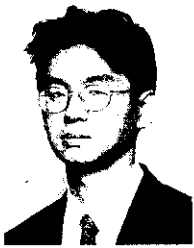


# 製鋼ダストリサイクル用 コークス充填層型溶融還元法の開発\*

川崎製鉄技報  
29 (1997) 1, 51-55

## Development of a Smelting Reduction Process for Recycling Steelmaking Dust



長谷川 伸二  
Shinji Hasegawa  
千葉製鉄所 製鉄部製  
鉄技術室



国分 春生  
Haruo Kokubu  
千葉製鉄所 製鉄部製  
鉄技術室 主査(課長)



原 義明  
Yoshiaki Hara  
技術研究所 製鉄研究  
部門 主任研究員(課  
長)

### 要旨

千葉製鉄所では、製鋼工程で発生するダストを溶融還元しメタルとして回収する新しいプロセスを開発した。これは当社で開発してきた2段階羽口式コークス充填層型溶融還元法(STAR法)を利用したものであり、ダストを塊成化することなく原料として使用可能である。ベンチスケール、パイロットプラント規模の実験により、プロセス原理および優位性を確認した後、1994年5月にメタル生産量140t/d規模の実機プラントを稼働させた。以後、現在に至るまで順調に稼働している。本プロセスの開発により製鋼ダストからNi, Crなど有価メタル分の回収歩留りの向上が可能となった。

### Synopsis:

Kawasaki Steel has developed, in Chiba Works, a new smelting reduction process for the recycling of the steelmaking dust containing valuable metals. This process is characterized by a coke packed-bed shaft furnace with two-stage tuyeres (STAR process) which enables direct use of dust without agglomeration. Bench-scale and pilot-plant tests were carried out to confirm the principles and effectiveness of the process. A commercial plant with the metal production of 140 t/d started its operation in May, 1994 and has been operating successfully. Development of the STAR process has enabled to improve the retrieving ratio of metallic sources (Fe, Cr, Ni) contained in steelmaking dust.

## 1 緒 言

千葉製鉄所では製鋼工程で発生する有価金属成分を含むダストを、溶融還元しメタルとして回収する新しいプロセスを開発した。これは当社で開発してきた2段階羽口式コークス充填層型溶融還元法(STAR法)をダスト処理に展開したものである。

製鋼工場から発生するダストは有価成分を多く含んでおり、これを回収再利用することは省資源、環境改善の観点から有用である。従来、製鋼ダストは塊状(ブリケット)にして転炉に再投入していたが、一部再ダスト化するためリサイクル効率が低いという問題があった。一方、本プロセスではダストを塊成化することなく直接粉状のまま羽口に吹込むため高歩留りでダスト中の有価メタル分を回収可能となった。このため、小粒径の圧延系ダストを含む水処理汚泥も原料として使用可能である。

本プロセスの開発においては、実験室規模の基礎研究から開始し、10t/d規模のパイロットプラント実験によりプロセス原理の確認と

優位性を実証した後<sup>1)</sup>、メタル生産量140t/d規模の実機プラントへのスケールアップを行った<sup>2)</sup>。実機プラントについては、1994年5月から稼働を開始し、現在順調に操業を継続中である<sup>3)</sup>。本報告では、製鋼ダストリサイクル用2段階羽口式コークス充填層型溶融還元法の原理、パイロットプラントテスト内容、実機プラントの設備概要および操業状況について述べる。

## 2 本プロセスの原理と特徴

本プロセスの概念図をFig. 1に示す。炉体は上下2段の送風羽口を有するコークス充填層型竖型炉であり、原料は粉状のまま上段羽口より送風と共に炉内に吹込まれる。吹込まれた原料は、飛散防止のため、上段羽口に形成させた理論燃焼温度2500°C以上の高温領域で、一気に溶融させる。溶融した酸化物は、上下段羽口間のコークス充填層内に形成された高温・強還元性領域内を滴下しながら還元され、溶融メタルとなる。また、反応に必要な熱は下段羽口を設置し、その燃焼熱で補償する。

