

で与えられるからである。

III. 考 察

(1) (2) 式を変形すると
普通操業時

$$[S] = (S) / (12 \cdot 4 \sqrt{[Si]} + 58 \cdot 3B - 42 \cdot 4) \dots\dots (3)$$

重油吹込操業時

$$[S] = (S) / (77 \cdot 5 \sqrt{[Si]} + 116 \cdot 7B - 173 \cdot 2) \dots (4)$$

一方, Table 2 の S-balance の結果より, 装入全 S 量を S (kg/t pig) とすると

$$\text{普通操業時} \quad A = 0 \cdot 878 S \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{重油吹込操業時} \quad A = 0 \cdot 825 S \dots\dots\dots (6)$$

となるから

$$(S) = A / (R \times 100) \times 10 = A / 10R$$

を用いて (5) (6) 式をそれぞれ (3) (4) 式に代入すると (7) (8) 式が得られる。

普通操業時

$$[S] = 0 \cdot 878 S / 10R (12 \cdot 4 \sqrt{[Si]} + 58 \cdot 3B - 42 \cdot 4) \dots\dots\dots (7)$$

重油吹込操業時

$$[S] = 0 \cdot 825 S / 10R (77 \cdot 5 \sqrt{[Si]} + 116 \cdot 7B - 173 \cdot 2) \dots\dots\dots (8)$$

(7) (8) 式を利用して従来とあまり変化のない操業条件下での銑鉄中 S% を推定することができる。

試みに重油吹込の場合の操業条件を

$$\text{銑鉄中 Si\%} \quad [Si] = 0 \cdot 80 (\%)$$

$$\text{鉍滓塩基度} \quad B = 1 \cdot 30$$

$$\text{鉍 滓 比} \quad R = 0 \cdot 350$$

$$\text{装入全 S 量} \quad S = 5 \cdot 0 \text{ (kg/t-pig)}$$

とすると, 銑鉄中 S% は平均 0.025% となる。

IV. 結 言

(1) 現状の重油吹込によつては銑鉄中 S% は上昇していない。

(2) 重油吹込によつてガス化する S 量 (S 出量不足分) が増大する傾向が見受けられるので今後ガス化する S に対する検討を進めたい。

(3) 従来と余り変らない操業条件下で行なう普通操業, 重油吹込操業に対して (7) (8) 式が得られた。

(32) 重油吹込操業における重油置換率についての考察

(溶鉍炉操業の改良に関する研究—III)

住友金属工業, 中央技術研究所

鹿子木立郎・工博○中谷 文忠

小倉製鉄所 古賀 強

〃 理博 吉永 真弓

中央技術研究所 中村 文夫

Consideration on an Oil Per Coke Replacement in Oil Injection Blast Furnace Practice.

(Studies for the improvement in blast furnace practice—III)

Tatsuro KANOKOGI, Dr. Fumitada NAKATANI,

Tsuyoshi KOGA, Dr. Mayumi YOSHINAGA

and Fumio NAKAMURA.

I. 結 言

重油吹込み操業が溶鉍炉のコークス比低下をその主要な目的として行われている以上, 羽口から吹込まれた重油がコークスと置換しうる割合, すなわち置換率は重要な基本的な問題の一つである。この置換率に関して従来いろいろの値が提出せられているが, いずれも重油を吹き込まないある期間を基準操業とし, その場合の基準コークス比を定め, 然る後重油吹込操業におけるコークスの節減量に基礎をおいている場合が多い。しかしながらこの基準コークス比の設定には, 溶鉍炉の操業条件の多様性より考えてなお多くの問題のある所であり, したがってかかる算定方法が当を得たものであるかはにわかに断定し難い所である。本報告においてはこの重油の置換率について若干の理論的考察を行ない, 新しい算定方法を導くとともに小倉製鉄所 No.1, No.2 B・F の重油吹込開始後の月間操業実績について, 水素の炉内利用率および重油の置換率を算出し, 併せてコークス比について検討を行なつた結果について報告する。

