

する C は 1 日あたりで約 39.7 kg となるから、これにさらにコークスの C のガス灰としての損失 15 kg/day を加え、両者がいずれもコークスとして装入されていたものと考えれば、コークス比で約 35 kg/t の増加となり、このときのコークス比の低下分 Δk は 282 kg/t (=1132-850) となる。これより置換率を求めると 0.913 となり、計算値 n の値にかなり接近してくる。

これを要するに [Si] 補正を考慮すれば、低熱補償時の置換率は 0.85~1.02, 高熱補償時のそれは 1.2 程度であるといえる (なお, 8 月 18~20 日の諸条件のもとで, 酸素による熱補償なしの場合の n を求めたところ 1.066 の値をえた。すなわち 1.2 の置換率のうち熱補償分は約 0.13 である)。

(3) 第 13 次操業の基準時にたいする置換率

基準時のコークス比の水準による田川炭の置換率の変化を調べるためには、今回の低熱補償時のデータによつて、第 13 次操業の基準にたいする置換率を求めねばならない。しかし、第 13 次と第 15 次の基準操業との間には使用焼結鉱の相違、原因不明の炉体熱損失の相違などがあつて、前掲の理論式でいきなり計算するわけにはゆかない。そこで第 13 次操業の条件のもとで、焼結鉱の銘柄のみを今回のものに変えた時に期待されるコークス比を熱バランスによつて求め、焼結鉱の違いだけによる補正を行ない、 n を求めたところ 1.2~1.3 の値を得た。

これは、第 13 次の 25% 吹込時のみかけ置換率 1.13 よりやや高くなつてはいるが、こうした置換率の向上は粉炭燃焼率の向上によるものと考えられる。

なお、この結果を今回の基準時にたいする置換率の値 0.85~1.02 と比較すれば、コークス比の水準の低下につれて置換率が低下する傾向を示すものようである。

2. ホンゲー炭

今回の操業基準にたいするホンゲー炭のみかけ置換率は平均で 0.848 となつており、これも、計算値 n の値 0.548 と大きくくい違つている (ただし、 n の計算にさいし、粉炭のガス化率は $\beta=72.7\%$ を考慮した)。

そこで、前に求めたコークス比の [Si] 補正を施せば、基準時との [Si] の差 0.25% にたいする補正コークス量は 18.5 kg/t となり、補正コークス比は 895.5 kg/t (=877+18.5) となる。同様に出鉄量も 1.629t/day と補正され、粉炭比は 307 kg/t と変るから、結局補正置換率は 0.786 となる。

この補正置換率は理論計算値 0.548 よりまだかなり大きい、ホンゲー炭吹込時の成績は日を追つて悪化しており、吹込量が目標に近い終りの日の置換率は 0.699 まで下つているうへ、[S] の上昇傾向からみて、吹込みを継続する限り、Ore/Coke を下げざるを得ない形勢にあつたから、置換率もつと下つたものと思われる。したがつて吹込量を 30% として多量の不燃分を許容する場合の置換率は 0.55~0.6 付近まで下るものとみるのが妥当であろう。

一方、ホンゲー炭が 100% 燃えたと仮定した場合の n を求めてみると、0.794 という値をえたに過ぎなかつた。もちろんこれは $\zeta_{\text{CO}}=22.2\%$, $\zeta_{\text{H}_2}=0$ としての計算である。これからみれば、 ζ_{CO} の向上を期待できるよ

うな条件がない限り、ホンゲー炭 30% 吹込時の置換率は、たとえ燃焼率が 100% であつても 0.8 程度しか期待できないということになる。

IV. 総 括

1. 銑鉄 1 t を製錬するに必要な熱量および被還元酸素量一定という考え方で、燃料のコークス置換率を求める一般理論式を誘導した。

2. 大型高炉の条件を考慮し、理論式の簡単化をはかり、大型高炉への適用をもできるようにした。

3. 比較的データのそろつていた期間の実績と理論式とから [Si] の変化によるコークス比の補正基準を求めた結果、[Si] 0.1% あたり 7.4 kg の値を得た。

