

討 5

500T/D 高圧シャフト炉による還元鉄の製造

新日本製鐵 生産技術研究所 ○西田信直
 基礎研究所 原 行明
 設備技術センター 大槻直樹, 若林 徹

I 緒 言

新日本製鐵においては、昭和45年より本格的にシャフト炉による還元鉄製造の研究開発に着手した。最初は能力10T/Dのパイロットプラントによる1年2ヶ月にわたる操業試験を実施し¹⁾、得られた結果およびその解析にもとづき、51年10月に広畑製鐵所2高炉跡に高圧シャフト炉還元設備を完成した²⁾。そして昭和52年4月から我が国初の高圧シャフト炉による操業試験を開始した^{3,4)}。1年4ヶ月にわたる操業および設備稼働を通じて得られた知見について以下に報告する。

II 500T/D 高圧シャフト炉の設備およびガスフロー

500 T/Dプラントの計画に当り次の様な特徴を加味した。

- 1) 高圧高炉の経験を導入し、より効率の高いシャフト炉とする。
- 2) パイロットプラントの試験で可能であった平均950°Cの還元を可能とする。
- 3) 鉱石の還元炉と成品の冷却槽を分離して、成品の完全均一な冷却を可能にする。
- 4) 重油・灯油の部分酸化による還元ガス中には約20g/Nm³の未燃カーボンが含まれているので、このカーボンを除去したクリーンガスによる還元を可能にする。
- 5) 還元条件を変えた場合の炉内状況を明らかにするため、水平プローブを設置する。

表1に主要設備の仕様を示した。還元ガス発生炉はTexaco式部分酸化炉であるが、この採用は広畑製鐵所に於ける燃料が石油系に限られていたためである。

シャフト炉は炉頂圧力4.5 kg/cm²Gまで可能な高圧炉で、テーパーを持った円筒状になっている。

一定量(3T)秤量された装入物はスキップカーによって炉内に装入される。炉内に装入された原料は当社独自の開発設備であるスウィングスクレーパー方式によって降下が制御され、均一な荷下りが可能となった。還元生成物は、シャフト炉とはバルブによって分離した冷却槽によって冷却と浸炭処理を行って排出する。これら一連の装入物の動きは、シーケンサーにより自動的にコントロールされるようになっている。

ガスフロー(図1)は、発生した高温ガスを未燃カーボンを含有したままシャフト炉に吹込むフロー(WS)と、一旦冷却

表1 主要設備仕様

Gas Reformer	Type	Partial oxidation of light oil by the Texaco process	
	Capacity	Max 5,000kg/hr, producing 16,700Nm ³ /hr of Gas	
Shaft Furnace	Fuel	Light oil (C=85.0, H=14.3, S=0.035 ρ=0.803g/cc)	
	Pressure	1.0~5.0kg/cm ² G	
	Generated Gas Composition (Typical)	H ₂ =45.0	CO=42.0
		CO ₂ =2.7	H ₂ O=11.6
Top Gas Recycling Equipment		CH ₄ =0.1	
	Furnace Dia	injection port 2.5 m	
	Furnace Height	furnace top 2.1 m	
	Gas injection Port	250mmφ×6	
	Feed Charging	2 skip hoisting	
	Product Discharging	3 valve seals	
Top Gas Recycling Equipment	Product Cooling	6 Swing Scraper	
	Product Transfer	Closed-loop Gas cooling	
	Product Storage	Max 18,000Nm ³ /hr	
	Heat Exchanger	Pan conveyer	
	Dust Catcher	500 Ton×2	
	Recycle Gas Compressor	Shell and tube type	
	CO ₂ Absorber	Heat transfer area: 240m ²	
Gas Heater	2 stage venturi scrubber with variable throat		
	16,000Nm ³ /hr Screw Compressor×2 driven by 490KW motor and steam turbine		
	MEA process		
	Multi-tube Type 41,700Nm ³ /hr		
	Fuel BFG and COG		