II. 重油の置換率に関する従来のデータ

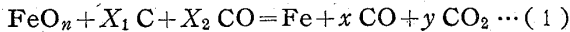
別表に最近発表になつた, 主として国内の溶鉍炉の重油吹込操業について求められた置換率とその算出方法を示す。別表を見てわかるごとく, 各高炉により置換率の値はかなり異なつており約 0.8~2.5 の広い範囲にわたつている。置換率の算出方法はいずれもほぼ同様で, 重油吹込後のコークス比低下量を重油比で除して置換率としている。このような方法で置換率を算出する際, 基準コークス比がきわめて重大な因子となる。したがつて, この基準コークス比が誤つて設定せられたり, あるいは変動するとこのような方法で計算した置換率は大きく変動する。溶鉍炉操業におけるコークス比に関係する因子としては, 用いた鉍石の種類, 品位, 不純物の含有量およびその構成, 粒度構成, さらに副原料の品位, 粒度構成, コークスの固定カーボン量, 灰分量, 揮発成分粒度構成および反応性その他装入物の物理的, 化学的性状, 更に送風温度, 送風量, 送風中の湿分, そのほかいろいろの因子が複雑に入り組んで作用しているものであり, したがつて, 到底基準操業と, 重油吹込操業の操業条件を一定にすることはできない。したがつて, このような

方法で算出した置換率はいわば参考程度のもので提出せられた。置換率そのものについてはあまり信をおけないものであり、このことが別表に示されたごとく、各社、各高炉間で上述のごとく置換率が0.8~2.5の範囲に大きくばらついている原因である。

III. 重油の置換率に対する考察

今重油が羽口から有効に吹き込まれた。すなわち吹き込み重油に対して十分なO₂が熱風中に存して完全に燃焼するか、あるいは少なくとも羽口前において、不完全燃焼による遊離カーボンを生じていない場合について考える。重油中のカーボンおよび水素は熱風中の酸素を消費して、 $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O$ $C + O_2 \rightarrow CO_2$ あるいは $C + 1/2 O_2 \rightarrow CO$ により羽口前において一旦H₂O, CO₂ あるいは CO となるが、究極的には羽口前の白熱カーボンと反応して $H_2O + C \rightarrow CO + H_2$, $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ となり、結局重油は CO および H₂ とに分解したことになる。しかしてこの重油より発生したCOとコークスの燃焼により発生したCOとは何ら本質的な差異があり得る筈がなく、したがって、炉内においては両者とも還元作用に対して全く同じ挙動をすることについては何人も異論のない所であろう。

今鉄鉱石の還元における理論方程式として



を与えれば重油を吹き込まない場合の所要カーボン量はすでに報告者が前報で詳述したごとく

$$X = X_1 + X_2 = n(1+\gamma)(1-D \cdot R)$$

$$\text{kg atom carbon/kg atom Fe} \dots (2)$$

で示すことができる。ここで $\gamma = x/y$ (炉頂ガス比), $D \cdot R$ は分数で示した直接還元率である。

次に重油を吹き込んだ場合、羽口前で発生したH₂も還元に参加する。したがってこの水素によつて酸化鉄が $FeO_n \rightarrow FeO_{n'}$ に還元せられたことになり、 $FeO_{n'}$ についてはカーボンによつて還元せられねばならない。そのために必要なカーボン量は

$$X' = n'(1+\gamma)(1-D \cdot R')$$

$$\text{kg atom carbon/kg atom Fe} \dots (3)$$

となる。この(3)式中の $D \cdot R'$ は鉱石中のFe 1kg atom に対して酸素量が n' kg atom に対しての直接還元率として表示せられているので、これを最初の酸素量 n に対しての直接還元率で表示しなければならない。 $D \cdot R$ と $D \cdot R'$ との間には明らかに次の関係式が成立する。

$$D \cdot R' = n/n' D \cdot R \dots (4)$$

(4) 式を (3) 式に代入すれば (3) 式は結局

$$X' = n(1+\gamma)(1-n/n' D \cdot R) \dots (5)$$

したがつてもし重油吹込により炉頂ガス比、および全体の直接還元率が変動しないとすれば、(4) 式-(5) 式は重油吹込前後の、所要カーボン量の相違を示すことになる。すなわち

