

依頼講演 溶融還元プロセスの課題と展望
(138)

東北大学選鉱製鉄研究所

徳田 昌則

1. 溶融還元製鉄法の意義

高炉は向流連続型反応装置で、原理的に高い反応効率と熱効率を保障し得る極めて秀れた製鉄炉である。

高炉法は高炉のもつ特性を最大限に発揮すべく発展させられてきた製鉄プロセスで、量産技術として高い到達点を誇っている。しかし、高炉法を現在の水準まで引き上げた社会的経済的條件が、過去のものとなるに及び、高炉法は新たな環境への対応を迫られているといえる。

高炉のもつ秀れた特性を新たな環境で引き出して行く新高炉法への模索がなされなければならない。

一方、社会経済的環境の変化は溶融還元法と総称される新たなアプローチをも産み出している。そこでは、原燃料の多様性への対応、操業度の柔軟性、適正経済規模の縮小など新たな重要目標が設定される。

「溶融還元法」が高炉法に対比されるプロセスとしての特徴は、単位反応容積当たりの伝熱、反応速度を大幅に増大することにより、加熱、還元、溶解の諸過程を急速に進行せしめ、反応容器を小型化し得る点にあると言えよう。この特徴を実現するために、反応、伝熱のための比表面積の拡大と反応空間における高エネルギー密度の保証とが必要となり、大量粉体の反応空間への吹込み操作が基本的な技術となる。

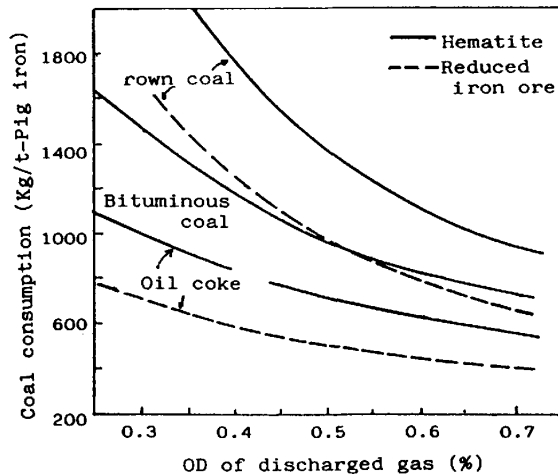
反応空間に高密度のエネルギーを供給する方法としては、電力(プラズマ、アークなど)による場合と燃料の急速燃焼による場合が考えられ、後者を実現するには適切な熱媒体と酸素が不可欠である。熱媒体としては、高温コークスなどの充填層と溶融鉄などを用い得る。

何れの場合にせよ、急速加熱、高速反応を指向すればそれだけ反応容器は小型化し得ても、高温、高還元ポテンシャルのガスを排出することが必然となり、排出ガスの利用形態がシステムの性格を決定する。

2. トータルシステムとしての課題

溶融還元炉から排出されるガス量を支配する主要因子は石炭の種類、装入鉱石の予備還元率(P R)ならびに排出ガスの酸化度(または二次燃焼率) $OD = (CO_2 + H_2O) / (CO + CO_2 + H_2 + H_2O)$ である。

Fig. 1は、溶融純鉄1トンを得るために投入すべき石炭量をODの関数として、3種類の炭材について比較している。所要石炭量は、炭種により大幅に異なっており、いずれも酸化度ODの増大により、急減している。図中の破線は、予備還元率PR=30%、予備加熱温度=1200℃の場合を示している。予備還元によっても所要石炭量は大幅に低下するが、設備的には複雑になり、設備費増加の問題を伴う。



Data used for calculation

	Brown coal	Bituminous coal	Oil coke
GROSS HT (kcal/kg)	6600	7880	8720
Volatile	46.0%	28.0%	12.7%
Fix C.	66.7	82.2	90.0
Ash	5.1	8.5	0.3
Moisture	1.0	1.0	1.0
Tot. Fe of Hematite ore			67.5%
Tot. Fe of prereduced ore			40.0%
Temperature			1500°C
Slag basicity			0.35
Heat efficiency of post combustion			90%

Fig.1 Effect of major parameters on coal consumption.

