

Table 3. Two cases of converter operation.

Converter	1/2 Operation	2/2 Operation
Schedule	4~6 days	5~7 days
O ₂ blowing m ³ /hr	6000	2500
Blast volume m ³ /min	3050	3150
Blast temp. & humidity	No. actions	

たが、現在は Table 3 にその時の操業の考え方を示しているが、一応ボッシュガス一定とした操業としている。
3.2 理論燃焼温度について

酸素富化時の炉況調整として主として羽口前理論燃焼温度の管理を中心に行なっており、Ramm の式より求めて風温、風湿によつてアクションをとるのが普通とされていた。しかし Fig. 5 に酸素富化前後の理論燃焼温度を送風温度に対する値として示しているが、最近送風温度を 1050°C に上昇させ送風湿度 30g/m³、酸素富化 2.5% とした非常に高い理論燃焼温度で操業している。また現段階では酸素富化時特に理論燃焼温度一定という操業を行なっていない。

4. 結 言

戸畑第 3 高炉では、1% 富化をベースとし、所内で発生する余剰酸素を有効利用し、安定した炉況を保つて、高い生産性を示している。出銑量、コークス比に関しては、操業条件の変化により十分確かめ得なかつた。羽口前の燃焼温度は補償を行なっていない。

(9) 高炉への各種燃料吹込みの検討

富士製鉄, 釜石製鉄所

理博 青木猪三雄・○沢村 惇
太田 奨・塩谷 靖・泉 碩純

Study on the Fuel Injection into the Blast Furnace.

Isao AOKI, Jun SAWAMURA,
Susumu OTA, Yasushi SHIONOYA
and Sekijun IZUMI.

1. 緒 言

高炉における複合送風については、従来から、理論、実際操業の両面から検討されてきているが、十分な結果が得られていない。釜石製鉄所でも、近時、酸素バランス、コークス、ガスバランスの面から高炉の複合送風を再検討する段階となつたので、高炉への各種燃料の吹込み、酸素富化の問題について、改めて、高炉々内反応理論の面からその計算方法を確立し、従来の実績値と比較検討を行ない、さらにこれらの結果から将来の高温送風、酸素富化に備えて、いかなる面に検討をすすめるべきであるかを考察した。

2. 吹込み操業の理論

従来、種々の燃料吹込み操業の検討にあつては case by case に行なつていたが、総合的に複合計算を行なう場合には、別な計算方法を組立てる必要があるのので次のような方法をとることにした。

(1) 高炉反応を 2 つの zone に分ける。

高炉炉内反応を羽口先における燃焼と Bosh 上部での

Table 1. Symbols.

Kinds of fuel	Injected volume kg or Nm ³ /t-pig	Required Blast Nm ³ /unit	Bosh gas volume Nm ³ /unit				Flame temp. °C	Heat supply of fuel kcal/unit
			CO	H ₂	N ₂	Total volume		
Coke burnt at tuyere	a ₁	b ₁	c ₁	d ₁	e ₁	f ₁	T ₁	q ₁
Oil kg	a ₂	b ₂	c ₂	d ₂	e ₂	f ₂	T ₂	q ₂
COG Nm ³	a ₃	b ₃	c ₃	d ₃	e ₃	f ₃	T ₃	q ₃
Steam kg	a ₄	b ₄	c ₄	d ₄	e ₄	f ₄	T ₄	q ₄
Symbols	Content							Unit
(S. l)	Carbon consumed by solution loss							kg /t-pif
(O ₂)	Oxygen in Blast							%
t	Blast temperature							°C
(C.R.)F	Coke ratio for foundry iron							kg /t-pig
η _{CO}	Degree of utilization of CO gas							fraction
η _{H₂}	" " of H ₂ gas							"
(O _{H₂})	Oxygen volume in ore reduced by H ₂ gas							kg /t-pig
(O _{CO})	" " by H ₂ gas							"
(Os. l)	" " by solution loss							"
ΔCO	Increase volume of CO gas at bosh shaft							Nm ³ /t-pig
ΔCO ₂	" CO ₂ "							"
ΔH ₂	" H "							"

Table 2. Reaction of fueles at the tuyer of blast furnace.

