

Table 1

Exp. No. date	Condi- tions	Coke gas %	Oxygen %	Blast Nm <sup>3</sup> /mn	Blast temp. °C	Ore/ coke	Pig prod. kg/day	Coke ratio	Pig iron	
									Si	S
n <sub>1</sub> 34.9	Standard C.G. add	0	0	3.4	500	0.54	398	3.08	1.76	0.044
		9	6.8	3.4	500	0.78	780	2.02	1.80	0.035
n <sub>2</sub> 35.3	Standard C.G. add	0	0	3.4	750	0.46	430	3.28	0.87	0.036
		3.57	0	3.4	831	0.53	491	2.88	0.66	0.052
n <sub>3</sub> 36.4	Standard Creosote	0	0	4.3	1000	0.56	398	3.08	1.26	0.054
		135 kg/tpig	0	4.3	1000	0.59	445	2.71	0.95	0.058

るために各羽口ごとの流量調整はガス燃料を添加する場合よりも、よく厳密に行なわなければならない。また添加量が増すにつれて Fig. 4 に示すごとく炉頂ガス中のメタン量が増加し炉頂ガスが黒味を帯びて来る。

### iii) 第 n<sub>3</sub> 回実験

前述のごとく液体燃料を添加する際には各羽口ごとの流量調整が重要であることが明らかとなり、この点の設備を改良工夫して今回の実験を行なったが、その結果炉頂ガスが黒味を帯びることもなくその操業成績も向上した。次表に各回の実験結果を示す。また以上3回の実験を通じて、停電、断水、ガス中断、棚吊、休風等のような、普通操業の場合に発生する事故は一通り発生した。これらの事故に対しては、普通操業の場合と同様、それぞれの現象に応じて適切な処置をとれば、危険性に対する危懼は全く不必要であることがわかった。

### III. 結 言

500 kg/day 小型試験溶鉄炉の第8次、9次、11次操業で燃料添加高炉操業を検討したが、炉床温度の補償は、理論燃焼温度を一定として求めた値よりも小さくてよく、また高炉操業成績は向上し、かつ炉況が安定する傾向を認めた。

### 文 献

- 1) M. A. SHAPOVALOV: Stal, 385 (1958)
- 2) M. L. NASZALYI: Iron & Coal Trades Review, (1959) 329
- 3) M. L. NASZALYI: Iron & Coal Trades Review, (1957) 930
- 4) T. F. BAILY: The Iron Age, (1959) 104
- 5) E. BONNAURE: Stahl und Eisen (1959) 1105

### (13) 高炉の燃料吹込み操業における効果の推定方法について

八幡製鉄所戸畑製造所 P350 ~ 352  
中村直人・都留 隆・山本崇夫

### On a Method of Estimating the Effect of Fuel Injection into a Blast Furnace.

Naoto NAKAMURA, Takashi TSURU and Takao YAMAMOTO.

### I. 緒 言

高炉へコークス炉ガス、天然ガス、重油などの燃料を

羽口より吹込んで、生産性、コークス比等の改善を計ろうとする方法が、現在の製鉄新技術の焦点となつている。この際、何を使用すれば最も効果的であるかを充分検討して、設備計画などに反映させることが必要である。本報告は、燃料選択の根拠となるべき、各種燃料の吹込時における操業条件、コークス比の低下、出鉄量の増加率などを推定する一方法を提示せんとするものである。

### II. 燃料添加量と操業条件

燃料吹込みにおいて、羽口前の理論燃焼温度が通常操業時と等しく保たれるように送風温度、送風湿度の補償をなし、熱風炉の能力限界に達すれば、酸素富化などによつて補償を行なうものとすれば、自づから燃料添加量は送風温度、送風湿度あるいは酸素富化量との関連において定まつてくる。以下、羽口前で焼燃するコークス中の C 1 kg (kg-C<sub>T</sub> と表示) について計算して行く。