Fig. 2は、所要石炭量を投入エネルギー量に換算し、揮発成分含有率に対して図示したものである。下方の斜線領域は、製鉄のための所要エネルギー量(熔融還元熱、酸素製造用エネルギー、加熱炉等の燃料、諸ユーティリティなどの総和)を示し、上方の各曲線との差が、製鉄所外で利用し得るエネルギー量を表わしている。

製鉄システム単独の場合には、ODとPRを高めて余剰ガス低減の方向に向かうべきことが明らかである。しかも、揮発分の高い石炭を原料とする場合は、所要投入量が多くなるために余剰ガスの大量発生は避けられない。逆に言えば、電力生産やC₁化学工業との結合を考える場合には、褐炭のような揮発分の高い石炭を使用することができ、所要ガス量に応じてODとPRのレベルを選択することになる。

3. 製鉄システムとしての課題

余剰ガス量の低減にはPRを高める必要があるので、鉄鉱石を原料とする限り予備還元工程の設置が不可欠である。一方、PRを高水準に設定する程、予備還元工程に供給すべきガス量とその還元ポテンシャルを高める必要があるので、ある水準以上では、予備還元炉からの排ガスをFig. 3のように循環し、かつCO₂を除去する必要がある。すなわち、ガスの循環とCO₂除去のためのエネルギーを要する。

これらは、視点を変えれば、投入石炭所要量を最小にするには、そこに含まれるCとHを完全にCO₂とH₂Oに酸化する必要がある、Fig. 3に概括的に示されるように、製鉄システムのどの段階で、どのような方法でそれを実現し、生成したCO₂やH₂Oをどのように系外に除くかという課題であると言えよう。

4. 要素技術としての課題

1). 熱の供給 高速還元を追求する程、反応サイトへの熱供給が重要となる。反応サイトの確認とそこへの熱伝達の機構を解明する必要がある。たとえば、有力な熱付与の方法である炉内でのCO→CO₂反応の促進も、このような視点から追究する必要がある。

2). ガスの炉内許容通過量 高生産速度を追求する程、炉内を通過するガス量は増大する。これはコークス充填層型の炉ではフラッキング、溶鉄型の炉では吹抜け、泡立ちなどの現象がその限界値を与えることになろう。電力の利用は発生ガス量低減の有力手段である。

3). スラグと耐火物 ガス発生量と泡立ちの関係からスラグ中のFeO濃度と塩基度の因子が重要であり、これらは耐火物の寿命と密接な関係を持つ。

その他、粉体吹込み、塊状原燃料の供給方法、二次燃焼着熱効率の向上策、ガス顕熱回収等の課題がある。

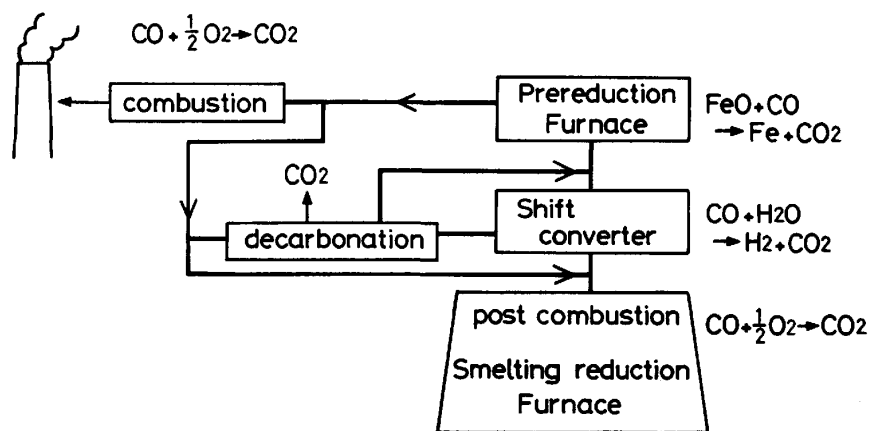
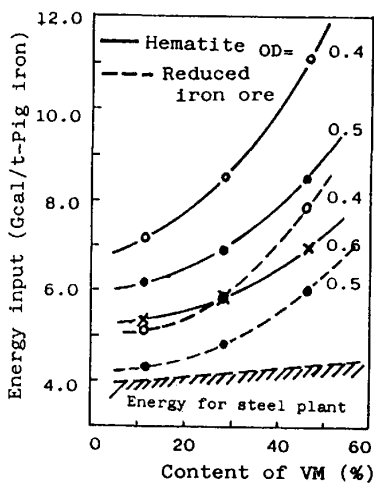


Fig.3 Basic flow sheet of smelting reduction process.

Fig.2 Effect of VM content.