$$X - X' = n(1+\gamma)(1-D \cdot R)$$

$$-n'(1+\gamma)(1-n/n' D \cdot R) = (1+\gamma)(n-n')$$

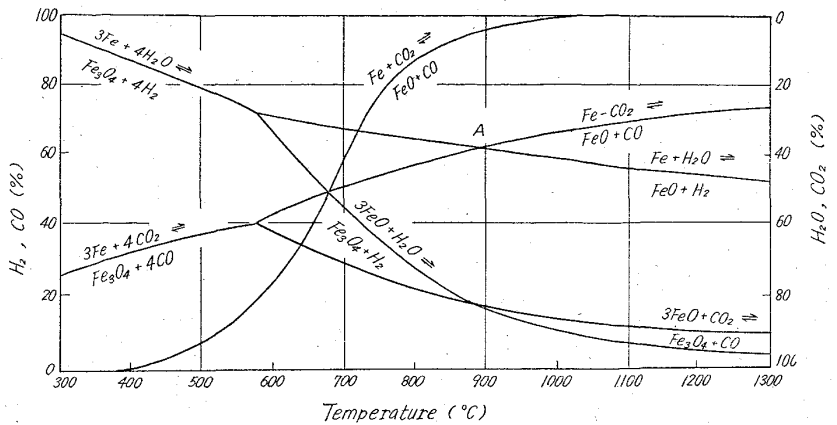


Fig. 1. Equilibrium diagrams of Fe-C-O system and Fe-H-O system.

$$\text{kg atom carbon/kg atom Fe} \dots (6)$$

重油を吹き込んだ場合の所要カーボン量を示す式 (3) あるいは (5) 式は重油からきたカーボンもすでに含まれているゆえ重油吹込み前後の所要カーボン量の節約量は (6) 式より

$$\{(n-n')(1+\gamma) + a\}$$

$$\text{kg atom carbon/kg atom Fe} \dots (7)$$

となる。ここで a は Fe 1 kg atom 当り吹き込んだ重油中のカーボン量 (kg atom) である。今、1 kg atom の Fe を含んだ銹鉄を作るとき Y kg の重油を吹き込んだとし、この重油がカーボン 100A%, 水素 100B% 含有しているものとする、(7) 式中の a の値は $a = (Y \times A)/12$ kg atom となる。また銹鉄中の Fe 1 kg atom について $(Y \times B)/2$ kg atom の H₂ が羽口前で重油吹込みのために生じたことになる。水素 1 kg mol は鉱石中の酸素 1 kg atom を奪つて 1 kg mol の H₂O となるゆえ、溶鉄炉内の水素の利用率を 100η% とすると、鉄 1 kg atom 当り $(Y \times B \times \eta)/2$ kg atom の酸素が H₂ によつて奪れたことになる。すなわち

$$n - n' = (Y \times B \times \eta)/2 \dots (8)$$

したがつて (7) 式は

$$X - X' = Y \cdot B \cdot \eta (1+\gamma)/2 + (Y \cdot A)/12 \dots (9)$$

ゆえにもし重油の吹き込み量によつて水素の炉内利用率が変動しないものとするれば、重油のカーボンに対する置換率を R とすると

$$R = \{Y \cdot B \cdot \eta (1+\gamma)/2 + Y \cdot A/12\} \div Y/12 = 6B \cdot \eta (1+\gamma) + A \dots (10)$$

なる一般式を誘導しうる。(10) 式において吹き込む重油が定まればもとより重油中のC%, H%, すなわち(10) 式中の A および B の値は一定とおけるものである。したがつて、ここで炉内の水素利用率および炉頂ガス比 γ を変数とすれば置換率 R は、これらの函数となり、重油の吹き込み量、直接還元率 $D \cdot R$ には無関係である。

IV. 水素の炉内利用率について

上述したごとく、置換率 R は (10) 式に示すごとく、水素の利用率によつて変動する。しかしてこの水素の利用率はもとより一定のものでなく、CO の利用率と同じ傾向で変動するものであろう。Fig. 1 は、Fe-C-O 系あるいは Fe-H-O 系の平衡関係を示したものであるが、

Table 1. Replacement coef. of oil injected.