#### i 理論空気量 V Nm<sup>3</sup>/kg-C<sub>T</sub>

##### a ガスの場合

$$V \text{ Nm}^3/\text{kg-C}_T =$$

$$\frac{4.4443 - 2.3808ax - 4.7619(cx + y) - 2.9630h_1x + 4.7619bx + 2.3808fx}{1 + 2.9630h_2}$$

- ただし x: ガス添加量 Nm<sup>3</sup>/kg-C<sub>T</sub>  
y: 純酸素添加量 Nm<sup>3</sup>/kg-C<sub>T</sub>  
h<sub>1</sub>: ガス中水分 kg/Nm<sup>3</sup>-gas  
h<sub>2</sub>: 空気中水分 kg/Nm<sup>3</sup>-air(D)  
a: ガス中の CO<sub>2</sub> Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>-gas  
b: ガス中の C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>-gas  
c: ガス中の O<sub>2</sub> Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>-gas  
d: ガス中の CO Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>-gas  
e: ガス中の H<sub>2</sub> Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>-gas  
f: ガス中の CH<sub>4</sub> Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>-gas

##### b 油の場合

$$V \text{ Nm}^3/\text{kg-C}_T = \frac{0.9333(1 + \alpha x) - y}{0.21 + 0.6222h_2}$$

- ただし x: 油添加量 kg/kg-C<sub>T</sub>  
α: 油中の C kg/kg-oil

#### ii Bohs gas 量

##### a ガスの場合

$$G_{N_2} \text{ Nm}^3/\text{kg-C}_T = 0.79V + g x$$

- ただし g: ガス中の N<sub>2</sub> Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>-gas

$$G_{CO} \text{ Nm}^3/\text{kg-C}_T = 1.8667 + (a + 2b + d + f)x$$

$$G_{H_2} \text{ Nm}^3/\text{kg-C}_T = (2b + e + 2f)x$$

$$+1.2444(h_1x+h_2V)$$

$$G_T \text{ Nm}^3/\text{kg}-C_T=1.8667+(0.79+1.2444h_2)V$$

$$+1.2444h_1x+(a+4b+d+e+3f+g)x$$

ただし  $G_{N_2}$ : 羽口前燃焼 Coke 中の  
 C 1 kg 当り発生  $N_2 \text{ Nm}^3/\text{kg}-C_T$   
 $G_{CO}$ : 羽口前燃焼 Coke 中の  
 C 1 kg 当り発生  $CO \text{ Nm}^3/\text{kg}-C_T$   
 $G_{H_2}$ : 羽口前燃焼 Coke 中の  
 C 1 kg 当り発生  $H_2 \text{ Nm}^3/\text{kg}-C_T$   
 $G_T$ : 羽口前燃焼 Coke 中の  
 C 1 kg 当りの Bosh gas  $\text{Nm}^3/\text{kg}-C_T$

b 油の場合

$$G_{N_2}=0.79V, G_{CO}=1.8667(1+\alpha x)$$

$$G_{H_2}=1.2444h_2V+11.2\beta x$$

ただし  $\beta$ : 油の中の  $H_2 \text{ kg}/\text{kg}-\text{oil}$ ,  
 油は  $N_2$  を含まない

$$G_T=1.8667(1+\alpha x)+(0.79+1.2444h_2)V+11.2\beta x$$

iii 反応熱  $H \text{ kcal}/\text{kg}-C_T$

a ガスの場合

$$H \text{ kcal}/\text{kg}-C_T=$$

$$2340\{1-0.5357\alpha x-0.6667(h_1x+h_2V)\}$$

$$-1770\alpha x+3301\beta x+396fx-1650(h_1x+h_2V)$$

b 油の場合

$$H \text{ kcal}/\text{kg}-C_T=$$

$$2340(1-0.6667h_2V)-1650h_2V$$

$$+\frac{(12h_0-67,680)\alpha+12(h_0-28,905)\beta}{12(\alpha+\beta)}x$$

ただし  $h_0$ : 油の発熱量  $\text{kcal}/\text{kg}-\text{oil}$

iv 理論燃焼温度  $T \text{ }^\circ\text{C}$

$$T \text{ }^\circ\text{C}=\frac{H+H_1+0.3T}{h_c}$$

ただし  $H_1$ : 送風顕熱  $\text{kcal}/\text{kg}-C_T$   
 $h_c$ : Bosh gas 熱容量  $\text{kcal}/\text{kg}-C_T \cdot \text{ }^\circ\text{C}$

