元させるものである<sup>5)</sup>。

各新製鉄法によって間接還元と直接還元の割合が異なる。図13にその比率と還元用及び熱供給用に必要な炭素量との関係を概念的に示す。高炉法よりも間接還元割合の大きい側にCOREX法があり、過剰の還元ガスを必要とする。

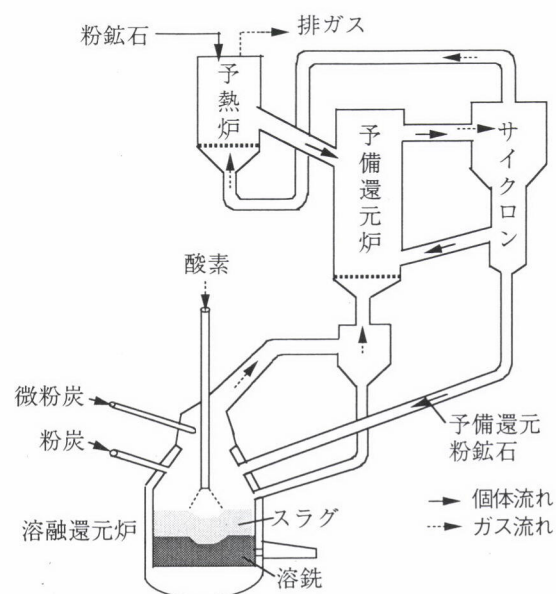


図12 直接溶融還元法の概要（DIOSの例）

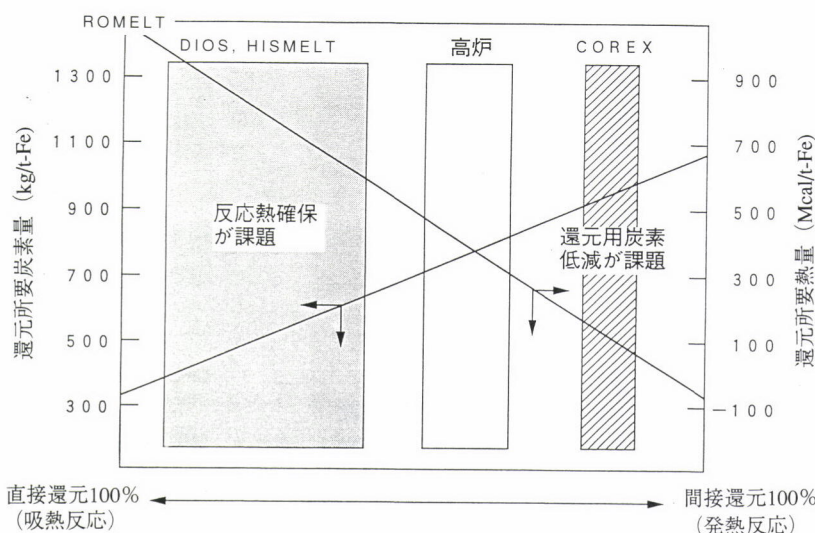


図13 高炉、溶融還元炉の所要還元炭素量と熱量（100%炭素還元での試算例）

直接還元割合が大きい側にDIOS法、HISMELT法、ROMELT法（本法では直接還元100%）があり、後者の各法は大量の直接還元熱が必要となるので溶融還元炉内での効率の良い石炭燃焼が求められる。新製鉄法の狙いは時代の要請に沿うものであるが、実用化には操業安定性の確保と一層の石炭消費量や設備費の低減が必要である。

## 7 おわりに

鉱石中の酸化鉄から酸素を除くための方法を高炉法で紹介したが、酸素を取り除くことは何れの方法であれ、如何に大変かは理解頂けたと思う。溶銑づくりは酸素が除き易いように原料を選んで高温下で効率良く数多くの反応を行わせるドラマであるので、それだけに多くのアイデアでプロセスを変え得るロマンのある分野と想う。願わくば、「百聞は一見にしかず」の通り、是非一度は鉄づくりの現場を見て頂きたい。

溶銑づくりには鋼材製造に必要な総エネルギーの約70%弱が使われており、このことは鋼材製造コストに占める割合も大きいことを意味している。従って、現在は最先端の計測機器と高度の計算制御システムを取り入れ、エネルギー消費量で他国を凌ぐ高炉操業を確立している。今後は、

地球規模で重要視されている資源の有効利用やエネルギー節減、環境改善に対して一層貢献出来るように高炉法の更なる操業改善や新製鉄法の実用化が求められる。

## 参考文献

- 1) 中国の高炉誕生に関して, Han Rubin: 国際金属歴史フォーラムしまね (1996.1.16)
- 2) 技術の流れを知るには, 鉄と鋼 (創立80周年記念特集号), 81 (1995), No. 4
- 3) 反応と品質を知るには, 第33・34回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (1975)
- 4) 鉱石資源を知るには, 肥田行博, 野坂庸二: 鉄と鋼, 78 (1992) 7, p.960
- 5) 新しい技術を知るには, 第146・147回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (1993)
- 6) 石炭とエネルギーを知るには, 資源・素材 '95 (するが), 秋季大会企画発表資料[C], (1995.9.18)
- 7) 融着帯形成に関しては, 入田俊幸, 磯山正, 原義明, 奥野嘉雄, 金山有治: 鉄と鋼, 68 (1982), p.2295
- 8) 高炉内反応を知るには, 大谷正康 (翻訳監修): 高炉の理論と実際 (1994.3.10)

(1996年7月8日受付)