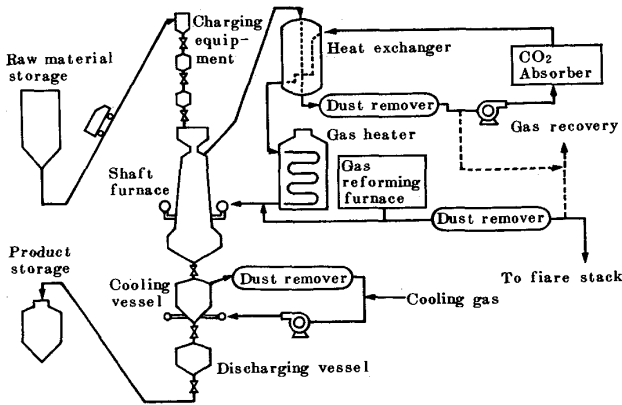


図1 設備フロー

除塵してクリーンガスとしたのち再加熱して吹込むフロー（WOS）の2方式が選択出来る設備となっている。

シャフト炉には、図2に示したような水平プローブが設置され、炉内ガス組成、炉内温度の測定と炉内試料の採取ができる。

Ⅲ 操業試験結果

操業試験は、表2に示す様に数種の操業条件を組み合わせで1回の操業期間を2～4週間とし、13回にわたって行われた。

シャフト炉頂圧力は1.0～4.5 kg/cm²Gまで変化させ、吹込温度は750～1000℃まで変化させた。吹込ガス組成は、R値（CO+H₂/CO₂+H₂O）を7から25まで変化させた。

各種銘柄での操業データの代表例を表3に示した。ペレットA、B、Cでは、炉頂圧力4.0 kg/cm²Gで目標とした500T/Dの生産を安定して達成することが出来た。

ペレットと塊鉱石では操業成績がかなり違っているが、この相異はシャフト炉内のトータル差圧の増加、ガス利用率の低下に現われ、炉頂圧力や吹込ガス温度がほぼ同一でも生産が違った。

成品としては、金属化率94%以上、還元率95%以上の還元鉄が容易に得られ、還元率の範囲は目標値の±1%であった。また還元鉄のC量は0.5～2.5%の範囲にあり、目標値±0.3%に調節可能であった。

Ⅳ 操業結果の解析

(1)ガス利用率への影響

(a)炉頂圧力の影響

図3に炉頂圧力とガス利用率との関係を示した。900℃では炉頂圧力2～4 kg/cm²Gでガス利用率はいずれも40%前後と高く限界値に近いため、炉頂圧力上昇による還元速度の上昇がガス利用率の向上となって表われていない。この時の炉内の還元状況を図4に示したが、900℃還元では2～4 kg/cm²Gの炉頂圧力で、生産量に関係なく還元率30%付近で還元停滞が認められた。一方ガス比が高い場合は、図4の点線で示すように還元停滞は認められない。

(b)吹込ガス温度の影響

ガス利用率におよぼす吹込みガス温度の影響は大きく、100℃の上昇でガス利用率は約6%上昇する。(図5)この値を次式に入れて計算すると生産量は19%上昇する。

$$P = \frac{W \times 602 \times F}{\eta}$$

W：吹込ガス量 (Nm³/tFe)
F：製品中Fe含有量 (t)

η：ガス利用率 (%)
P：生産量 (t/D)