B·F No.	Period	Hydrogen fraction in heavy oil	Carbon fraction in heavy oil	Utilization % of H ₂	Top gas ratio	Replacement coef.		
1	S37	6	0.119	0.879	28.16	1.39	1.36	
		7	0.118	0.868	41.38	1.47	1.59	
		8	0.115	0.870	32.85	1.51	1.43	
		9	0.114	0.860	32.29	1.45	1.40	
		10	0.118	0.860	31.17	1.43	1.39	
		11	0.117	0.853	28.34	1.45	1.34	
	S38	1	0.117	0.854	34.63	1.47	1.44	
		2	0.118	0.862	36.17	1.43	1.48	
		3	0.117	0.869	27.07	1.39	1.32	
	2	S37	2	0.118	0.858	35.63	1.37	1.46
			3	0.116	0.867	36.23	1.60	1.52
			4	0.117	0.871	42.70	1.56	1.64
5			0.117	0.873	32.60	1.57	1.46	
6			0.115	0.856	27.83	1.57	1.35	
7			0.119	0.879	37.00	1.62	1.57	
8			0.118	0.868	39.37	1.62	1.60	
9			0.115	0.870	13.81	1.87	1.14	
10			0.114	0.860	32.83	1.46	1.41	
11			0.118	0.860	33.17	1.45	1.43	
12			0.119	0.860	30.20	1.47	1.39	
S38			1	0.118	0.861	28.66	1.52	1.37
	2	0.118	0.862	27.88	1.50	1.36		
	3	0.117	0.869	30.59	1.53	1.41		
	S38	1	0.118	0.862	27.88	1.50	1.36	
		2	0.117	0.869	30.59	1.53	1.41	
		3	0.118	0.858	32.52	1.40	1.41	

図より明らかなごとく約 885°C において、H₂ と CO の還元力が平衡論的には等しくなり、これより高い温度では H₂ の還元が CO のそれよりも活発であり、低い温度では CO の方が優る。したがって CO の利用率と H₂ の利用率は相伴つて増減するものであろうが、厳密には、還元温度のいかによつて互に利用率増減の程度は異なり、したがって高炉内においてもシャフト下部以下の高温の条件下では当然 H₂ の方が CO よりも利用率は高いことが期待せられるが、シャフト上部の方では逆に CO の利用率が高くなり、したがって溶鉄炉全体での利用率については何れが優つているかを理論的には断定し得ない。小倉製鉄所においては No.2 B·F では S37 年 2 月より No.1 B·F では S37 年 6 月より重油吹込みを開始しているが、これらの操業実績より水素の利用率を算出した。

Table 1 の第 4 欄にこの水素の利用率を示している。No.2 溶鉄炉における 8 月の水素利用率はほかに較べ極端に低い値を示し、13.81% であるがこれは冷却函の破損による炉冷などのため休風時間が異常に多く、そのためにこの月の炉頂ガス測定値の月平均値も真実の値を示していないおそれも多分にあり、この月の値は除外した方がよいのではないかと考えられる。水素利用率は、No.1 B·F においては 27~41%、No.2 B·F では 8 月を除外すると、28~43% を示している。また平均値では No.1 B·F で 32.77%、No.2 B·F で 33.20% となり、両高炉とも 30% を若干上廻る値を示している。

V. 小倉製鉄所 No. 1, No. 2 B·F の重油の置換率について

Table 1 に、No.1, No.2 溶鉄炉の重油の置換率を (10) 式に基づき計算して示す。

同表の第 1 欄は操業月、第 2 欄、第 3 欄はそれぞれ重油中の水素および炭素の分率、第 4 欄は水素の炉内利用率、第 5 欄は炉頂ガス比 γ の値である。第 6 欄は、これらの値を用いて計算で求めた置換率である。表より明らかなごとく、置換率は No.1 B·F では 1.32~1.59、No.2 B·F では 1.35~1.63 の範囲にあり、No.2 溶鉄炉の方が若干高い傾向を有している。(10) 式に示さ

