

Table 6. Coke rate replacement when changing sinter to each other ore by 10%

Change of raw material	Cokerate replacement
Sinter→Reduction ratio >70% Ore	6.1 kg/t-pig
// → 70~60% Ore	7.9
// → 60~40% Ore	22.1
// → <40% Ore	38.4

燃料原単位低下に対する可及的努力が払われる結果、熱レベルを風温、風湿で補償し、コークス比に対する影響を緩和する傾向が操業実績値から認められるが、操業解析には送風温度、送風湿度などを一定とし、すなわち熱レベル補正のコークス比を考えるのが普通であり、この際には(7)式を使用するのが妥当である。

ソルーションロスの変化のコークス比におよぼす影響は、風温、風湿レベルによつて異なり、例えば風温 930 °C、風湿 0.040 kg/Nm³ の場合、(7)式より $C_{or} = 3.09C_s$ となり、コークス中炭素を89%とすると、ソルーションロス 1 kg/t-pig の変化は 4.60 kg/t-pig のコークス比の変化に相当する。

最後に還元率で層別した銘柄を装入変更させた場合のソルーションロスおよびコークス比に与える影響について、焼結鉄を基準にして検討した。上述の熱レベル補正を加えた場合について計算し、Table 6 に示した。これから還元率の異なる鉄石のコークス比に与える影響はかなり大きいことが認められた。したがって焼結鉄使用試験等においては、その代替鉄石の選択の際この点について十分考慮する必要がある。

4. 結 言

学振塊状鉄石標準還元法による鉄石還元率を高炉操業に適用する試みとして、戸畑高炉で使用している鉄石の学振法による被還元性と高炉での間接還元率およびコークス比との関係を統計的に解析して次の結果を得た。

1) 標準還元法による鉄石還元率と高炉炉内での間接還元率との間には高度の線型回帰が認められ、学振法は限られた還元雰囲気であるにもかかわらず、動的な高炉内での鉄石還元に関する情報を提供しており、操業指針の参考に十分利用できることが認められた。

2) コークス比に対する影響は鉄石の還元性のみで一律に決まらず熱的条件の影響を受けるが、還元率の異なる鉄石のコークス比に与える影響はかなり大きく、還元率 30% 程度の鉄石を焼結鉄に 1% 装入変更する際には、補正コークス比は 3.8 kg 減少し、還元率 70% 程度の鉄石の場合には 0.6 kg コークス比は減少する結果が得られた。

文 献

- 1) 深川・山本, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p.1607

(21) 鉄鉱石の還元速度がコークス比におよぼす影響

八幡製鉄所, 戸畑製造所

研野 雄二・○阿部 幸弘

On the Effect of Reduction Rate of Iron Ore on Coke Rate.

Yūji TOGINO and Yukihiko ABE.

先に鉄鉱石の還元速度式の高炉モデルへの適用¹⁾と題して、高炉内の還元速度の推定を行なつたが、この考え方をひろめて、部分熱精算を採用し温度分布を推定し、コークス比との関係を明らかにした。

1. 高炉内の温度分布と還元速度の推定

1.1 シャフト内の各区分における heat balance 式

温度分布を推定する場合最も問題となるのは、ガス—固体の伝熱速度であるが、化学工学便覧に示された充填層の伝熱計算などによれば、固体がガス体より受ける伝熱速度は、高炉の場合ガス速度が極めて早いことにより、かなり大きな値をとり、heat balance により求める値と大きな差はないと考えられる。ただしこの考察は結論に大きく影響するので、今後とも検討を続けたい。

[24-22-20-18]* の部分熱精算 (*[]内数字は羽口からの高さを示す)¹⁾

$$\text{入熱項 (kcal/hr)} = (t_{18} \text{ } ^\circ\text{Cにて持込むガスの顕熱}) + (\text{大気温度にて装入される装入物の顕熱}) + ([24-18] \text{の間で行なわれる間接還元熱})$$