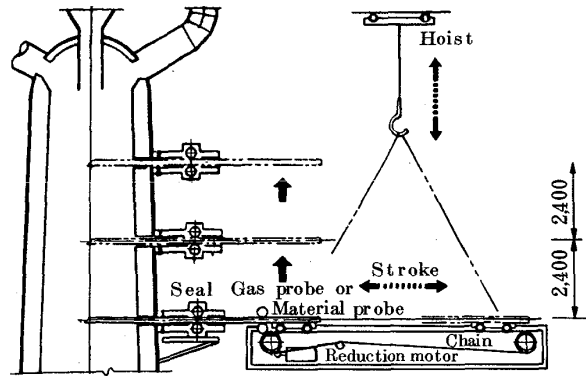


図2 水平プローブ

表2 操業推移

Test No.	Period (1977 ~ 1978)	Top pressure (kg/cm ² G)	Gas temperature (°C)	Production (ton/day)	Feed stock
1	Apr. 4 ~ 20	1.0	850 ~ 880	50 ~ 60	Pellet
2	May 14 ~ June 1	1.5 ~ 2.5	900	110 ~ 120	"
3	June 14 ~ July 2	2.0 ~ 4.5	850 ~ 950	120 ~ 240	"
4	July 20 ~ 29	2.0	900	120 ~ 220	"
5	Sept. 4 ~ 26	2.0 ~ 3.0	800 ~ 900	240 ~ 360	Pellet Lump ore
6	Oct. 18 ~ 31	2.0 ~ 4.4	900	240 ~ 440	Pellet
7	Nov. 4 ~ Dec. 7	3.5 ~ 4.0	900 ~ 1000	440 ~ 530	Pellet Lump ore
8	Jan. 12 ~ Feb. 10	1.0 ~ 2.0	790	200 ~ 380	Pellet
9	Feb. 27 ~ Mar. 23	1.0 ~ 4.0	790	240 ~ 500	Pellet Lump ore
10	Apr. 5 ~ 28	1.0 ~ 2.0	760 ~ 800	110 ~ 250	Pellet
11	May 14 ~ June 17	2.0 ~ 4.0	850 ~ 900	200 ~ 540	Pellet
12	June 19 ~ July 5	1.0 ~ 2.0	720 ~ 770	150 ~ 230	Pellet
13	July 17 ~ July 28	1.0 ~ 2.0	760 ~ 780	110 ~ 250	Pellet

表3 各種銘柄による代表操業データ

		Pellet A	Pellet B	Pellet C	Lump A
Operating condition	Volume of injection gas (Nm ³ /hr)	31,600	31,490	30,950	25,880
	Injection gas temperature (°C)	904	898	904	898
	Top gas temperature (°C)	325	323	346	399
	Top pressure (kg/cm ² G)	3.99	3.97	3.97	3.71
Operating result	Gas utilization (%)	37.2	40.1	40.0	38.3
	Production (t/D)	515	530	516	372
	Gas ratio * (Nm ³ /kg-Fe)	1.61	1.49	1.46	1.70
	Reduction degree of product (%)	95.8	94.3	97.5	95.9