次に、本プロセスの特徴を以下に示す。

(1) 上段羽口より粉状原料をそのまま吹込み製錬するので、塊成

\*平成9年3月13日原稿受付

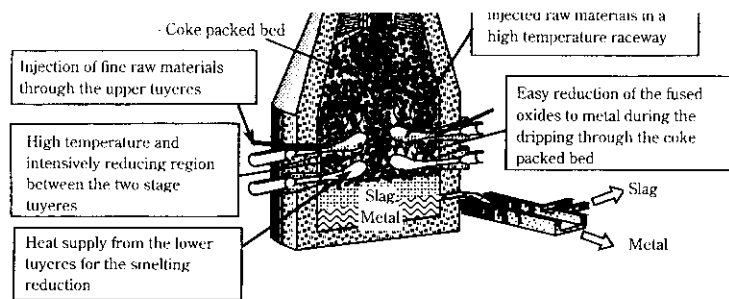


Fig. 1 Concept of the coke-packed bed with two stage tuyeres

化プロセスを省略できる。

- (2) 2段羽口を有するコークス充填層型溶融還元炉による上下段羽口間の高温・強還元性領域を利用した難還元性酸化物の還元が可能である。
- (3) 高炉に比べて炉高が低く、シャフト部に鉱石は存在しないため炉内の通気抵抗が低く、小塊コークスが使用可能である。
- (4) 反応はほぼ100%直接還元であるため高炉に比べ高カロリー副生ガスの回収が可能である。
- (5) 炉下部の構造は高炉とほとんど同一のため鉄浴式に比べ耐火物の損耗が少ない。

### 3 パイロットプラントテスト

コークス充填層型溶融還元法をダスト処理に展開するため、本技

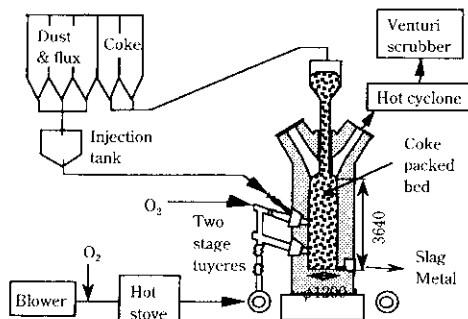


Fig. 2 Schematic diagram of the process flow for pilot plant

Table 1 Operation conditions

Blast volume	(Nm <sup>3</sup> /h)	1 150-1 130
Enriched oxygen	(Nm <sup>3</sup> /h)	150-170
Blast temperature	(°C)	750-830
Feed rate of raw material	(kg/h)	630-1 100

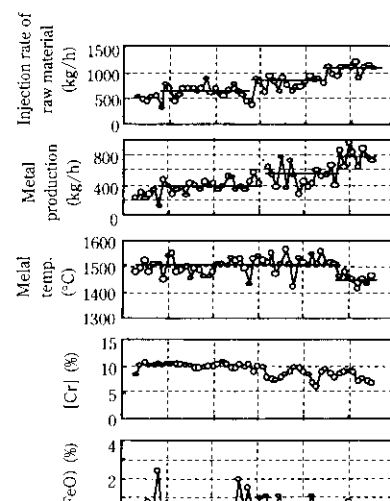
術の実証及びスケールアップのためのデータ収集を目的としてパイロットプラントでのテストを実施した。

#### 3.1 試験方法

2段羽口式コークス充填層型溶融還元炉のパイロットプラントの設備概要を Fig. 2 に示す。パイロットプラントは、内径 1.2mφ の炉本体の他に気流輸送原料供給装置、熱風発生装置、排ガス処理設備から構成されている。操業条件を Table 1 に、テストに用いた製鋼ダストの組成を Table 2 に示す。製錬能力を評価するために送風量、原料吹込み速度を変化させた。ダストは生成スラグ成分調整のためフラックスと混合して上段羽口から吹込んだ。

#### 3.2 試験結果

熱風および鉄鉱石吹込みにより炉体昇温を行った後、約3日間の製鋼ダスト吹込み操業を実施した。その間の操業推移を Fig. 3 に示す。試験期間を通してメタル温度 1450°C 以上、スラグ中 FeO