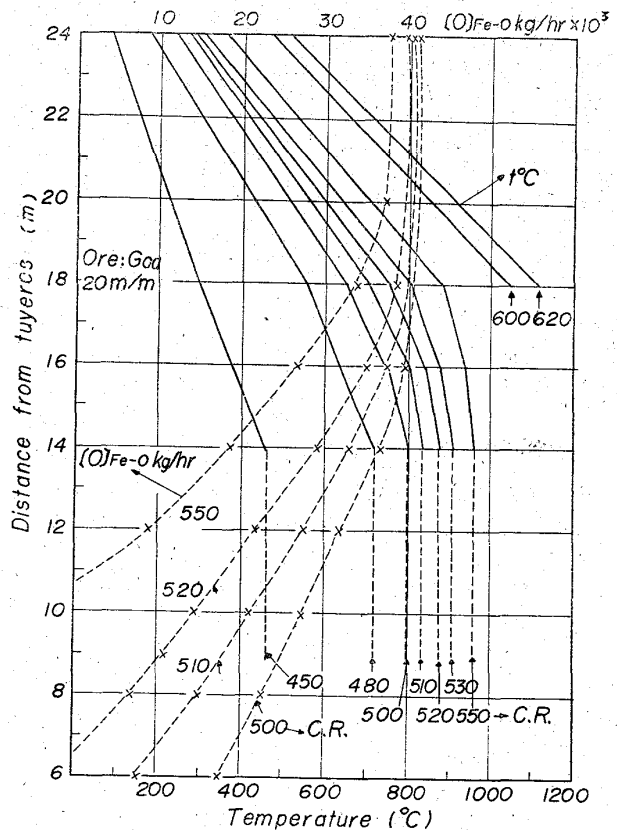


Fig. 1. Change of temperature and [O]_{Fe-O} in shaft.

出熱項(kcal/hr) = (装入物の水分の持ち去る熱) + (炉頂ガスの持ち去る熱) + ($t_{18}^{\circ}\text{C}$ にて持ち去る固体の顕熱)

[18-16] の部分熱精算

石灰石の分解速度は不明であるから、装入石灰石の半量がこの域で分解し [16-14] で残りの半量が分解すると仮定した。

入熱項 = ($t_{16}^{\circ}\text{C}$ にて持ち込むガスの顕熱) + ([18-16]の間で行なわれる間接還元熱) + ($t_{18}^{\circ}\text{C}$ にて持ち込む固体の顕熱)

出熱項 = ($t_{16}^{\circ}\text{C}$ にて持ち去るガスの顕熱) + (石灰石の分解熱) + ($t_{16}^{\circ}\text{C}$ にて持ち去る固体の顕熱)

[16-14] の部分熱精算

[18-16] と同様になる。

[14-12] の部分熱精算

入熱項 = ($t_{12}^{\circ}\text{C}$ にて持ち込むガスの顕熱) + ([14-12]の間で行なわれる間接還元熱) + ($t_{14}^{\circ}\text{C}$ にて持ち込む固体の顕熱)

出熱項 = ($t_{14}^{\circ}\text{C}$ にて持ち去るガスの顕熱) + ($t_{12}^{\circ}\text{C}$ にて持ち去る固体の顕熱)

[12-10], [10-8], [8-6] の部分熱精算

[14-12] に同様なれど、直接還元が発生する域においては、例えば [8-6] で起これば、

入熱項 = ($t_6^{\circ}\text{C}$ にて持ち込むガスの顕熱) + ([8-6]の間で行なわれる間接還元熱) + ($t_8^{\circ}\text{C}$ にて持ち込む固体の顕熱)

出熱項 = ($t_8^{\circ}\text{C}$ にて持ち去るガスの顕熱) + ([8-6]の間で行なわれる直接還元熱) + ($t_6^{\circ}\text{C}$ にて持ち去る固体の顕熱)