4. この基準の補正により、真の置換率を求めると、田川炭で、低熱補償の時 0.85~1.02, 高熱補償の時 1.2, ホンゲー炭で 0.6 前後という値を得た。

5. 今回の田川炭吹込みを第 13 次基準操業に対比してみたところ、第 13 次の 25% 吹込時よりやや高い 1.2~1.3 の値を得た。

669.162, 267.4 : 662.66-492

(53) 1t 高炉への粉炭多量吹込試験について

東京大学生産技術研究所 No. 642/5
1968-1969
工博館 充・中根 千富
○金 鉄 祐・鈴木 吉哉

On the Supplementary Experiments of Powder-Coal Injection into 1-t Blast Furnace.

Dr. Mitsuru TATE, Chihu NAKANE,
Cheoul Woo KIM, and Kichiya SUZUKI.

I. 緒 言

前回報告した第 13 次操業の粉炭吹込試験^{1)~3)}では、高揮発分の田川炭を羽口より吹込み、装入コークスの約 25% を置換え、約 1.13 というよい置換率を得た。

しかし、この種の石炭の吹込限度と、もつと低いコークス比 (第 13 次操業の基準時で 1.47) の場合でも、このような有利な置換率が得られるかどうかの問題は未解決であつた。さらに、置換率を有利にした原因は、粉炭中の H_2 が還元によく利用されたため、Solution loss が減少したことにあると推定されたが、これを H_2 のできるだけ少ない燃料を吹込み、実験的に確認するという問題も提起された。そこで今回の第 15 次操業の試験では、

1) 第 13 次操業と同じ銘柄の田川炭をできるだけ高率に吹込み、置換限度を確かめること。

2) 基準操業時のコークス比をできるだけ下げて、このコークス比の水準における粉炭の置換率を、第 13 次操業のそれと比較する。

3) H_2 含量の異なる燃料として、ホンゲー炭 (無煙炭) を吹込み、田川炭吹込みの成績と比較すること。などを実現するため、昭和 38 年 8 月 1 日より約 1 カ月間にわたり、当研究所の 1 t 高炉による試験を実施したので、以下これについて報告する。

II. 設 備

これまでの試験成績に鑑み、炉腹径を 40mm、湯留径を 20mm 大きくし、内容積を約 0.5m^3 としたほかは従来のとおりである。

粉炭吹込設備も No. 1 羽口と No. 4 羽口の輸送空気量、No. 2 羽口と No. 3 羽口のそれを別々に、二系統にわけて測定するようにし、それらの輸送管の分岐点以後を $3/8''$ ガス管 (従来は $4/8''$ 管) に変えたほかは、前回と同様である。

III. 原料および吹込粉炭

今回の試験に使用した焼結鉱は、前回同様、川崎製鉄千葉工場製であつて、 $\text{T}\cdot\text{Fe}$ 56.69%, FeO 8.84%, および塩基度 (CaO/SiO_2) は 1.78 であるので、前回の焼結鉱の塩基度 1.18 よりもかなり高く、ほとんど生石灰の添加を必要としなかつた点が、前回と異なるところであつた。

粉炭は田川特粉 (固定炭素 46.2%, 揮発分 41.5%, 灰分 9.8%, S 0.5%), およびホンゲー炭 (固定炭素 81.8%, 揮発分 7.33%, 灰分 9.13%, S 0.44%) を使用した。

粉炭の粒度は原則として -50 mesh を使用したが、粉炭の水分は 1~3% の範囲でかなり大きく変動した。

IV. 試験の概要と結果

基準操業期ではできるだけコークス比を下げるように努めた結果、Table 1 のごとく $\text{Ore}/\text{Coke}=1.5$ で平均 1.132 のコークス比を実現しており、一応の目的を達成したといふことができる。また、あつ目炉況で粉炭を吹込むと、棚つりを招く傾向があつたので、最初に羽口前の理論燃焼温度を第 13 次操業と同程度となるよう熱補償 (低熱補償) を行なつて、田川炭 30% (基準時の 1 日コークス消費量の 30% 相当の意味) の吹込みを実施した。