また  $0.3T$  はコークス中の C 1 kg が羽口前に持込む  
 顕熱.

v 送風温度  $t_1$

理論燃焼温度の式において,  $T$  に通常操業時の羽口前  
 理論燃焼温度を代入して  $t_1$  (顕熱  $H_1$  の項に含まれて  
 いる) に関して解くと, 送風温度  $t_1$  は添加燃料量  $x$ ,  
 添加燃料の温度  $t_2$ , 添加純酸素量  $y$ , 送風湿度  $h_2$  の関  
 数として求まる.

上記一般式に条件値を与えると, 操業条件が定まっ

くる. すなわち添加量に対する送風温度, 送風湿度, 酸  
 素富化量が定まってくる.

### III. 燃料吹込時におけるコークス比の推定

燃料吹込みによつて Bosh gas 中の還元性ガス ( $CO$ ,  
 $H_2$ ) の濃度が上昇する. これがガスの還元利用率 (Bosh  
 gas 中の還元性ガス  $CO$ ,  $H_2$  の夫々何%が還元に利用  
 されたかを示すものと定義する) に影響する程度は現階  
 階では把握が困難なので, 還元利用率は通常採業時の程  
 度に維持されるものと考え, Solution Loss 算出式と  
 熱精算より得られる式の二方程式を解けば, 銑鉄  $t$  当り  
 の Solution Loss と羽口前で燃焼される C 量が解とし  
 て得られる.

i Solution Loss に関する式

$$S = \frac{12}{16} \left\{ O - \frac{16}{22.4} C_T (G_{CO} \xi_{CO} + G_{H_2} \xi_{H_2}) \right\} \dots (1)$$

ii 熱精算に関する式

$$C_T H + C_T H_1 + F_{ex} O_Y \text{ の間接還元熱}$$

$$= \text{Mn, P, Si の直接還元熱} + 3140 S + \text{溶銑の持去}$$

$$\text{る熱量}$$

$$+ 450 \{ A_0 + (V_C/f.c.) (a + S + C_T + C_D) \}$$

$$+ 425.04 \{ B_0 + (V_B/f.c.) (a + S + C_T + C_D + C_g) \}$$

$$+ \{ C_T G_{CO} (1 - \xi_{CO}) + (22.4/12) (S + C_D) \} C_{CO} t_4$$

$$+ [C_T G_{CO} \xi_{CO} + 0.244 \{ B_0 + (V_B/f.c.)$$

$$(a + S + C_T + C_D + C_g) \}] C_{CO_2} t_4$$

$$+ [C_T G_{CO} \xi_{CO} + 0.244 \{ B_0 + (V_B/f.c.) (a + S + C_T C_0$$

$$+ C_g) \}] C_{CO_2} t_4$$

$$+ C_T G_{N_2} C_{N_2} t_4 + \{ C_T G_{H_2} (1 - \xi_{H_2}) + A \} C_{H_2} t_4$$

$$+ C_T G_{H_2} \xi_{H_2} C_{H_2} t_4 + B + R \dots (2)$$

ただし  $C_T$ : 羽口前で消費されるコーク中 C

- kg/t-iron
- S: Solution Loss kg/t-iron
- O: 酸化鉄より除去される  $O_2$  量 kg/t-iron
- $\xi_{CO}$ : Bosh gas 中  $CO$  の還元利用率 (少数表示)
- $\xi_{H_2}$ : Bosh gas 中  $H_2$  の還元利用率 (少数表示)
- a: 溶銑中に溶入する C kg/t-iron
- $C_D$ : Mn, Si, P の直接還元消費される C kg/t-iron
- $C_g$ : 炉頂ダスト中に逃げる C kg/t-iron
- $A_0$ : Coke 以外の装入物よりの生成滓量 kg/t-iron

Table 1. Calculated effect of fuel injection into a blast furnace.

