

Fig. 3. Relation between yard coke rate and [Si], [S] content in metal.

Table 2. Variation of [Si], [S] content in metal.

Period	Standard S. 40.6			1 S. 40.7			2 S. 40.8	
	1	11	21	1	11	21	5	9
Item	10	20	30	10	20	31		
[Si] × 10 ⁻¹	10	10	8	9	11	12	12	
[S] × 10 ⁻²	5	5	5	4	5	5	5	

差によるものとすれば、水分によるサンプリング誤差は最大 1.98% となる。貯骸を使用することによつて水分灰分のサンプリング誤差は一層大きくなるものと考えられ、1ロット、120t の貯骸サンプリングにより基準状態より 1%、2% 多く水分が変動するものと考えた場合の推定銑中 [Si], [S] を Fig. 3 に示した。また、灰分の変動も同時に考えられ、Fig. 2 (b) の灰分変動より $3\sigma = 0.58\%$ の最大変動を第12式より導いて加えた。なお、実際操業結果より銑中 [Si], [S] の変動をプロットした。

4.1 銑中 [Si] の変動

Fig. 3 より、灰分変動を考慮しない場合、第5式より実績値で最も変動の大きい点での水分誤差は 2.37% となる。しかし、灰分変動 $3\sigma = 0.58\%$ を考慮すると、その水分誤差は 2.0% 以内になる。これより推定すると、貯骸 30%、50%、100% 使用の場合、銑中 [Si] はそれぞれ 0.13%、0.16%、0.22% と変動するものと考えられる。貯骸50%使用時の実績値が銑中 [Si] 0.12% と非常に低く出ているが、0.16% まで変動する可能性がある。そこで、実際操業で銑中 [Si] の変動を 0.15% 以内とするには、1ロット 120t のサンプリング測定では貯骸 40% までの使用にしなければならない。

4.2 銑中 [S] の変動

貯骸使用実績より求めた [S] の変動は、標準期間と差異は見られない。貯骸使用による変動推定値を第9式第13式より求めたが、非常に変動が小さく、貯骸 100%

使用で、銑中 [Si] 変動より求めた最大水分誤差 2.37% では銑中 [S] 0.006% にも達せず、水分誤差 2%、灰分 3σ 変動で銑中 [S] 0.06% の変動となる。従つて現状のサンプリングで、銑中 [S] の変動は 0.06% 以内でおさえられるのである。

5. 結 言

貯骸使用について次の結論を得た。

1) 貯骸使用結果より推測すると、1ロット、120t のサンプリング後、乾量補正して使用した場合、貯骸 30%、50%、100% 使用の時、それぞれの銑中 [Si] の変動は

0.13%、0.16%、0.22% となり、銑中 [S] は 0.06% 以内でおさえられるであろう。

2) 銑中 [Si] の変動を実際操業において、0.15% 以内で操業を行なう場合は、貯骸は 40% 以内の使用にしなければならない。貯骸を 50% 以上使用する場合は分析精度を増す必要がある。

3) 貯骸を 6 回に 1 回 (1/6) 使用した場合、操業上問題点は無かつた。6 回に 3 回 (3/6) 使用においては、炉況は悪かつた。これが貯骸によるものか否かは判断し難いので今後検討する必要がある。

文 献

1) 第24回製鉄部会資料、(昭和39年)銑24-1-講

669, 141, 17; 662, 749, 2012, 23

669, 162, 283, 4

(34) 半還元海綿鉄のコークス比への効果

(溶鉄炉シャフト部における還元過程に関する研究-II)

八幡製鉄、技術研究所

工博 小菅 高・工博 児玉 惟孝

堀尾 竹弘・○稲垣 憲利

Effect of Sponge Iron on Coke Rate.

(Study of reduction process in shaft of blast furnace-II)

Dr. Takashi KOSUGE, Dr. Koretaka KODAMA, Takehiro HORIO and Noritoshi INAGAKI.

