

討11

転炉における炭材利用技術の開発

住友金属㈱ 総合技術研究所 丸川雄浄 姉崎正治○平田武行

石川 稔 石田博章

本 社 岡村祥三

I. 緒 言

近年、製鋼工場では精錬機能の分離、単純化が目覚ましい。転炉の精錬範囲であった、脱珪・脱りん・脱硫は、溶銑予備処理および取鍋精錬に主体を移しつつあり、転炉には脱炭のみが残されようとしている。しかし、精錬容器としては転炉は非常に優秀であり、新たな目的開発が必要である。ここでは安定した熱供給が前提であり、その熱源としては日本では石炭以外に考えられない。石炭を使うと大量のガスが派生するが、幸い製鉄業では加熱炉用燃料等を、従来から石炭ガスに依存しており、ガスは無くてもならない存在である。スクラップを鉄源として多用したり、炉内2次燃焼を活用したりすれば、ガスは当面余ることはない。転炉内で炭材を使うことが可能になれば、転炉の使用目的はまだまだ拡大できると考えられる。

II. 転炉の製錬および精錬機能と現在の課題

Table1に転炉のもつ基本機能を、期待される製錬および精錬目的との関係でまとめてみた。転炉の最大の特徴は、大量の酸素供給と、副生ガスの処理機能であるが、付加能力として炉内攪拌および、粉炭、粉鉱石の供給があげられる。炉内攪拌については、底吹、構吹羽口が既に開発済みである。一方、石炭は価格からみて粉炭を直接使えることが望ましいが、粉鉱石と共に粉炭の、炉内への大量安定供給はまだ工業的には新しい分野である。

目的としての加熱は、酸素によるカーボンの燃焼によるが、ここで問題になるのは、供給炭材のガス化比率および発生ガスの2次燃焼率である。ガス発生（回収）については、従来から行っている燃料用ガスとしてなら全く問題はない。ただし、顕熱の利用や、原料としての使用については未開発な点が残されている。還元製錬は最近注目されてきた分野であり、酸素によって酸化発熱させつつ、メタル中カーボンあるいはスラグ中カーボンによって氧化物原料を金属化する方法である。酸素の供給方法、スラグおよびメタルの攪拌方法などによって、還元速度、還元率は大きく異なり、工業的にも最も興味深い

Table 1 Relation between expected purposes and fundamental functions of an iron and steel making convertor

function				purpose			
	top blow lance	bottom blow tuyer	side blow tuyer	heating	gas generation	reduction	oxidation
large amount of O ₂ blowing	○	○	○	○	○		○
agitation of metal	△	○				○	○
agitation of slag	△	△	○			○	
feeding of pulverized coal	○	○	△	○	○	△	
feeding of pulverized ore	○	△	○			○	
feeding of lumpy coke or coal				○	○	○	
gas recovery system					○		

○ : good for use

△ : possible for use

ところである。酸化精錬は従来の主要目的であり、最も開発が進んでいる。

住友金属では以前より、これらの豊富な機能に着目し、15 t試験転炉を用いて石炭のガス化⁽¹⁾、発生ガスの2次燃焼⁽²⁾、メタルによるマンガン鉱石の還元⁽³⁾、クロム鉱石の溶融還元⁽⁴⁾⁽⁵⁾、スクラップ溶解⁽⁶⁾等の個別技術の開発に力を注いできた。以下に、Table 1の区分に従い、各個別技術の開発状況について報告する。

III. 炭材の酸化による加熱および発生ガスの回収

1. 鉄浴式石炭ガス化法(CGS法)⁽¹⁾⁽⁷⁾

転炉の熱源を石炭に求める以上、石炭の大量供給および、そのガス化効率の向上は必須の技術開発項目である。Fig 1に当社が開発した粉炭ガス化法の概要を示す。非浸漬ランスを用いて、酸素噴流直下のホットスポットに石炭やスチームを添加する点に特徴がある。これにより、石炭の溶解速度に規制されることなく、石炭のガス化を推進できる。Fig 2はそのヒートバランスを示す。石炭のガス化を主目的としており、2次燃焼率は低く抑えている(10%未満)が、たとえばLower Heating Value 30 MJ/kgの石炭を2.5 t/Hrで供給した場合、ガス潜熱として72%を回収でき、余剰熱として4.5%をスクラップ溶解に使うことができる。