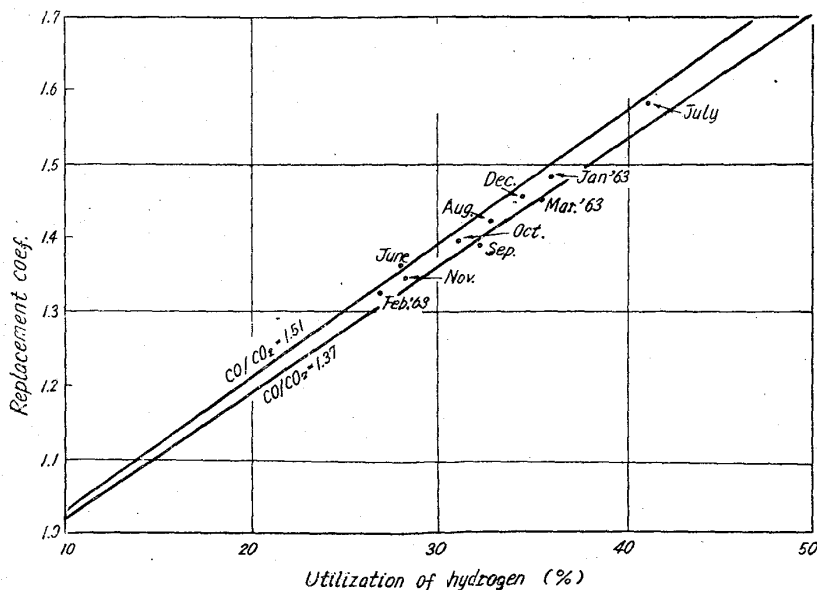


Fig. 2. Relations between replacement coef. and utilization coef. of H₂ in due consideration of top gas ratio.

れるごとく、置換率は炉頂ガス比 r が一定ならば水素の炉内利用率が高いほど大きくなる傾向を有する。また水素の炉内利用率が一定ならば炉頂ガス比が高いほど、置換率は大きくなる。しかし一般には炉内水素利用率が高くなればそれにつれて当然炉頂ガス比も低くなるものであるから、その関連において考えるべきである。Fig. 2 に実績値について、置換率—水素利用率—炉頂ガス比との関係を示す。Fig. 2 は、No. 1 溶鉄炉について置換率を水素利用率に対してプロットしたものであり、この場合それぞれの炉頂ガス比は 1.37 (最小)~1.51 (最大) の範囲内にあるので Fig. 2 に炉頂ガス比 1 定 (1.37, および 1.51) の二本の線を引くと、すべての実績値はこの二本の直線の間プロットせられることになる。

VI. コークス比の実績値と理論値の検討

本報に於て以上のごとく、重油吹込み操業に於ける置換率を求め得たのでこの値を用い前報で報告した著者らのコークス比に関する理論にもとづき計算した理論コークス比と実績コークス比との比較検討については続報で詳細に報告する。

VII. 結 言

1. 重油の置換率について理論的考察を行ない、次の一般式を誘導した。すなわち、置換率 R は

$$R=6B \cdot \eta(1+r)+A$$

2. 水素の炉内利用率 η を No. 1, No. 2 B·F について求めたが、約 28~40% である。

3. この水素利用率を用い、上式により小倉 No. 1, No. 2 B·F の置換率を算出した結果 No. 1 B·F では 1.32~1.59, No. 2 B·F では 1.35~1.63 の比較的狭い範囲にある。

4. この重油の置換率を用いて、No. 1 B·F, No. 2 B·F のコークス比の実績値を検討した結果、理論値との間に良好な一致が得られた。

(33) 小倉製鉄所 No. 1, No. 2 溶鉄炉操業実績の解析

(溶鉄炉操業の改良に関する研究—Ⅳ)

住友金属工業, 中央技術研究所

鹿子木立郎・工博○中谷 文忠

小倉製鉄所

古賀 強・理博 吉永 真弓

Consideration on Actual Data of No. 1 and No. 2 Blast Furnace Operation at Kokura Works.