Coke gas	Injected C-gas % in dry blast	0	1.00	2.00	3.00	3.92	5.38	6.83	8.28	9.74
	Enriched- $O_2$ % in dry blast	0	0	0	0	0	1.00	2.00	3.00	4.00
	Blast temperature $^\circ\text{C}$	843	883	923	963	1000	1000	1000	1000	1000
	Blast humidity g/ $\text{Nm}^3$	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Coke ratio kg/t-iron	570.2	560.2	550.6	541.1	532.8	525.2	518.1	511.7	505.7
	Production rate %	100.0	101.1	102.1	103.2	104.1	106.0	108.0	109.7	111.4
Heavy Oil	Injected H-Oil kg/t-iron	0	16.08	30.31	43.02	48.17	63.37	77.47	90.52	102.64
	Enriched- $O_2$ % in dry blast	0	0	0	0	0	1.00	2.00	3.00	4.00
	Blast temperature $^\circ\text{C}$	843	893	940	982	1000	1000	1000	1000	1000
	Blast humidity g/ $\text{Nm}^3$	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Coke ratio kg/t-iron	570.2	548.0	527.9	510.1	502.9	485.7	469.9	455.2	441.5
	Production rate %	100.0	101.4	102.7	103.9	104.3	106.4	108.3	110.2	111.9

- $V_C$ : Coke 1 kg より発生する滓量  
kg/kg-coke  
 $B_0$ : coke 以外の装入物滓化用石灰石量  
kg/t-iron  
 $V_B$ : coke 1 kg 中の灰分滓化用石灰石量  
kg/kg-coke  
 $f.c.$ : coke の固定炭素 (少数表示)  
 $t_4$ : 炉頂温度 °C  
 $A$ : 装入物より発生する  $H_2$   $Nm^3/t\text{-iron}$   
 $B$ : 装入物の水分の持去る熱量 kcal/t-iron  
 $C_{N_2}, C_{CO}, C_{CO_2}, C_{H_2}, C_{H_2O}$ :  
 $N_2, CO, CO_2, H_2, H_2O$  比熱

上記(1), (2)式を解けばよい。ある高炉を例にとつて試算してみると Table 1 のごとき結果を得る。これは今まで知られている実績とかなり良く一致するものである。

#### IV. 出鉄量はどの程度増加し得るか

他の設備能力などの制限はないものとして、通常操業で達し得る限界まで出鉄量をあげ得た状態と比較して考える。この場合、填充層の中をガスが通る際の抵抗は次式で示される。

$$\text{ただし } \Delta P = 4f' \left( \frac{L \cdot u_0^2 \cdot \rho_f}{2gc \cdot D_p} \right) F'(\phi_s \cdot \epsilon)$$

$$F'(\phi_s \cdot \epsilon) = \frac{(1-\epsilon)^{3-n}}{\phi_s^{3-n} \epsilon^3}$$

ただし  $\Delta P$ : 圧力降下 kg/cm<sup>2</sup>

$\rho_f$ : 流体密度 kg/m<sup>3</sup>

$L$ : 層高 m

$f'$ : 填充層の流体摩擦係数

$u_0$ : 空塔速度 cm/s

$gc$ : 重力換算係数 980 kg·m/kg·s<sup>2</sup>

$D_p$ : 粒子平均径 m

$\phi_s$ : 形状係数 ( $1 \geq \phi_s$ )