炉内熱源として余剰熱に着目すると、1500 t/dクラスの実用炉になれば炉体放散熱が減少し、8%程度をスクラップ溶解に回せると予測される。

2. CGS法と2次燃焼法の組み合わせ(TAPS法)⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁸⁾

スクラップの溶解や、溶融還元などをプロセスの主目的とすれば、石炭ガスを積極的に2次燃焼させることで、熱供給能力を増大させることが考えられる。Fig 3はスクラップの溶解例であるが、30 kg/t程度の炭材の吹き込みに2次燃焼を組み合わせることにより、通常の製鋼用上吹ランスに比べて約15%、スクラップ率を上昇できた。

一方、クロム鉱石の溶融還元にTAPSを適用した結果、Cr ≒ 12%のステンレス粗溶湯10 tを2000分で得ることができた。しかし、スラグ中の(T-Cr)は10%前後と高く、還元は十分でなかった。メタルに炭材および酸素を直接吹きつける本法の場合、クロム濃度の上昇につれて再酸化しやすくなること、スラグ量が増加すると、一旦スラグ中にはいったクロム鉱石が還元されにくくなることなどが主な原因であった。

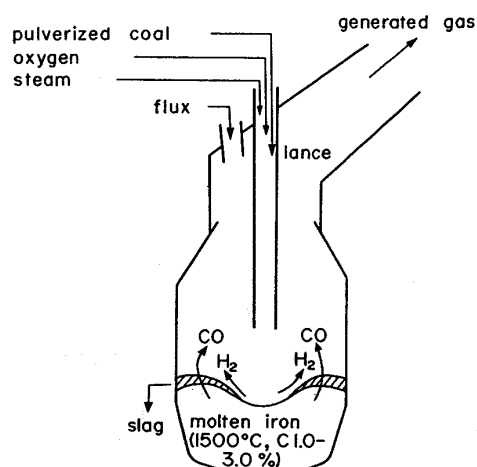


Fig.1 Schematic diagram of coal gasification process (CGS)

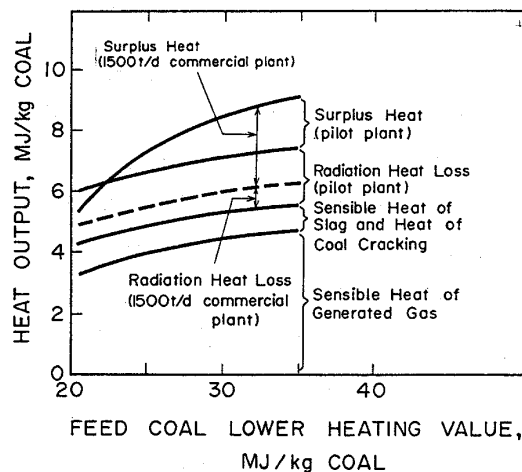


Fig.2 Heat balance of coal gasification process (CGS)

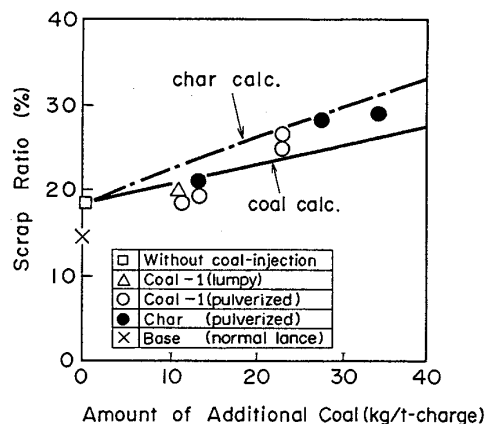


Fig.3 Relation between scrap ratio and amount of additional coal

Ⅳ. 還元機能の強化と酸化発熱法の両立

1. 酸化発熱反応と還元反応の分離

溶融還元では、温度および反応速度を維持するために、膨大な熱供給を必要とする。このために大量の酸素を炉内に供給するが、転炉を還元反応容器として使うためには、熱供給のための酸化と、主目的とする還元を両立させる工夫が必要である。