(Studies for the improvement in blast furnace practice—Ⅳ)

Tatsuro KANOKOGI, Dr. Fumitada NAKATANI,

Tsuyoshi KOGA and Dr. Mayumi YOSHINAGA.

I. 緒言および目的

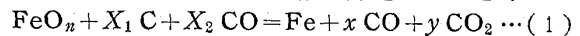
前報に於て溶鉄炉操業におけるコークス比に対する理論的考察を行なつた。すなわち、従来考えられていた Grüner の理論に基づく間接還元の絶体優位の概念を捨て去つて、溶鉄炉内で起つている carbon solution re-

action をも含めての直接還元がコークス比の低下に大きな役割を演じていることを明確にした。溶鉄炉操業に於て炉頂ガス比 $\gamma = \text{CO}/\text{CO}_2$ が小さいことは還元ガスがより有効に利用せられたことを物語るものであり、したがつてコークス比に対するパラメーターの一つであることには相違ないが、前報に於て明らかにしたごとく、この炉頂ガス比と略同じ比重で以つて、直接還元率 $D \cdot R$ および装入鉄石中の Fe に対する還元しうる酸素の割合 n がコークス比に対するパラメーターとなる。したがつて従来のごとく単に炉頂ガス比 γ のみをとつてコークス比を管理する場合には、炉頂ガス比 γ が低いにもかかわらずコークス比が却つて高いという矛盾に遭遇することもしばしばあり、従来の理論では何としても説明し得なかつたことである。しかしながら、前述のごとくコークス比は炉頂ガス比 γ 、直接還元率 $D \cdot R$ および還元し得る酸素の Fe に対する割合 n の三つの独立変数の関連において考えるべきである。以下前報のコークス比に対する理論の正当性を実証するために小倉製鉄所の No. 1, No. 2 溶鉄炉の昭和 37 年 1 月~38 年 3 月までの操業実績について詳細に解析した。

II. 溶鉄炉操業におけるコークス比

理論的に溶鉄炉操業を解析する場合、コークス比を用いるよりカーボン比で示した方が便利である。

鉄鉱石の還元においては前報で詳述したごとく



が成立し、(1) 式にしたがつて、1 gram atom の Fe を作るための所要カーボンの gram atom 数は理論的に (2) 式のごとくなる。

$$X_1 + X_2 = n(1+\gamma)(1-D \cdot R) \dots \dots \dots (2)$$

ただし、この $(X_1 + X_2)$ の中には溶鉄中に溶存する炭素は含まれていないし、勿論 dust 中に逃散した炭素粉も含まれていない。上の (2) 式は単にカーボンバランスのみより求めたものであり、溶鉄炉操業が成立するためには、(2) 式に示された条件の他に間接還元の平衡論的な制限および熱バランスの制限が付されねばならない。しかしながら、溶鉄炉操業実績からとつた n, γ および $D \cdot R$ に対しては、必ず (1) および (2) 式を満足せねばならない。したがつてもしこの n, γ および $D \cdot R$ から計算で求めたカーボン比と実績によるカーボン比との間には、良好な一致が期待せられるべきである。(2) 式に示されるごとく理論カーボン比は n, γ および $D \cdot R$ の三変数の函数として表わされているゆえ、操業実績よりこれらの変数について検討する。

III. n の値、すなわち溶鉄炉装入物中の Fe 1 gram atom に対する酸素の gram atom 数について

溶鉄炉内に装入せられる鉄鉱石が全然脈石などを含まず、かつその他副原料中に何ら炉内で還元せられるごとき酸素を含有していないときは、簡単に酸化鉄の分析値より n 値を求めうるが、実際操業の場合、不純物より一部 Si, P および Mn などが還元せられて溶鉄中に入ってくる訳で、これら不純物は主として酸化物の形で装入せられるゆえ、炉内でこれら不純物の還元にもカーボンを消費することになる。このことを考慮すれば (1) 式は次のごとく書き換えるべきである。すなわち鉄 1 gram