1. 緒 言

高炉シャフト部における間接還元の状態はカーボンソルーション反応を仲介としてコークス比に影響を与える重要な要因である。学振法塊状鉄鉱石標準還元試験値と高炉内間接還元率とは高度の相関があり¹⁾、この結果からコークス比の推定を行なうことが可能であるが、シャフト部の還元状態は種々の因子によつて影響されるので

特定の条件における解析結果による応用のみでは不十分な点があると考えられる。これらの点を明らかにするため小型のシャフト炉を用いて還元実験を行なった。基礎的な実験はすでに報告したが、本報では半還元装入物を用いた場合のコークス比推定についてシャフト炉実験を応用した結果について報告する。

2. 実験装置および方法

前報²⁾とはほぼ同一の装置、方法であるが、いくつかの変更点について記す。シャフトの大きさは有効反応域として上部径 62 mm φ, 下部径 104 mm φ, 高さ 1000 mm, 内容積 5200 cm³ である。温度分布は上端より 200 mm・500°C, 400 mm・700°C, 600 mm・900°C, 800 mm・1000°C となるように外部発熱体で調節する。装入物は鉄石粒度 13 mm, コークス粒度 10~20 mm とし層状装入を行ない、炉下部のスクリーフィーダーで高炉に近似させて降下させる。羽口より入るガスは直接還元(カーボンソリューション反応)帯通過後を想定し、高炉々頂ガスの (CO+CO₂) %に近い 41% CO とした。

この他の条件としては装入物降下速度、ガス流量、ore/coke があり、シャフト炉下部における還元率(以下最終還元率と呼ぶ)を高炉内間接還元率と、炉頂ガス CO₂ 濃度を高炉のそれと近似させる必要がある。酸素バランスをとることにより次式が成立つ。

$$16/22 \cdot 4 \cdot (\text{CO}_2) \cdot Vg = \phi \cdot Vi \cdot W / T \cdot Re \dots\dots (1)$$

ただし (CO₂): 炉頂ガス CO₂ 濃度 %/100

- Vg: 送入ガス量 m³/min
- φ: 装入鉄石結合酸素 %/100
- Vi: 炉内容積 m³
- T: 装入物降下時間 min
- W: 装入物 m³ 当り鉄石量 kg/m³
- Re: 最終還元率 %/100

高炉についても Re を間接還元率とすれば同様な式が成り立つので、(CO₂) と Re との関係が同じになるようにスケールダウンすればよい。しかし一意的に計算によつてきめることはできない。本実験では種々の条件から T=86min, Vg=0.028 m³/min, O/C=2.5(W=630 kg/m³) とし、(CO₂)=0.473 Re の関係となつた。この条件では炉頂 CO₂ 濃度は近似するが降下時間の不足から最終還元率は低目となり、実際高炉への適用ではなんらかの補正が必要であると考えられる。

3. 実験試料

鉄石は戸畑 DL 焼結鉄を標準とし、これに半還元海綿鉄を混合してその影響を調べた。分析値を Table 1 に示す。

半還元海綿鉄は有明製鉄にて製造したもので、学振標準還元率は 30.8% と被還元性は低い。

4. 実験結果

シャフト炉還元実験における焼結鉄 100%, 海綿鉄 20

Table 1. Analysis of samples.

	T·Fe	M·Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	O
Tobata DL sinter	57.41	—	12.76	67.93	23.28
Sponge iron	63.14	39.58	34.83	2.14	8.39

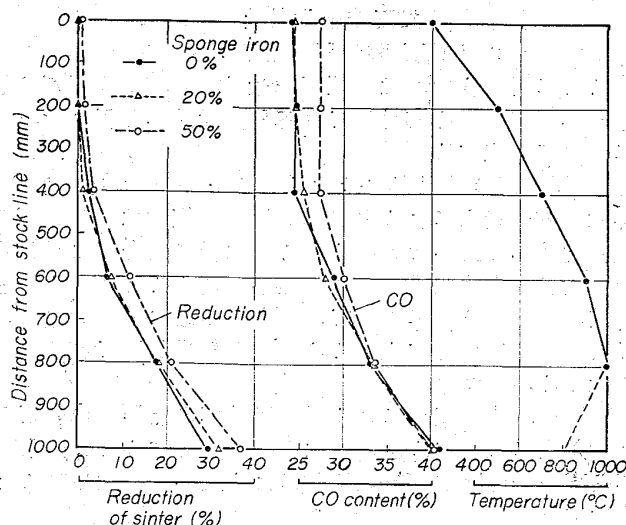


Fig. 1. Reduction and CO content in shaft furnace using sponge iron.