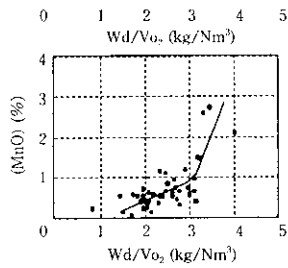


Fig. 4 Relation between  $Wd/Vo_2$  and (T.Cr) and (MnO)

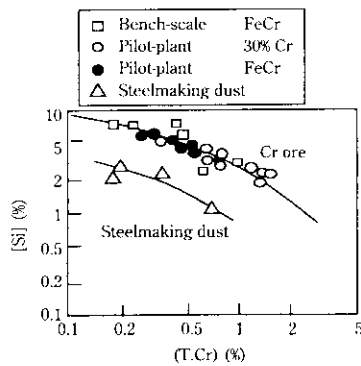


Fig. 5 Relation between (T.Cr) and [Si]

の濃度 ((FeO)) 1.0% 以下を維持できており、還元、出鉄バランスとも問題はなく、順調に操業を継続できた。また、メタル生産量は最大 14.9 t/d であった。本実験より、2段羽口式コークス充填層型溶融還元炉による製鋼ダストの溶融還元が可能であることを実証出来た。

上段羽口送風中  $O_2$  量 ( $Vo_2$ ) 当りの原料吹込み速度 ( $Wd$ )、換言すれば上段羽口入熱量当たりの原料吹込み速度を意味する  $Wd/Vo_2$  とスラグ中全 Cr, MnO の濃度 ((T.Cr), (MnO)) との関係を図 4 に示す。 $Wd/Vo_2$  が約  $3 \text{ kg/Nm}^3$  以上で (T.Cr), (MnO) が急上昇し、また、メタル温度についても低下傾向が認められたため、この値が製錬能力から見たパイロットプラントでの原料吹込み速度の上限と考えられる。

(T.Cr) とメタル中 Si の濃度 ([Si]) との関係を Fig. 5 に示す。同一 [Si] レベルで比較するとクロム鉱石よりも製鋼ダストの方が (T.Cr) が低いことがわかる。[Si] は炉熱レベルで変化するため、クロム鉱石よりも製鋼ダストの方が被還元性が良いという結果が得られた。

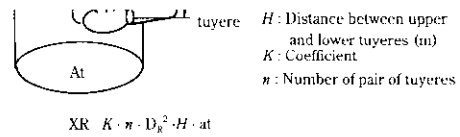


Fig. 6 Concept of smelting region

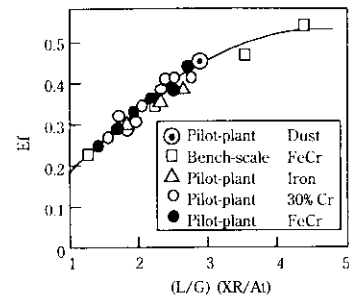


Fig. 7 Relation between  $(L/G) (XR/At)$  and  $Ef$

$$Ef = Qred / (Qin - Qloss) \dots \dots \dots (1)$$

$Qred$ : 原料の還元必要熱と融体の顕熱との和 (Mcal/h)

$Qin$ : 上下段羽口間の領域への入熱 (Mcal/h)

$Qloss$ : 上下段羽口間での炉体熱損失 (Mcal/h)

また、熱利用率と設備スケールとの対応をとるために、Fig. 6 に示す上下のレースウェイで挟まれた円筒形の領域を製錬領域と考え、この領域内のコークス表面積と炉体断面積の比およびガスと融体の体積流量比との積で定義される熱利用比パラメーター  $(L/G)/(XR/At)$  を導入した<sup>9)</sup>。ここで、 $L$  は融体の体積流量、 $G$  はガス流量、 $XR$  は製錬領域内のコークス表面積、 $At$  は炉床断面積である。