Fig 4 はクロム鉱石の溶融還元を促進するために、操作方法を工夫した例である。⁽⁵⁾ 本法によれば、溶融還元時に必然的に多量に生成されるスラグを利用し、塊コークスを多量に投入して、上吹酸素をソフトブローすると、酸化発熱はスラグ上部のコークスに限定できる。加熱されたコークス（および周囲のスラグ）は、横吹および底吹の N_2 によりスラグ下部に引き込まれ、炉内全体に熱を供給する。還元反応はスラグ/メタル界面と共に、スラグ中の熱コークス表面でも起こり、全体としての反応速度を高めることができる。

Fig 5 はクロム鉱石の溶融還元反応を、総括的に 0 次反応速度式で表わした場合の、反応速度定数 (k_0) と還元条件との関係を示したものである。この図から、 k_0 を大きくするためには、次の 3 条件を同時に満たす必要があると判る。

- ① $[C] > 6\%$
- ② スラグ中コークスの存在 (10%以上)
- ③ 上吹酸素を伴う、複合吹錬の実施

2. 攪拌の強化

溶融還元時、還元対象の酸化物濃度が低下してくると、反応は酸化物の拡散律速になると考えられる。

Fig 6 は、Fig 4 の方法の還元最終段階を、1 次反応速度式で表わした場合の、反応速度定数 (k_1) と攪拌強度との関係を示す。 k_1 はコークス量と共に、底吹、横吹のガス量に依存しており、還元この段階では炉内攪拌が重要であることが判る。

即ち、溶融還元の好適条件は、上吹酸素の影響を遮断できる強力な還元ゾーンと局所的な高温の形成、および強力な炉内攪拌であり、本法は先の TAPS に比べて溶融還元炉として合理的である。

本法によれば、Cr = 20% のステンレス粗溶湯 7 t を 120 分で得ることができ、スラグ中の (T-Cr) も 1% 以下にすることができた。

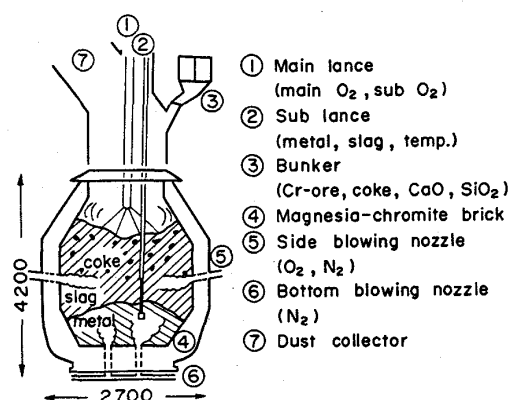


Fig.4 The improved CGS process for smelting reduction of chrome ore

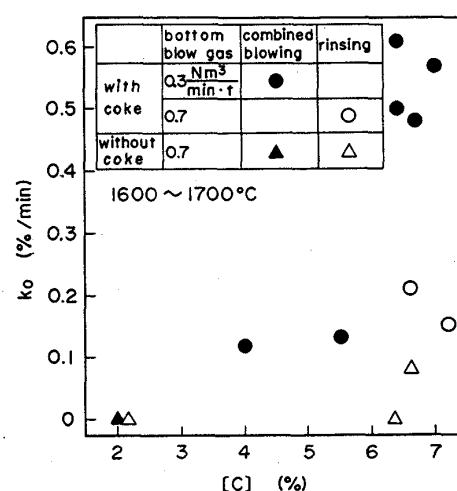


Fig.5 Effect of carbon content in metal and blowing conditions on the rate constant k_0