Fuel		Coke (1 kg)	Heavy oil (1 kg)	COG (1Nm ³)	Steam (1 kg)
Injected volume		a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
Required blast		b ₁ 84/(O ₂)	b ₂ 80/(O ₂)	b ₃ 18/(O ₂)	b ₄ 0
Bosh gas Volume Nm ³ /unit	CO	c ₁ 1.68	c ₂ 1.60	c ₃ 0.46	c ₄ 1.24
	H ₂	d ₁ 0	d ₂ 1.34	d ₃ 1.20	d ₄ 1.24
	N ₂	e ₁ 84/100(O ₂) (100-(O ₂))	e ₂ 80/100(O ₂) (100-(O ₂))	e ₃ 0.06+18/100(O ₂) (100-(O ₂))	e ₄ 0
Heat Supply of fuel kcal/unit		q ₁ =2736+84/(O ₂)t (0.302+0.000022 t)	q ₂ =2179+80/(O ₂)t (0.302+0.000022 t)	q ₃ =211+18/(O ₂)t (0.302+0.000022 t)	q ₄ =-1189+1.244 t (0.373+0.000055t)
Flame temp. °C		T ₁ =0.685 t +45.5 (O ₂)+724	T ₂ =0.580t+20.5(O ₂) +674	T ₃ =0.380 t -3.5 (O ₂)+353	T ₄ =0.905 t -1853

反応 (還元反応が主体) の2つに分け、それぞれを計算し合成する方法をとった。

(2) 各燃料の羽口先での単独燃焼の計算

各燃料を羽口先で単独に燃焼したときの所要風量, 発生ガス量, 発熱度, 発熱量を計算し, 複合送風の場合には, これらの合成として取り扱った。

(3) 各燃料の吹込み量の決定方法

種々燃料の吹込み量を決定する場合, 次の2つの操業条件をみたとした。

1) 炉内 heat balance 一定

2) 羽口先のガスの温度一定

以上のような考え方に従つて以下のごとく計算を行なつた。

2.1 各種燃料の羽口先での反応

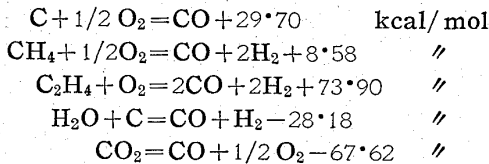
各種燃料を羽口先から吹込んだときの反応から, 各燃料単独の所要風量, bosh gas 量, 発熱度, 供給熱量を計算する。

2.1.1 使用記号

Table 1 に使用記号を示す。

2.1.2 各種燃料 unit volume から発生する bosh gas および所要風量

各種燃料は次のような熱化学式により羽口先で反応して, 羽口先で bosh gas を生成する。



2.1.3 各燃料の供給熱量

各燃料の供給熱量を高炉下部への供給熱量と考え, 炉内の heat balance も solution loss zone 以下について考えることにする。この立場から各燃料の供給熱量を計算すると次の3つの熱源がある。

- (1) 燃料の発熱量, (2) 所要風量の持込む顕熱
- (3) 燃料の高炉下部に持込む顕熱

2.1.4 羽口先温度 (発熱度)

羽口先の温度は羽口先における供給熱量 q_i により発生 bosh gas が断熱的に温度上昇したと考へて計算を行なつた。

Table 3. Change of gases through the stach.

Gas composition	Increased volume Nm ³ /t-pig
CO gas	ΔCO = -539 + 1.40(OH ₂) + 3.74 (s. l)
CO ₂ gas	ΔCO ₂ = 581 - 1.40(OH ₂) - 1.87 (s. l)
H ₂ gas	ΔH ₂ = -η _{H₂} Σ aidi

2.1.5 各種燃料の羽口先での反応結果

2.1.2~2.1.4 での計算結果を Table 2 に示す。これはコークス, 重油, コークスガス, 水蒸気をおのおの単独で unit volume を燃焼せしめたときの所要風量, bosh gas 量, bosh gas 成分, 供給熱量, 発熱度が示されており, これらの数値は, 複合送風を行なつたときの反応結果を簡単に計算する上に便利である。