* Gas Ratio = Volume of injection (CO+H₂)/weight of Fe charging

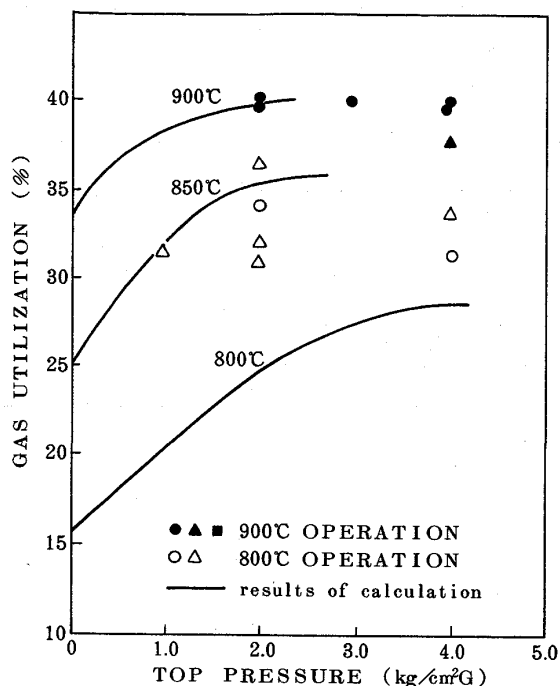


図3 吹込温度および炉頂圧とガス利用率の関係

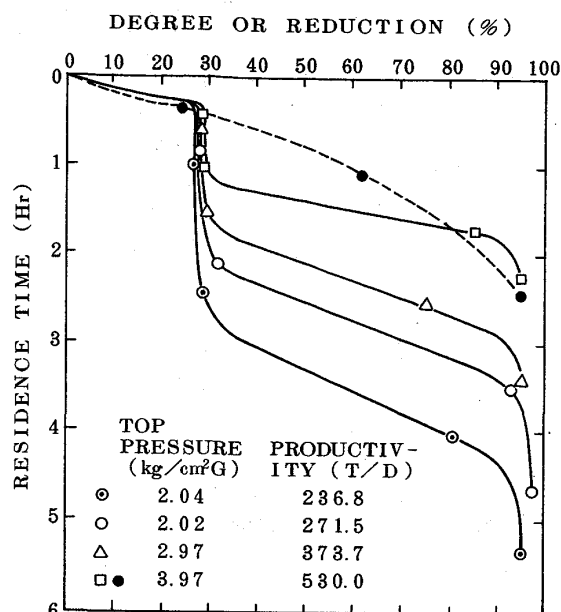


図4 シャフト炉内の還元状況

(c)ガス組成の影響

吹込ガス組成として吹込ガスR値を7から25迄変化させて調査したが、R値の上昇によりガス利用率が上昇し、その影響度は高温ほど大きかった。

(2)炉内ガス反応の影響

炉頂圧力の上昇により炉内でのCH₄生成量は増加し、炉頂圧力1.0 kg/cm²の増加により0.1%程度の増加であった。CH₄合成反応は発熱反応であり、CH₄1%の増加で60~80℃の温度上昇が見込まれるので、吹込温度の上昇と同様の影響が考えられる。

C析出反応については、WOS操業では還元鉄の表面が黒ずんだこともあり、この反応が起ったと考えられるが、実施した操業条件の範囲内では通気障害はなかった。

(3)成品中のC量

炉内における還元鉄の浸炭状況を図6に示したが、浸炭は金属化率70%以上になると急激に進行する。また吹込み温度の低下、炉頂圧力の上昇により還元鉄中のC量は増加し、吹込みガス中のCO₂、H₂Oの増加により低下している。

還元鉄中のCは、①セメントイトC又は金属鉄との固溶C、②遊離Cの2形態があるが、得られた還元鉄には、90%以上が①の形態で存在することを確認した。

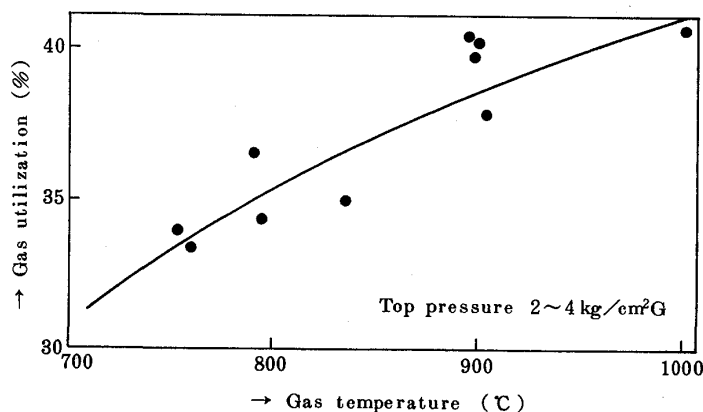


図5 吹込ガス温度とガス利用率の関係

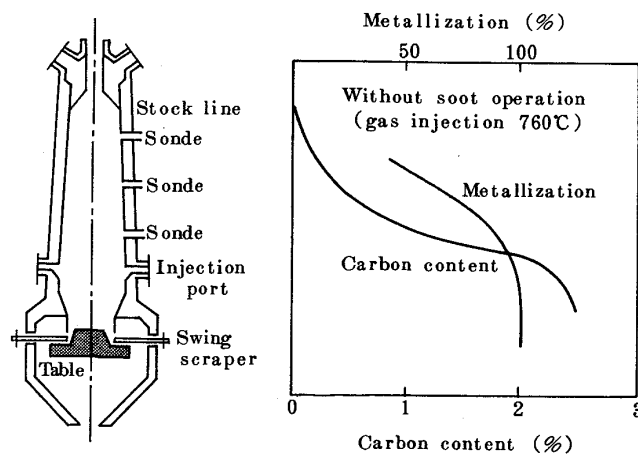


図6 シャフト炉内でのCの変化

V 数学モデルによる解析

著者の一人は、酸化鉄の還元反応のほかに、水性ガス変成反応、 CH_4 生成反応を考慮した高圧シャフト炉に適用できる数学モデルを作成し報告したが⁵⁾、このモデルによる解析結果の2, 3を紹介する。