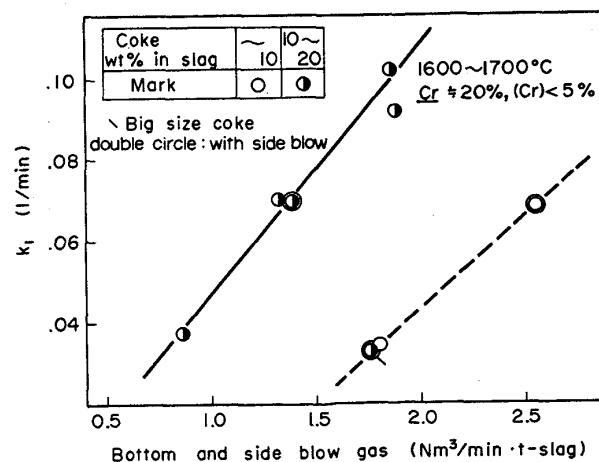


Fig.6 Effect of amount of bottom and side blow gas on the rate constant k_1

V. 高速酸化・発熱機能の活用

1. スクラップの溶解⁽⁶⁾

転炉の高速送酸機能によれば、溶銑と炭材の燃焼によるスクラップの溶解は容易である。日本でも昭和30年代の後半に、スクラップ多配合の試みが数多くなされていた。⁽⁹⁾ しかし、100%スクラップでの試みは、スクラップの酸化によりスラグ中酸化鉄が増加することから、非現実的とされてきた。ところが複合吹錬転炉では、炉内に炭材が適当に存在すれば、酸化鉄濃度をあまり高めることなくスクラップの溶解が可能である。

Fig 7 は15t試験転炉で、塊状炭材を用いて100%スクラップを溶解した際の、[C]%と(T-Fe)%の関係である。底吹羽口なしの場合は、溶落時点の(T-Fe)≒30%であったが、底吹ガス攪拌の導入により、(T-Fe)を5~10%に抑えることができた。溶解に必要な炭材原単位は、コークスと石炭(揮発分5~30%)を比べると石炭の方が高いが、ガスの回収量は石炭の方が多。立地条件によっては、石炭を積極的に使うことにより、スクラップ溶解炉をガス発生炉として位置づけることも可能である。

100%スクラップの溶解では、炭材の炉内添加歩留の点から、少なくとも初期は塊状炭材を使う必要がある。しかし、ある程度溶湯が生成された後は、粉炭上吹法(TAPS法)の併用も考えられる。エネルギーバランス、原料条件に応じて、転炉は極めてフレキシブルなスクラップ溶解炉として使われることが可能である。

VI 結 言

発熱、ガス回収、還元、酸化、溶解と、製鉄関連の製錬ならびに精錬はほとんど全て、15t試験転炉を使って実証できた。複合吹錬と炭材供給を組み合わせれば、炉内の酸素ポテンシャルは、ほとんど自由にコントロール可能である。当面の課題は実用炉へのスケールアップであるが、今回紹介した個別技術は、部分的には実用化を始めているものもあり、新製錬転炉の実現も夢ではない。今後の製鉄業において、最大のイノベーションは、鉄鉱石の溶融還元と考えられるが、この場合にも溶融還元炉には転炉類似型が有望である。今後は、現在までに蓄積した個別技術を集約し、主として溶融還元を対象に総合的なプロセスの完成と実用化を目指す予定である。

引用文献

- (1) 田上, 岡村, 末安, 福田, 古城, 岡根: 鉄と鋼, 68(1982)S76
- (2) 岡村, 末安, 古城, 中島, 丸川, 姉崎: 鉄と鋼, 69(1983)S1019
- (3) 岡村, 中島, 丸川, 姉崎: 鉄と鋼, 68(1982)S192
- (4) 岡村, 末安, 古城, 岡根, 中島, 姉崎: 鉄と鋼, 68(1982)S843
- (5) 丸川, 姉崎, 平田, 石川: 鉄と鋼, 71(1985)S928
- (6) 丸川, 姉崎, 平田: 鉄と鋼, 71(1985)S930
- (7) 田上: 鉄と鋼, 68(1982)P2405
- (8) 岡村, 中島, 丸川, 姉崎, 戸崎, 森, 加藤木, 市原: 鉄と鋼, 71(1985)P1787
- (9) 青山, 臼井, 松永: 鉄と鋼, 48(1962)P1363 など

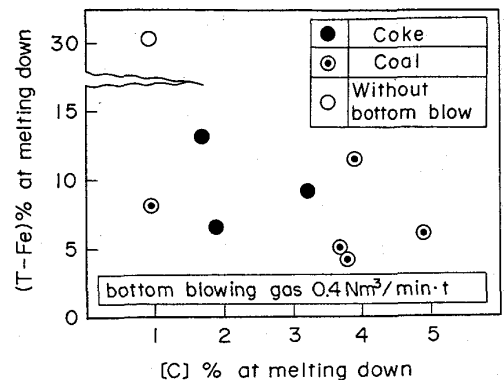


Fig.7 Relation between [C] % and (T-Fe) % at melting down