2.2 bosh~shaft での炉内反応によるガスの変化

2.2.1 炉内諸反応による炉内ガスの変化

羽口先で発生した bosh gas は bosh, shaft を上昇する間に装入物と次の反応を起こして, その成分と量を変化させながら炉頂にいたる。

- (1) 鉄鉱石の還元反応 (2) Si, Mn, P の還元
- (3) 石灰石の分解

これらの諸反応により発生または変化するガス量と成分を計算すると Table 3 の通りである。

2.3 各種燃料吹込みの計算式

各種燃料につき単独で高炉に吹込んだ場合の羽口先における反応と bosh~shaft 部における反応について検討し Table 2, Table 3 をえたが, この結果を使用して燃料吹込み操業の計算を行なう。

2.3.1 各種燃料の吹込み量の決定

重油, COG, 水蒸気のうち2つを羽口より吹込む場合の吹込み量を決め, その1つを変えて吹込んだ場合の羽口先で燃焼するコークス量がどう変わるかを求める。この2つの量を決める場合は次の2つの操業条件を想定する。

- (1) 炉下部での熱量バランス一定

$$\sum_{i=1}^4 a_i q_i - 3498(S. l) = k_1 \dots\dots\dots (1)$$

3498: 1 kg のソリューションロスの吸熱量 kcal/kg

(2) 羽口先温度一定

$$\frac{\sum a_i T_i}{\sum a_i} = k_2 \dots\dots\dots (2)$$

k_1, k_2 は基準操業より求める。

(1), (2) 式を連立方程式として a_1 と (a_2, a_3, a_4) のうちの 1 つの未知数を求めれば各種燃料の吹込み量が決定される。

2.3.2 各種燃料吹込み時のコークス比

炉内に装入されたコークスは次のように消費される。

	a_1	kg/t-pig
(1) 羽口先で O_2 で燃焼されるコークス		
(2) Solution loss によるコークス (s.l)/0.90		〃
(3) Si, Mn, P の還元用コークス	19.4/0.90	〃
(4) 銑鉄中に入るコークス	42/0.90	〃
(5) ダストに入るコークス	6/0.90	〃
(6) 送風中湿分の分解に使われるコークス	0.74 a_4	〃

したがってコークス比は

$$(CR)F = a_1 + 75 + 1 \cdot 1(s.l) + 0.74a_4 \dots\dots\dots (3)$$

2.3.3 生産性の決定

高炉の生産性は炉内を上昇するガスの装入物から受ける抵抗とそれによる圧力損失の大きさにより決定でき、これは bosh gas 量により左右される。したがって基準操業時の生産を P_0 、吹込み操業時の生産を P とすれば

$$P/P_0 = \sum a_{0i} f_{0i} / \sum a_i b_i \dots\dots\dots (4)$$

によつて生産性の変化 P/P_0 は決定できる。

2.3.4 bosh gas 量および成分の計算式

次式により計算できる。

(1) 所要風量 = $\sum a_i b_i$ (5)

(2) bosh gas 中 CO 量 = $\sum a_i c_i$ (6)

CO% = $\sum a_i c_i / \sum a_i f_i \times 100$ (6)'

(3) " H_2 量 = $\sum a_i d_i$ (7)

$H_2\%$ = $\sum a_i d_i / \sum a_i f_i \times 100$ (7)'

(4) " N_2 量 = $\sum a_i e_i$ (8)

$N_2\%$ = $\sum a_i e_i / \sum a_i f_i \times 100$ (8)'

(5) bosh gas 量 = $\sum a_i f_i$ (9)

2.3.5 炉頂ガス量および成分の計算式

Table 4. The result of calculation on the fuel injection.