各上式において間接還元熱の有無による推定温度の変化は微小であり、これを無視しても近似的に良いことを確めた。直後還元域では勿論無視し得ぬ。

1.2 Belly 以下 (羽口より 6 m 以下) の熱精算

入熱項 = (Cが CO になる熱) + (送風顕熱) + (送風中水分顕熱) + ($t_6^{\circ}\text{C}$ にて Belly に持ち込む固体の顕熱) + (Belly 以下で起きる還元熱)

出熱項 = (Si, Mn, P の直接還元熱) + (Belly 以下で起きるソリューションロス反応熱) + (溶銑・滓の持ち去る熱) + (送風中水分分解熱) + (輻射・伝導その他の損失熱) + ($t_6^{\circ}\text{C}$ にて Belly 上部に持ち去るガスの顕熱)

1.3 温度分布の推定

1.3.1 推定条件

(1) 操業条件

送風量 2300Nm³/min 送風温度 900°C

送風湿度 35 g/Nm³ dry Si=0.55%

Mn=0.70%

P=0.13%

輻射・伝導その他の損失熱 = 18,300,000kcal/hr (戸畑-I. B. F 実績参照)

(すべて Belly 以下で行なわれると仮定)

(2) 各種熱容量および比熱

[ガス] CO: 0.310+0.000054 t cal/m³

CO₂: 0.495+0.000125 t cal/m³

N₂: 0.303+0.000036 t cal/m³

H₂: 0.303+0.000036 t cal/m³

Table 1. Specific heat of coke and converter slag.

T	200	400	600	800	1000	1200
Coke	45	110	185	265	350	435
Converter slag	36	82	132	180	235	296

T: Temp. (°C)

Table 2. Weight of charging materials. (kg/t-pig)

Iron ore	Converter slag	Lime stone	O Fe-O	Water
1554.6	10.2	68.0	375.75	28.04

Table 3. Top gas temperature (°C)

S	O	2031	2200	2400	2640	2933	3300
	C	650	600	550	500	450	400
80	579	488	382	258	108	-75	
84.2	561	469	361	234	82	-104	
90	535	441	331	201	46	-145	

O: Out put (t/d)

C: Coke ratio (kg/t)

S: Solution loss (kg/t)

Table 4. Coke ratio and gas temperature.

C.	t _i	t ₂₄	t ₁₈	t ₁₆	t ₁₄	t ₁₂ ~t ₀ *
450	82	295	380	464	nearly = 464	
500	234	652	740	802	" = 802	
550	361	882	920	961	" = 961	
600	441	1049	1091	1138	" = 1138	

* Indirect reduction zone.

C.: C. R. kg/t

Table 5. Coke ratio and [O]_{Fe-O} kg/hr at each point.

D	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6
C.										
500	41334	—	—	40402	39655	36389	32411	27550	22260	17384
510	40543	—	—	39800	37500	33500	27000	21000	15000	7500
520	39736	—	—	38616	35020	29009	21683	14252	6925	—
550	37575	—	37179	33942	27156	18700	8085	—	—	—

D: Distance from Tuy. (m)

C.: C. R. kg/t

Table 6. Relation between C. R. and limited unreduced $[O]_{Fe-o}$ kg/hr.

t \ C	450	500	550	600	650
1100	7086	8454	9575	10509	11298
1200	6085	7343	8371	9229	9954
1300	5059	6206	7145	7927	8588

C.: C. R. (kg/t) t: t_6 (°C)

Table 7. Presumption of coke rate

Size (mm)	Ore	Goa	India
10		about 490	about 510
20		// 510	// 560
30		// 525	// 620

Air: 0.340 cal/m^3 (at 900°C) H_2O : $0.478 + 0.00008 t \text{ cal/m}^3$ $\text{CO} + \text{H}_2$: $0.309 + 0.000052 t \text{ cal/m}^3$

[固体] および [液体]

鉄鉱石 0.2 kcal/kg (推定)石灰石 0.217 kcal/kg 溶 滓 450 kcal/kg 銑 鉄 310 kcal/kg

コークス, 転炉滓 Table 1 に示す.

(3) 装入物については Table 2 のとおりとする.