図7は、炉頂圧力 $2\text{kg/cm}^2\text{G}$ 吹込みガス温度 900°C 、ガス利用率 40.5% の場合のシミュレーション結果だが、図4と同様に還元率 30% 付近に還元付滞ゾーンがあらわれており、炉内状況をよく推定しているといえる。

図8は、吹込ガス温度とガス利用率との関係を示したもので、吹込ガス温度 10°C の上昇でガス利用率は約 1% 向上しており、実績では 100°C の上昇でガス利用率は約 6% 上昇していた。

VI 結 言

500T/D 高圧シャフト炉による約1年半にわたる操業試験結果の概要を紹介し、操業要因と生産性、品質の関係を明らかにした。なおこの結果より、40万l/Yの標準プラントの詳細設計を完了することができた。

- 1) 鉄と鋼 64(1978)S 457
- 2) 鉄と鋼 64(1978)S 458
- 3) 鉄と鋼 64(1978)S 459
- 4) 鉄と鋼 65(1979)S 68
- 5) 鉄と鋼 64(1978)S 69

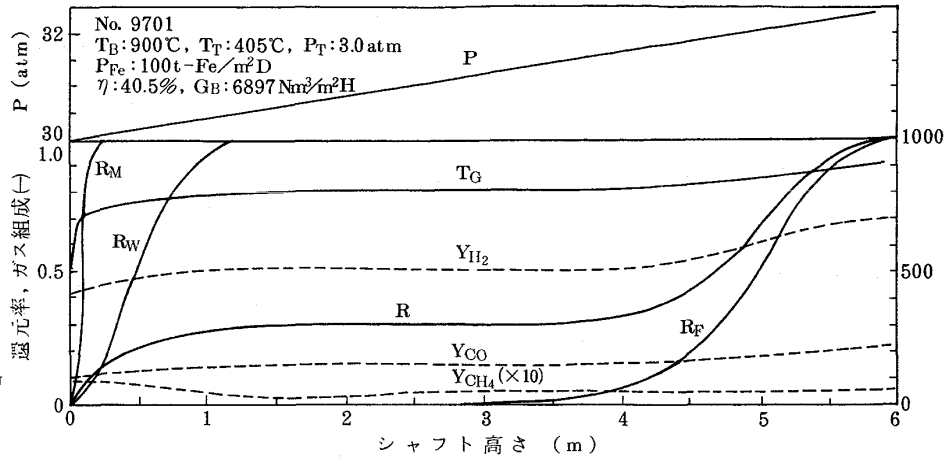


図7 高ガス利用率(40.5%)の場合のシミュレーション

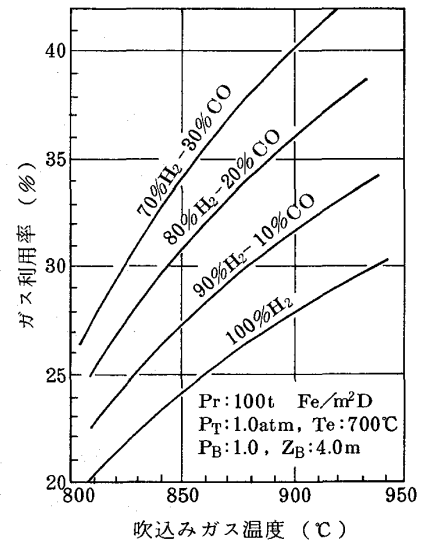


図8 還元ガス温度と利用率の関係