Case		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Item		Standard									
Oxygen in blast	(%)	21	21	21	21	21	24	24	24	24	
C. R.	kg/t-P	570	611	504	557	545	607	418	588	541	
Oil injected	〃	65	0	106	65	65	0	187	65	65	
Moisture in blast	〃	30	30	30	39	30	30	30	62	30	
CO gas injected	Nm ³ /t-P	0	48	0	0	18	95	0	0	62	
Required blast	〃	1764	1705	1700	1700	1695	1548	1523	1550	1537	
Blast temp.	°C	950	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	
Moisture in blast	g/Nm ³	1.70	17.6	17.6	22.9	17.7	19.4	19.7	40.0	19.5	
Coke burnt at tuyere	kg/t-P	379	416	324	363	358	442	257	381	364	
Coke decrease	kg/t-P		-41	66	13	25	-37	152	-18	29	
Corrected C. R.	〃		-63	44	-9	3	-59	130	-40	7	
Carbon for s. l	〃	85	89	75	82	82	80	58	78	73	
Bosh gas.	Gas volume	Nm ³ /t-p	2296	2204	2273	2240	2236	2124	2213	2162	2151
	CO gas volume	〃	778	758	751	762	750	790	768	821	782
	〃	%	33.89	34.39	33.04	34.02	33.54	37.19	34.71	37.97	36.36
	H ₂ gas volume	Nm ³ /t-P	124	95	179	135	146	151	288	164	198
	〃	%	5.40	4.31	7.88	6.03	6.53	7.11	13.01	7.59	9.20
	N ₂ gas volume	Nm ³ /t-P	1394	1351	1343	1343	1340	1183	1157	1177	1171
	〃	%	60.71	61.30	59.08	59.95	59.93	55.70	52.28	54.44	54.44
η_{CO}		0.337	0.333	0.350	0.342	0.339	0.343	0.368	0.346	0.351	
Productivity		1	1.042	1.010	1.025	1.027	1.081	1.038	1.062	1.067	
Top gas	Gas volume	Nm ³ /t-P	2460	2384	2402	2395	2388	2270	2278	2301	2270
	CO gas volume	〃	593	580	546	371	561	595	531	623	575
	〃	%	24.10	24.33	22.73	23.84	23.49	26.21	23.31	27.07	25.33
	CO ₂ gas volume	Nm ³ /t-P	386	387	388	387	385	386	388	386	385
	〃	%	15.69	16.23	16.15	16.16	16.12	17.00	17.03	16.78	16.96
	H ₂ gas volume	Nm ³ /t-P	87	66	125	94	102	106	202	115	139
	〃	%	3.54	2.77	5.21	3.92	4.27	4.67	8.87	5.00	6.12
N ₂ gas volume	Nm ³ /t-P	1394	1351	1343	1343	1340	1183	1157	1177	1171	
〃	%	56.67	56.67	55.91	56.08	56.12	52.12	50.79	51.15	51.59	
CO/CO ₂		1.54	1.50	1.41	1.48	1.46	1.54	1.37	1.61	1.49	
Calorie cal/Nm ³		822	809	824	825	823	915	935	951	926	

次式により計算できる。

(1) CO 量 = $\sum a_i c_i + \Delta CO$ (10)

(2) CO₂ 量 = ΔCO_2 (11)

(3) H₂ 量 = $\sum a_i d_i + \Delta H_2$ (12)

(4) N₂ 量 = $\sum a_i e_i$ (13)

(5) 炉頂ガス量 = $\sum a_i f_i + \Delta CO + \Delta CO_2 + \Delta H_2$ (14)

(6) 炉頂ガスカロリー

CO → CO₂ 3035 kcal/Nm³-CO (15)

H₂ → H₂O 2570 kcal/Nm³-H₂ (16)

となり、(1)~(16)式に Table 2, Table 3 の数値を代入して計算すれば、各種吹込み操業の効果を評価しうる。

3. 各種燃料吹込み操業の検討

3.1 各種吹込み操業の計算

2.で検討を行なった理論式にしたがつて各種燃料を吹込んだ場合の効果を検討した。その結果を Table 4 に示す。

3.2 各種吹込み操業計算結果の考察

3.2.1 送風温度の効果

送風温度100°C上昇によりコークス比20kg/t-pig程度に評価されているが、操業を円滑に行なうためには羽口先温度一定という条件が必要であり、このためには水蒸気、重油またはCOGなどで熱補償する必要がある。水蒸気で熱補償を行なった場合は case 1 と case 4 の比較でコークス比の低下は13kg/t-pigとなり、7kg/t-pigが水蒸気の添加により消費されていることになる。したがって高温送風を行なう場合には送風温度の効果を上げるのにCOG、重油の吹込みの検討が必要と考えられる。