次いで、次第に熱補償の水準を上げ、今回の基準操業時の理論燃焼温度に近づけて (高熱補償) 吹込みを行なつた。これらの結果は Table 2 に示してある。

これによると、 $[\text{Si}]$ が平均 0.8% と比較的低いにもかかわらず、 $[\text{S}]$ もまた 0.03% 台の低い水準を保っている。

また、この条件のもとでは置換率は第 13 次操業のそれに近いが、高熱補償時には大巾によくなつていて、炉頂ガス中の CO_2 と H_2 がきわめて高く、燃焼率も第 13 次のそれにくらべて、かなりよい点などが特徴的であつた。

H_2 含量の異なる燃料として、ホンゲー炭 30% を高熱補償条件のもとで吹込んだ。しかし、石炭の性質の差異によるものか、吹込みは一般に順調を欠き、所定吹込み量を実現したのは、吹込み開始後 4 日目であつた。

また、燃焼状態は田川炭にくらべて著しく劣り、出銑および出滓時には未燃焼粉炭が吹出したり、炉頂ガス清浄システムの汚れ、熱風炉の燃焼状態から判断して、炉内での燃焼性の不良が明らかに認められた。

したがつて、Table 1 でわかるとおり、 Ore/Coke を田川炭吹込み時より下げたが、一般に $[\text{S}]$ が高目に現われている。そして -50 mesh の低水分粉炭の欠乏のため、-1mm~+50 mesh の粉炭を使用するにおよん

で、炉況が一そう悪化する傾向を示したため、この試験を打切つた。

次いで田川炭の吹込み限度を確かめる試験では、送風系統の相つぐ故障で十分なデータを得られなかつたが、実績で 40% に近づく棚つりを招くので、吹込み限度はほぼ 40% 程度であると推定された。

V. 結果の考察

i) 燃焼率について

第 13 次操業の手法にしたがい燃焼率を求めると、Table 1 のように田川炭の場合、 α -方式で平均 106.5%, β -方式で平均 107.7%, ホンゲー炭は α 、 β -方式ともに平均 72% であつた。ホンゲー炭に比較して田川炭の燃焼率が高いことは、試験中の観察と置換率の実績から肯定できても、100% 以上ガス化したとみることは難点がある。

これは何らかの原因で装入炭素が、粉炭の 12~14% 程度低く記録されたものと考えねばならない。

ホンゲー炭はほぼ実績に近い値を示し、かなり妥当だと思われる燃焼率がでている。

他方、別な方向から燃焼率をチェックするため、被還元酸素量、 CO と H_2 の利用率を考慮した理論式を誘導し、これから燃焼率を求めたところ、田川炭の場合 α -方式で平均 84.3%, β -方式で 94.2% と妥当と思われる結果を得たが、こんどはホンゲー炭が平均 109.3% と甚だしく不合理な結果を招き、この方法でも燃焼率の真の値を知ることができなかつた。

むしろ従来の方法による値を採用し、同一条件での両種石炭の燃焼率の比をおよそ 100:70 とみるのが妥当であろう。

ii) CO と H_2 の利用率および還元率

Table 1 に示すごとく、 CO と H_2 の利用率と還元率における特徴は、 ζ_{CO} の利用率 (還元率) は基準時において、第 13 次のそれよりも高いが、粉炭吹込みにより余り変わらないか、あるいは上昇が鈍いかである。