$\epsilon$ : 空隙率

ここで燃料吹込みにより  $u_0, \rho_f, f', F'(\phi_s \cdot \epsilon)$  が影響を受けるが、 $u_0, \rho_f$  のみに着目すると  $u_0^2 \cdot \rho_f$  が問題となり、炉内の通気抵抗に大きく関係すると思われる。したがって通常操業時の full 操業と同程度の通気抵抗に保つよう操業すれば、出鉄量の増加率は次のごとく示される。

$$\text{出鉄量増加率} \% = \frac{1}{\theta_2 \cdot \theta_3 \cdot \sqrt{\gamma_i}} \times 100$$

ただし  $\gamma_i$ : 通常操業の Bosh gas 比重 1 の場合の Bosh gas 比重

$\theta_2$ : 通常操業の羽口前燃焼 coke 中 C 単位数より発生する Bosh gas 量を 1 とせる場合の燃料吹込時の Bosh gas 量

$\theta_3$ : 通常操業時の羽口前燃焼 coke 中 C 量 ( $C_T$  kg/t-iron) を 1 とせる場合の燃料吹込時の  $C_T$

#### V. 結 言

上記のごとき方法によつて、各種燃料吹込時の出鉄量コークス比などへの効果を推定することが出来る。その他加湿操業についてもその効果推定に適用出来る。しかし還元利用率一定という仮定があるので、酸素富化操業

には具合の悪い点もある。したがって今後の問題としては、Bosh gas 中の還元ガス濃度上昇が還元利用率にかなる影響を与えるか、また炉内の温度構造がどのようになるか、および分布と通気性の点などをコークス比低下と関連して考え行かなければならないことなどがあげられる。

#### (14) コークスの粒度別特性

八幡製鉄所技術研究所

工博 城 博・井田四郎・鎌田 保

#### Characteristics of Different Size Fractions of Coke.

Dr. Hiroshi JOH, Shiro IDA  
and Tamotsu KAMADA.

1. 緒 言

当所では高炉へ装入するコークスはほとんどコークカッターにかけて破碎し粒度調整を実施している。そこでコークス炉々前コークスがカッター後コークスとなつたとき、その性状がどのように変つているかを知るため両者コークスについて、いろいろの角度から検討した。これまで両者コークスの性状上の相違に関する 2, 3 の研究は見受けられるが、いずれもその平均試料について粒度と潰裂強度の変化を吟味するにとどめている。それで今次試験では当所の第 1 コークス課と戸畑コークス工場について、コークス炉々前とカッター後コークスの全般的性状変化を調べ、さらに両者コークスの各粒度別の諸性状変化にも重点をおいて研究を進めた。1, 2 の興味ある結果をえたので取りまとめた。

#### II. 研究経過

1. 第 1 コークス課と戸畑コークス工場製コークスの装入炭性状

試験の対象としたコークスは第一コークス課の No. 2 コークス炉製 (昭和 36 年 11 月 8 日) のものと、戸畑コークス工場の No. 2 コークス炉製 (昭和 36 年 11 月 4 日) のものを選んだ。これらの装入炭の性状は第 1 コークス課装入炭の方が戸畑コークス工場製装入炭に較べて揮発分はほとんど同程度であるが粘結成分量および粘性が若干高目となつているのが主な相違点である。

2. コークスの粒度別特性

(1) 試料および性状比較項目

第 1 コークス課および戸畑コークス工場とも炭化室からワーフ上に落されたコークスを輸送用ベルトコンベアーに乗せ、まずベルトコンベアー上で長さの方向に 3 等分し、この 3 等分した部分からランダムに各部約 170 kg あて計約 500 kg を採取した。つぎにベルトコンベアー上のコークスをカッターに送り、カッター後コークスをコンベアー上で同じ要領で 3 等分しランダムに計 500 kg を採取した。このようにして採取した両コークスからまずそれぞれの平均試料を採り、つぎに残りの全コークスを 125~100mm, 100~75mm, 75~50mm, 50~25mm の 4 とおりに篩分け粒度別コークスの供試々料とした。

これらコークスの試験項目としては両者コークスともその平均試料については嵩比重、粒度分布、潰裂強度、タンブラー強度および強度係数の 5 項目を、粒度別コーク