3.2.2 湿分と送風温度の関係

case 1 と case 4 の比較において送風中湿分の上昇は5.9g/Nm³である。送風温度100°C上昇によりコークス比13kg/t-pig低下となつているので、送風温度と湿分の関係は60°C/g moist/Nm³となり従来の実績とはほぼ一致した値を示している。

3.2.3 重油吹込みの効果

重油吹込みの効果については種々検討されているが、case 1 と case 3 を比較すると、置換率1.12、温度補償+25°C/+10kg-重油となる。

すなわち、重油吹込みにより送風温度の本来の熱量効果が十分に活かされるので、高温送風時においてはさらに重油吹込み量を増やす検討が必要である。

3.2.4 酸素富化の効果

case 4 と case 8 を比較すると、温度補償を水蒸気で行なったような場合には、コークス比の上昇が1%富化当たり10kg、生産性向上+1.2%となり、酸素原価、コークス比上昇などによる鉄鉄原価の上昇を考えると、酸素富化は経済的に好ましい方法でないといえる。しかし、case 7, case 9 のごとく温度補償を重油、COGで行なう場合には考慮する余地を残している。

3.2.5 COG 吹込みの効果

case 1 と case 5 の比較において、水蒸気補償したときに比べてCOG 1Nm³/t-pigの吹込みは0.7kg/Nm³のコークス比低下をもたらすと考えてよい。COGの吹込みは重油の吹込みと同様酸素富化、高温送風操業

のときにその効果が大きくなることは case 9 からうかがわれる。

4. 結 言

種々の燃料吹込みについて理論計算の面から検討を行なった結果、次のような結論をえた。

(1) 各種燃料吹込み操業の計算を簡単に行なうための方式を確立した。

(2) 各種吹込み操業について種々の case を想定して実際計算を行なった結果、ほぼ現在迄の実績と一致した結果をえたので、この計算式のほぼ正しいことが裏付けられた。

(3) 将来の高温送風操業では送風温度の効果を十分にするために、COG の吹込み、重油の多量吹込みを検討する必要があると考えられる。

(4) 酸素富化は不利であり、特に水蒸気添加による温度補償を行なう操業では、その使用は経済的に非常に不利であると考えられる。

(10) ドロマイト添加による高炉脱硫試験

川崎製鉄、千葉製鉄所

吉田 浩・浜田武士・佐々木健二

長井 保・安藤博文・榎谷暢男

The Effect of Dolomite Addition to the Burden on the Disulfurization of Pig Iron in Blast Furnace.

Hiroshi YOSHIDA, Takeshi HAMADA,

Kenji SASAKI, Tamotsu NAGAI,

Hirobumi ANDO and Nobuo TSUCHIYA,

1. 結 言

高炉炉内におけるスラグによる脱硫反応の平衡については、その到達度がかなり低いことが知られている。この到達度を向上させる手段としてスラグ粘度の改善、特に酸化マグネシウム(MgO)含有量の増大による改善が以前から提唱されており、最近その成果が発表された。

千葉製鉄所においても第3高炉による脱硫の重回帰分析の結果から²⁾³⁾、ドロマイト添加による酸化マグネシウム含有量の増大によつてスラグの性質を改善することを提案した。このドロマイト添加による脱硫試験を千葉第1高炉において1964年9月15日から約4週間にわたつて行ない、脱硫に関して好結果を得たのでその概要を報告する。

Table 1. Diffusion coefficient of sulfur.

Solvent	D(cm ² /sec)	Temp.(°C)
Fe	4.5×10 ⁻⁵	1550
Fe-Csat	3.5×10 ⁻⁵	1550
CaO:50, SiO ₂ :40, Al ₂ O ₃ :10	2.0×10 ⁻⁶	1550
CaO:42, SiO ₂ :38, Al ₂ O ₃ :20	3.9×10 ⁻⁶	1550