これは CO の利用率の水準の上昇と共に、その改善が困難になることを示すものと思われる。

H_2 の利用率 (ζ_{H_2}) もまた、第 13 次と同様に ζ_{CO} よりはかなり高いが、その水準は ζ_{CO} のように顕著に向上した傾向は認められない。しかし、この場合、 $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$ の反応により、みかけ上 ζ_{H_2} が低下し、 ζ_{CO} が増大することもあり得るので、吹込み量の増加により H_2 が増加しても、 ζ_{H_2} が余り大きくならないからといって、一概にその効果が低かつたとはいえない。このことは、 ζ_{H_2} がマイナスになつていいるホンゲー炭の場合に、 ζ_{CO} もまた顕著に向上していないという事実からも、大いに考えられることである。ホンゲー炭の ζ_{H_2} がマイナスになつた原因は明瞭でないが、燃料の分析値誤差、装入物水分の影響と考えざるを得ない。

また、田川炭とホンゲー炭の ζ_{H_2} 、 ζ_{CO} の差異が、そのまま間接還元率、したがつて Solution loss の相違に現われており、この結果からホンゲー炭のコークス置換率が低かつたことも当然といえる。

iii) コークス置換率

置換率の検討に当つては、別報の理論置換率計算式に基づいて、 $[\text{Si}]$ の低下によるコークス比の低下の補正

Table 1. Operation data of experiments and several index numbers concerning effects of coal injection in the 15th campaign.

Item Period	Charge of raw materials				Blast				Powder-Coal				
	Composition of one charge (dry wt. kg)		Moisture kg/day	Times	Volume Nm ³ /min	Temp. °C	Press. kg/cm ²	Oxygen Nm ³ /min	O ₂ %	Moisture %	Weight kg/day	Trans-acting air Nm ³ /min	Moisture %
	Coke	Sinter											
Normal operation	15.0	22.3	0.39	241.4	127.8	657	0.157	—	—	—	—	—	
Tagawa powder-coal injection (30%). Insufficient heat compensation	15.0	31.9	0.49	158.8	91.0	758	0.157	0.16	25.0	2.94	516.3	0.505	2.35
Tagawa powder-coal injection (30%). Sufficient heat compensation	15.0	33.7	0.49	193.4	94.7	769	0.155	0.20	26.6	2.33	545.7	0.503	2.47
Hongay powder-coal injection (30%)	15.0	28.8	0.47	150.0	97.3	763	0.165	0.13	24.4	2.72	500.1	0.489	2.04

Item Period	Top gas				Pig iron				Slag			Pig iron products kg/day	Coke rate kg/t. pig	Ore/coke	
	Analysis %		Temp. °C		Analysis %		Temp. °C	CaO/SiO ₂	Analysis %	Temp. °C					
	CO ₂	CO	H ₂	CO	C	Si					Mn				S
Normal operation	7.2	32.1	2.28	4.11	4.42	1.18	1.08	0.033	141.1	15.5	0.70	1545	1.38	1.32	1.49
Tagawa powder-coal injection (30%). Insufficient heat compensation	8.2	33.5	6.10	438	4.52	0.68	1.00	0.033	1413	15.4	0.71	1543	1.41	0.779	2.10
Tagawa powder-coal injection (30%). Sufficient heat compensation	9.2	34.0	4.94	399	4.44	0.80	1.03	0.035	1423	16.0	0.54	1555	1.37	0.736	2.25
Hongay powder-coal injection (30%)	8.0	33.6	3.87	385	4.46	0.94	1.01	0.043	1428	16.7	0.64	1552	1.27	0.878	1.92

Item	Gasification rate %		Utilization ratio of gas %		Indirect reduction ratio %			Coke equivalent of coal kg/kg			Theoretical combustion temperature °C	Silicon reduction ratio %
	α	β	CO	H ₂	CO	H ₂	CO+H ₂	Apparent	Theoretical	For the 13th normal conditions theoretical		
Normal operation	—	—	21.8	—	58.59	—	58.59	—	—	—	1956	16.6
Tagawa powder-coal injection (30%). Insufficient heat compensation	112.0	114.4	22.5	38.5	57.95	21.91	81.86	1.227	0.85 ~1.02	{1.2~1.3}	1833	10.3
Tagawa powder-coal injection (30%). Sufficient heat compensation	100.9	101.0	25.0	37.8	58.93	20.79	79.72	1.441	1.20	—	1859	12.4
Hongay powder-coal injection (30%)	72.1	72.7	22.2	α —8.3 β —27.1	60.36	—	60.36	0.860	0.60	—	1873	12.8

Table2. Sulphur balance and several index concerning desulphurizing conditions.