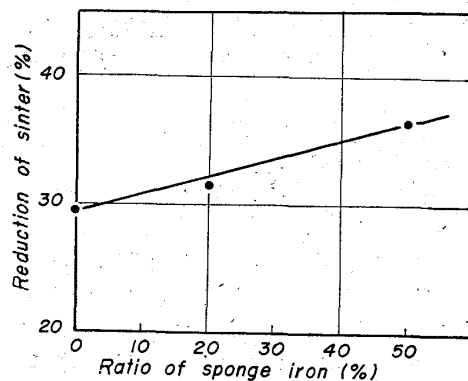


Fig. 2. Reduction of sinter at 1000 mm from stock line.

%混合、同 50% 混合の場合の焼結鉄最終還元率、炉内ガス CO 濃度の変化を Fig. 1 に示す。これよりわかるように海綿鉄の配合とともに CO 濃度が上昇し、焼結鉄の還元率が上昇する。高炉内間接還元率に相当する最終還元率は Fig. 2 に示すように海綿鉄配合割合にほぼ直線的に比例して上昇する。この現象の理由は、半還元海綿鉄という結合酸素の少ない被還元性の低いものが入つた場合、還元される酸素量が減少しそのため炉内 CO₂ 濃度が低下し CO 濃度が上昇して装入物の還元がより進むと考えられる。

5. コークス比変動量の推定方法

コークス比の推定式はいろいろ考察されているが、ここでは基準状態からの変動量の推定を次のような方法によつて行なう。

5.1 結合酸素量・還元率の変化によるソリューションロス変化量

これは次式で示される。

$$\Delta C_{Si} = -12/16 \cdot \{K_1 \sum a_i / 100 \cdot [O]_i (1 - R_i) - K_2 \sum a_i / 100 \cdot [O]_i (1 - R_i)\} \dots\dots (2)$$

- ただし K₁: 標準時鉄石 kg/t
- K₂: 海綿鉄配合時鉄石比 kg/t
- a_i: 各鉄石配合割合 %

[O]_i: 各鉱石結合酸素量 %/100

R_i: 各鉱石炉内間接還元率 %/100

ここに用いる R_i は学振標準還元試験値から既報の統計的解析結果¹⁾を応用して炉内間接還元率を個々の鉱石について推定する。

5.2 炉内ガス濃度変化によるソリューションロス変化量半還元鉄の装入による炉内 CO 濃度の変化は当然鉱石の間接還元率を上昇せしめる。これは既に報告した界面反応律速に基く速度式²⁾からも推察されることである。速度式のシャフト炉についての数学的処理はむずかしいので実験結果を応用する。この応用の前提として次の仮定を設ける。

a) CO 濃度変化による間接還元率の上昇度は鉱石の被還元性に比例する。これは別の見方をするとガス利用率の高い場合ほど海綿鉄装入による上昇度の大きいことを示す。

b) シャフト炉の最終還元率変化を高炉に適用する補正係数を 0.3 とする。実験方法の項で述べた通りシャフト炉での最終還元率は高炉内間接還元率より低い。界面反応律速の速度式から反応界面進行速度変化量 Δx を考えてみるとシャフト炉、高炉いずれでも次式が成立する。

$$4\pi r^2 \Delta x = 4/3 \cdot \pi D^3 \Delta R \dots \dots \dots (3)$$

ただし r: 未還元球半径

Δx: CO 濃度上昇による反応面進行速度変化量

D: 鉱石球半径

R: CO 濃度上昇による還元率変化量

高炉シャフト炉の対応する位置では Δx は等しいと考えてよい。高炉において D=10 mm, R=78% とすると r=6.0 mm となり、シャフト炉において D=6.5 mm, R=28% とすると r=5.8 mm となり、これらの値を代入して ΔR の比をとると 0.297 なる。

c) 間接還元率の上昇度は海綿鉄を除く ore/coke に比例する。Fig. 2 からわかるように海綿鉄配合率に比例して間接還元率は上昇するがシャフト炉実験では ore/coke 一定であるのに対し、実際高炉ではコークス比の低下と共に ore/coke の上昇する点が異なる。海綿鉄の配合は逆にみると結合酸素を多量に有する鉱石の装入量が減少することを意味する。従つて実際高炉のコークス比推定では、海綿鉄を除く ore/coke を因子としてとりあげるのが妥当である。