パイロットプラントでの製鋼ダスト処理における製錬能力の限界は、前述したように Fig. 4 において (T.Cr), (MnO) が急上昇した  $Wd/Vo_2 = 3 \text{ kg/Nm}^3$  のポイントであり、そのときの  $Ef$  は 0.44 であった。これを  $(L/G)/(XR/At)$  に対してプロットしたものを Fig. 7 に示す。パイロットプラントでの製鋼ダスト処理における値は、クロム鉱石吹込みや規模の違うベンチスケール実験の場合とほぼ同一の曲線上に整理することができる。したがって、部分熱収支モデルおよび Fig. 7 の関係から実機の操業諸元計算、2段羽口間隔等の設計が可能であることがわかる。実機の建設においては、製錬評価についてコークス表面での  $FeO$ ,  $Cr_2O_3$  の還元反応速度の面からも検討を加え、炉体設計に反映させた。

## 4.2 設備概要

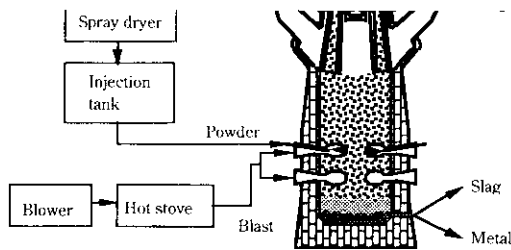


Fig. 8 Process flow of commercial plant

Table 3 Main specifications of commercial plant

Total volume	(m <sup>3</sup> )	140
Hearth diameter	(m)	4
Furnace height	(m)	11.5
Cooling devices		Cooling stove
Number of tuyeres		4 × 2 stage
Number of iron notches		1

分50%程度に調整され、一旦スラリータンクに貯蔵された後、スプレードライヤーにおいて急速噴霧乾燥されて水分0.5%以下、粒径10~700 $\mu$ mの粉末となる。

(2) 乾燥粉はスラグ成分調整のためにフラックスと混合した後、気流輸送により上段の羽口から熱風とともに炉内へ吹込まれ、出鉄口より熔融メタルとして回収される。

なお、炉頂からは還元剤としての小塊コークスのみが装入されるため、炉頂ガス成分はCO:53~55%, H<sub>2</sub>:1~2%程度で約1670 kcal/Nm<sup>3</sup>と高炉ガスに比べて高カロリーガスとなっており、ガス清浄設備によりダスト除去した後、回収使用している。

## 5 実機プラントでの操業

### 5.1 操業状況

実機プラントは1994年5月に稼働した。火入れからのメタル生産量の推移を Fig. 9 に示す。火入れ後約6ヶ月のレーティングアップ期間を経て当初計画のメタル生産量140t/dに達し、その後さらに生産量を増加させ、現状では平日150~160t/d程度の生産となっている。

操業条件を Table 4 に示す。コークス比が高炉に比べて約3倍程度と高いのは、反応がほぼ100%直接還元であることと炉容積が小さいため融体熱が炉体の放散熱に奪われる割合が大きいことによる。なお、還元所要熱量は660Mcal/t-Metal程度であり、コークスのCOまでの燃焼熱1730Mcal/t-Metalの約38%を占める。メタル

Table 5 Composition of metal (%)

Cr	Ni	C
7.7-8.5	1.0-1.6	3.9-4.2

Table 6 Composition of slag (%)

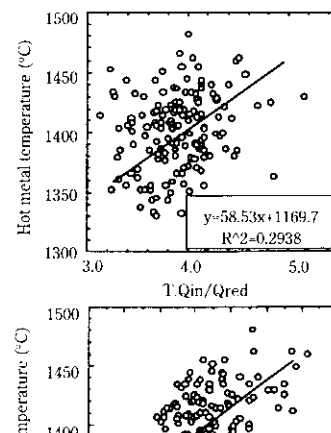
T.Fe	T.Cr	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.18-0.27	0.12-0.18	37-38	36-37	14

温度は通常1450~1550°Cであり、1450°C以上となるように原料吹込み量に応じて上下段羽口間の送風および酸素の分配比を変更して調整している。炉熱制御方法については次節で詳述する。