(4) solution loss 量 $84 \cdot \text{kg/t-pig}$

solution loss 反応機構については不明な点が多く(特に反応速度論的に), 一定(pig t 当り)としたが, 今後さらに検討したい.

1.3.2 計算方法

(1) 高炉全体の熱精算よりコークス比, solution loss 量, 炉頂温度の関係が Table 3 のように定まる.

炉頂温度の絶対値が若干実績よりも高目に出ているようであり, さらに検討したい. 銑鉄 t 当りの solution loss 量により, 炉頂温度は $40^\circ\sim 50^\circ\text{C}$ 近く異なるが, 今回は 84.2 kg/t-pig 一定として検討を進める.

(2) コークス比を定めると, 風量一定であり出鉄量が定まり, 炉頂温度が決まるので, 前記 heat blance (部分熱精算)より, 間接還元域のシャフト内温度分布が定まる.

1.3.3 計算結果

コークス比 $450 \text{ kg} \sim 620 \text{ kg}$ について計算した結果を Table 4 および Fig. 1 に示す.

1.4 シャフト内の各区分における還元量

上記の温度を使用して, 各区分における還元量を算出する。

[計算結果]

一例として [ゴア-平均粒度 $D=20\text{mm}$] の場合についての結果を示す。(Table 5 および Fig. 1)さらにゴア $D=10\text{mm}$, 30mm およびインド $D=10\text{mm}$, 20mm , 30mm の場合の結果を計算した。(図省略)

2. 鉄鉱石の還元性および鉱石粒度(平均粒度)がコークス比におよぼす影響

2.1 コークス比の推定方法

Belly 以下の heat blance を考える時, 風温, 風湿, 溶銑温度, Si, Mn, P%, 輻射伝導その他の損失熱が時間当り一定の時, 炉床の熱バランスを左右するものは,

(1) Belly 以下で起こるソリューションロス量, 換言すれば未還元 $[O]_{Fe-o}$ 量である,(2) Belly 上部に持ち去るガスの顕熱—Belly 以下に持ち込む固体の顕熱, すなわち t_6 の温度である.そこで, コークス比(出鉄量), 許容される未還元 O_{Fe-o} 量, t_6 の温度の関係を Belly 以下の heat blance より求めると, 次のごとくなる. これより, 還元曲線で定まる未還元 $[O]_{Fe-o}$ 量とを比較し, コークス比を推定する.

2.2 各種コークス比の推定 (Table 7)

2.2.1 鉱石種の影響

Table 7 に示すごとく, ゴア (20mm) で 510 kg に対し, インド (20mm) で 560 kg と約 50 kg のコークス比の差を持つ.

この差は平均粒度の小さい時と, 大きい時では異なり, 平均粒度が大となるにつれて差は大きくなる.

2.2.2 鉱石平均粒度の影響

ゴアの場合の方が影響が小さく, インドの場合に影響が大きい. インドがゴアと同等の還元速度を得るためには, ゴアの平均粒径 20mm に対し, インドのそれを 10mm にする必要がある.

結 言

(1) 当所技研で求めた鉄鉱石の還元速度式を実際高炉に応用すべく, 高炉をモデル化し, シャフト部の還元曲線を推定した.

(2) その結果, 反応温度の影響が極めて強く, 実際高炉のシャフト部の温度曲線を推定する必要のあることを認め, シャフトを各区分に分けて, 部分熱精算を行ない, 温度曲線を推定した.

(3) コークス比を定めると, 温度曲線が定まり, この条件下で還元曲線を求めた.

(4) Belly 以下の熱精算を行ない, 許容できる未還元 O_{Fe-o} 量と, コークス比との関係を求め, 上記還元曲線より定まる未還元 O_{Fe-o} 量より, コークス比を推定した.(5) コークス比の推定結果は, 絶対値については今後さらに詳細な検討を必要とする点は多々あるが, 鉱石種により, インドとゴアでは約 50 kg のコークス比の差が認められた. また平均粒度についても, かなりの差を認めることがきでか.

文 献

1) 鉄と鋼: 49 (1963) 10, p. 1292