Item	Charged sulphur						Discharged sulphur						CaO/SiO ₂	(FeO)	(S) [%]	
	Coke kg/t pig	Sinter kg/t pig	Mn-ore kg/t pig	Powder kg/t pig	Total kg/t pig	[S] %	S in pig iron		S in slag		Rest					
							kg/t pig	%*	kg/t pig	%*	kg/t pig	%*				
Normal operation	5.66	0.44	0.004	—	6.10	0.033	0.33	5.54	1.024	5.132	86.40	0.807	13.13	1.38	0.70	29.35
Tagawa powder-coal injection 30%	3.68	0.42	0.003	1.41	5.51	0.035	0.35	6.00	0.902	4.200	76.07	0.98	17.67	1.37	0.58	25.81
Hongay powder-coal injection 30%	4.30	0.43	0.003	1.37	6.10	0.043	0.43	7.00	0.907	4.670	75.87	1.05	17.07	1.27	0.64	21.09

* Percentage for charged sulphur.

([Si]0.01% に対し, コークス 7.9kg) をした。

その結果, 田川炭の置換率は低熱補償時に0.85~1.02であり, 高熱補償時に1.20であつて, ホンゲー炭の場合は, ほぼ0.60程度と推定された。

今回の田川炭吹込みを第13次基準時と対比すると, 置換率は1.2~1.3となり, 第13次の田川炭25%吹込みを上まわる成績であつた。

そしてこの原因は実績が示すように, 燃焼率の顕著な向上によるものと考えられる。

iv) 鉄鉄中の Si, S と熱補償

Table 1 の操業成績でわかるように, 今回の粉炭吹込み試験では, [Si]がかなり低下したにもかかわらず, 予想に反して[S]は上昇しなかつた。そこでこれらの現象に対して検討を加えることにした。

(1) [Si]の低下について

[Si]の低下の原因を究明するため, まず最初に装入原料と吹込み粉炭からの全装入 Si 量を求め各試験期について比較したが, これらの間にはほとんど差異がなく, 全装入 Si 量が[Si]の低下の原因ではないことがわかつた。

また, 溶銑・滓の温度と[Si]の間にも関係が認められなかつた。

しかし, 操業データでわかるように, 羽口前理論燃焼温度と Si の還元率との間には顕著な関係があり, 羽口前の温度低下が Si の還元率を著しく妨げることが明らかに認められる。

また, 粉炭(田川炭)の吹込み速度と, [Si]の変化を示す Fig. 1 でわかるように, 両者の間にも明瞭な関係が認められる。すなわち, 粉炭吹込み量が增大すれば, [Si]が低下するという関係から明らかなごとく, [Si]の低下は主として, 熱補償の不足が羽口前温度を低下させ, これが[Si]の還元率を抑制したものと考えることができる。

(2) [S]について

[Si]が低下したにもかかわらず, [S]が上昇しなかつた原因については, S-バランスと[S]に関係する若干の指標を示した Table 2 でわかるように, 粉炭吹込みにより装入コークスが減少(特に田川炭の場合)したため, 全装入 S 量が減少し, 田川炭の場合に約 10% 程度