また、生成メタルおよびスラグの成分を Table 5, 6 に示す。メタル成分中Ni, Crの濃度([Ni], [Cr])は原料ダストの発生源である製鋼プロセスの溶製鋼種により変動する。メタルは製鋼原料として使用され、Cr歩留りは従来の90%から97%に向上した。(T.Cr)は0.12~0.18%と低く、高炉スラグとして再利用されている。

### 5.2 炉熱制御

上下段羽口の入熱分配比の炉熱に対する影響を調べることを目的として、上下段羽口からの全入熱量(T.Qin)と原料の還元に必要な熱量(Qred)との比、T.Qin/Qred、および同様に下段羽口入熱量(L.Qin)と還元所要熱量(Qred)との比、L.Qin/Qred、とそれぞれのメタル温度との関係を Fig. 10 に示す。両者とも必要還元熱Qredに対して入熱量が増加すれば、メタル温度が上昇する。ただし、T.Qin/QredよりもL.Qin/Qredの方がメタル温度に対して相関が強く、これは全入熱量が同じでも下段羽口からの入熱分配比を



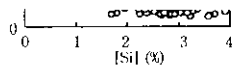


Fig. 11 Relation between [Si] (%) and (MnO)/[Mn]

上げることでメタル温度が上昇することを示している。このことから、本プロセスにおける炉熱制御の手段として、下段羽口への入熱量の変更が効果的であることが確認された。

次に炉熱の還元挙動に及ぼす影響を Fig. 11 に示す。炉熱は [Si]、還元挙動は (MnO) とメタル中 Mn の濃度 ([Mn]) との比 (MnO)/[Mn] で評価した。[Si] が高いほど、(MnO)/[Mn] が低くなっているのがわかる。すなわち、炉熱が高くなるほど MnO の還元が進行しているといえる。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO の還元挙動についても調査を実施したが、同様の結果が得られた<sup>6)</sup>。

以上のことから、原料粉の成分および吹込み量から必要還元熱量

当社では、2段羽口式コークス充填層型溶融還元法 (STAR 法) を利用して、製鋼ダストを溶融還元し有価金属成分を高歩留りで回収する新しいプロセスを開発した。

実機建設に際しては、プロセス原理及び優位性を実証するために事前にパイロットプラントテストを行い、以下の結果を得た。

(1) メタル温度  $\geq 1450^{\circ}\text{C}$ 、スラグ中 FeO 濃度  $\leq 1.0\%$  で約3日間の連続操作が可能であった。

(2) 入熱量に対する原料吹込み速度とスラグ中全 Cr、MnO の濃度の関係から製錬能力の上限を評価することが可能である。

上記パイロットプラントの実験結果を受けて、実機プラント (メタル生産量: 140 t/d) へのスケールアップを図り、1994年5月から稼動を開始した。約6ヶ月間のレーティングアップ期間を経て、目標としたメタル生産量 140 t/d へ到達し、その後も順調に操作を継続中である。

#### 参 考 文 献

- 1) T. Hamada, S. Takeuchi, K. Igawa, H. Katayama, H. Itaya, and K. Nakanisi: Pyrometallurgy '87 Symp., (1987), 435
- 2) 原 義明, 佐藤和彦, 板谷 宏, 桃川秀行, 駒村 聖, 児子精祐: 材料とプロセス, **8**(1995), 895
- 3) 原 義明, 佐藤和彦, 板谷 宏, 桃川秀行, 牛島 崇, 児子精祐: 材料とプロセス, **8**(1995), 896
- 4) 長谷川伸二, 児子精祐, 桃川秀行, 野村 真, 小林敬司, 板谷 宏: 材料とプロセス, **8**(1995), 897
- 5) 井川勝利, 板谷 宏, 浜田尚夫, 竹内 忍: 材料とプロセス, **73**(1987), 863
- 6) 原 義明, 板谷 宏, 長谷川伸二, 桃川秀行, 松本敏行: 材料とプロセス, **9**(1996), 168