以上の仮定から間接還元率上昇度は次式となる。

$$\Delta R_i = 0.3 \cdot 100(B_1 - B_2) / B_1 \cdot R_i / R_S \cdot \Delta R_S \dots (4)$$

ただし B₁: 標準時の ore/coke

B₂: 海綿鉄配合時の ore/coke (海綿鉄を除く)

R_i: 鉱石間接還元率

R_S: 焼結鉱間接還元率

ΔB_S: シャフト炉における 焼結鉱最終還元率変化量 (海綿鉄配合 1% 当り)

この ΔR_i を用いればソリューションロス変化量は次式で求められる。

$$\Delta C_{S2} = -12/16 \cdot K_2 \sum a_i / 100 \cdot [O]_i \cdot \Delta R_i \dots (5)$$

5.3ソリューションロスのコークス比への変換

製鋼鉄吹製高炉の熱バランスから次の関係式が導かれ

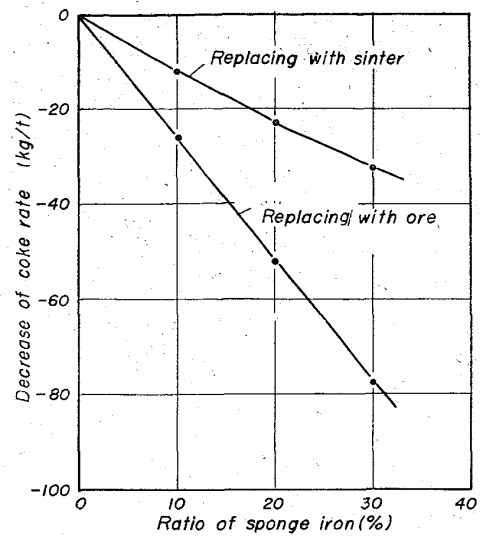


Fig. 3. Estimation of coke rate using sponge iron.

ている¹⁾。

$$\Delta CR = \Delta C_S [1 + 707 / (0.874 C_p T - 1550M + 20)] / C_f$$

ただし ΔCR: コークス比変動量 kg/t

T: 送風温度 °C

M: 送風湿度 kg/m³

C_p: 送風比熱 kcal/m³·°C

C_f: コークス固定炭素 %/100

T=1000°C, M=25 g/m³, C_f=0.89 では ΔCR=4.08 ΔC_S となり、ΔC_{S1}+ΔC_{S2} を ΔC_S として代入すればコークス比変化量が求められる。

5. 半還元海綿鉄の場合の推定

推定にあつては当然ベースとなる装入物条件、あるいは代替銘柄によつて異なつた値となる。一般的な評価をするために焼結鉄 50% の標準装入物を設定し、これに焼結鉄との切替、鉄石との切替について上記の方法で推定した。その結果を Fig. 3 に示す。焼結鉄との切替では海綿鉄配合増と共に低下が鈍る傾向があるが、10% で約 11 kg/t、鉄石との切替では約 25 kg/t のコークス比低下が推定された。また東田 No. 6 BF において行なつた試験操業についても推定し、別報のように良好な一致を得た。

6. 結 言

1. 半還元装入物の高炉コークス比への効果についてシャフト炉実験結果を応用した推定方式を考察した。
2. 結合酸素の少ない半還元装入物を混合すると、炉内 CO 濃度が上昇して還元が速やかに進行する。その上昇度は装入割合に比例する。
3. 推定結果によると結合酸素約 8% の海綿鉄の場合焼結鉄との切替 10% で約 11 kg/t、鉄石との切替で約 25 kg/t コークス比は低下する。
4. 推定値は高炉における実績値とよく一致する。

文 献

- 1) 児玉, 堀尾, 彼島, 斧: 鉄と鋼, 51 (1965) 10, p. 1763
- 2) 児玉, 重見, 堀尾: 鉄と鋼, 49 (1963) 10, p. 1299
- 3) 児玉, 重見, 東: 鉄と鋼, 47 (1961) 3, p. 271