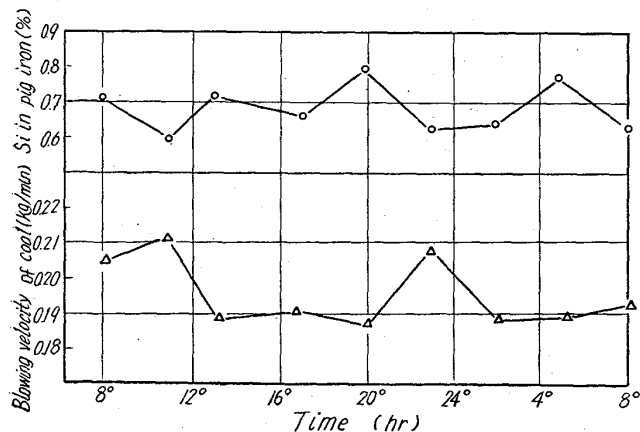


Fig. 1. Relation between blowing velocity of powder coal and silicon in pig iron.

減少した。

また, S-バランスの排出側では, スラグへの脱除率は多少低下したが, ガス化逃散率が增大したため, 結局, 銑鉄に入ったSの増加率は, 田川炭で約 10% 程度, ホンゲー炭で約 25% にとどまつた。

つづいて, 脱硫指数 (S)/[S]に関係する 2, 3 の指標の検討から, 田川炭の場合, CaO/SiO₂ が高いたもたれ, CO と H₂ による還元の上昇から (FeO) が低いたもたれて, 温度低下によるマイナスを補ない, [S]が低い水準に維持されたとみることができ。

一方, ホンゲー炭の場合には, ζ_{CO} の向上よりも温度と CaO/SiO₂ の低下から, (S)/[S] の低下を防ぎ得ず, さらに灰分中に SiO₂ が多かつたことが, S 含量の少ないという利点を生かし切れなかつたものと考えられる。

v) 田川炭の吹込み限度

実績で約 40% の田川炭を吹込むと, しばしば棚りを起すところから, 吹込み限度は約 40% 程度と推定された。

VI. 結 言

以上, 粉炭吹込み試験の検討結果から

i) 田川炭およびホンゲー炭 30%吹込みの比較では, 田川炭の燃焼率は 100% に近く, ホンゲー炭のそれは約 70% 程度で, 無煙炭の燃焼性はきわめて悪いことがわかつた。

ii) CO と H₂ の利用率, および還元率の比較によつて, 田川炭の場合は CO と H₂ の還元率の向上が, 燃焼率の高いことと相まつて, コークス比の低下をもたらすし, ホンゲー炭の場合は CO の利用率が顕著に向上せず, 燃焼性の不良も伴なつてコークス比の低下は少なかつた。

iii) 理論的に誘導した置換率の式により実績の置換率を検討した結果, 田川炭の場合, 低熱補償時の置換率は 0.85~1.02 であつて, 高熱補償時のそれは 1.20 であつた。また, ホンゲー炭の置換率は 0.6 前後と推定された。

iv) 第 13 次の基準時に対する置換率は, 1.2~1.3 であつて, 第 13 次の田川炭 25% 吹込みの 1.13 を上まわる成績であつた。これは主として燃焼率の向上によるものと考えられる。これを iii) の低熱補償時の 0.85~1.02 と比較すれば, コークス比の水準が低下すれば, 置換率の水準も低下するもののように思われる。

v) 粉炭吹込み時の[Si]の低下は, 主として熱補償の不足によるものと考えられるが, この際[S]が上昇しなかつたのは, 有利なコークス置換による全装入 S 量の減少と, CO および H₂ 還元率の向上にもとづく, (FeO) の低下によるものと考えられる。

vi) 田川炭の吹込み限度は, ほぼ 40% 前後のところにあると推定される。

文 献

- 1) 館, 中根: 鉄と鋼, 49 (1963), 10, p. 1306~1308
- 2) 館, 中根, 金: 鉄と鋼, 49 (1963), 10, p. 1308~1310
- 3) 館, 中根, 鈴木, 野崎: 鉄と鋼, 49 (1963), 10, p. 1310~1312.