

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

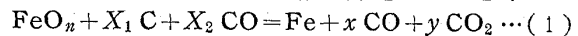
前報に於て溶鉄炉操業におけるコークス比に対する理論的考察を行なつた。すなわち、従来考えられていた Gruner の理論に基づく間接還元の絶体優位の概念を捨て去つて、溶鉄炉内で起つている carbon solution re-

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。

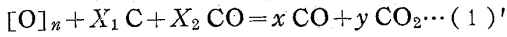
$$X_1 + X_2 = n(1+\gamma)(1-D \cdot R) \dots \dots \dots (2)$$

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

atom を作るためには



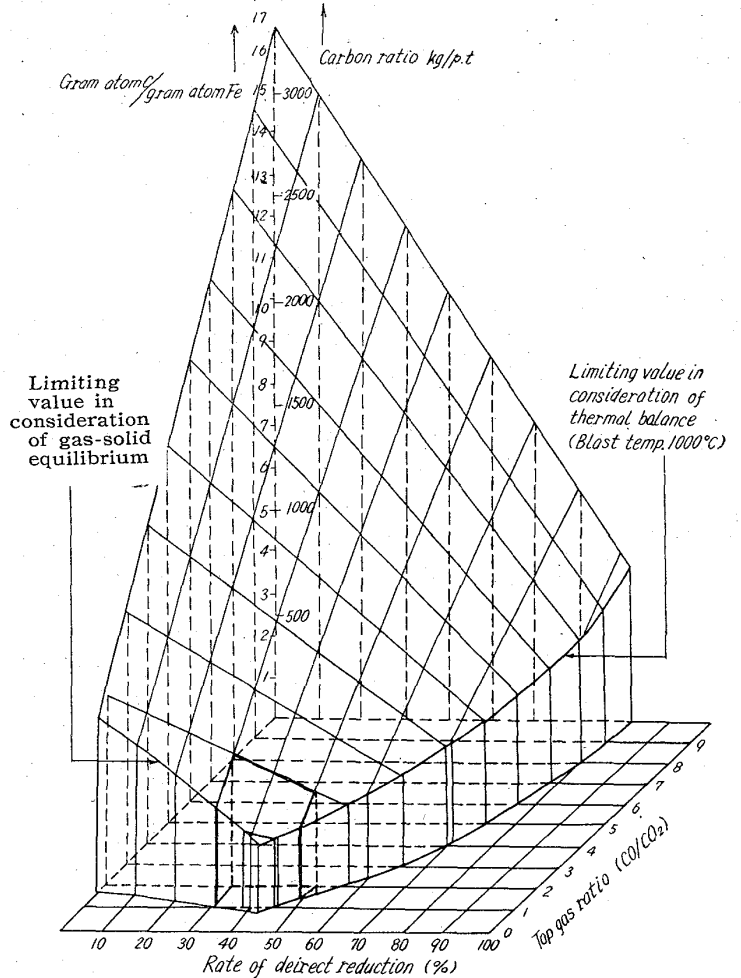
が成立せねばならない。ここで $[O]_n$ は炉内で実際に C あるいは CO により還元せられる。Fe 以外の酸化物中の酸素をも含めて、鉄 1 gram atom に対する酸素の gram atom 数である。このように (1)' の式で表しても (1) 式同様 (2) 式が成立する。上に述べた鉄酸化物以外の酸化物が C あるいは CO により奪れ、酸素量の計算は簡単である。すなわち溶銑の化学分析値より Si, Mn および P を求め、この量に相当する装入物のそれぞれの酸化物から還元せられた酸素量 (gram atom) を Fe 1 gram atom 当りで求め、これを主原料より求めた n 値に加えればよい。Si および P についての源泉はそれぞれ SiO_2 および P_2O_5 の形で装入されていることは間違いない事実であろう。しかしこれらの酸化物の内還元されなかつたものは、スラッグ中に原形の酸化物のまま残るので問題はない。しかし Mn の酸化物についてはその形態が多くあり、したがって溶銑中の Mn% のみから還元により奪われた酸素量を決定し得ない。したがって原料分析において Mn 鉱石の形態を分析することが望ましい。しかし、主原料たる鉄鉱石中の酸素量に較べて Mn 鉱石の有する酸素は極めて少ないから、本解析においては Mn 鉱石は Mn_2O_3 の形で装入され、全量が炉床に至るまでの間に全部 $Mn_2O_3 \rightarrow MnO$ となり、その MnO の一部が Mn になるものとして n 値を計算した。

IV. 炉頂ガス比 γ について

(2) 式より、もし直接還元率が一定ならば炉頂ガス比 γ の値が低いほどカーボン比が低下することは明らかである。ただ、炉頂ガス比は通常炉頂ガス中の CO および CO_2 を容量%で示すが、この CO_2 の中には装入物中の石灰石・ドロマイトなどの炭酸塩の熱分解で生じた CO_2 も含めて表わされている。コークス比との関連において炉頂ガス比を考えるさいは、羽口前で生じた CO、あるいは直接還元で生じた CO の合計と間接還元の結果生じた CO_2 との比を考えなければ (2) 式が成立しないのは勿論である。したがって従来のごとく単に炉頂ガス中に含まれる全部の CO/CO_2 の値は補正值 δ より小さくなり、もし石灰石の使用量に変動がある場合には、従来の CO/CO_2 の値は炉内還元状況の把握に不適当といわざるを得ない。

V. 直接還元率 D・R について

前報の理論によれば、次に示す Fig. 1 の炭素比曲面上においてのみ溶銑炉操業が可能なることを示し、もし炉況が悪くコークス比が高い時は当然この曲面上においてカーボン比の高い方へ移動し、炉況が良くコークス比が低い場合には曲面上のカーボン比の低い方へ移動する。ただ、この曲面上のカーボン比の低い方は、間接還元の平衡論の見地からの制限および溶銑を得るための熱バランスの見地からの制限以下になり得ないことは前報で理論的に詳述したところである。従来 $MnO \rightarrow Mn$, SiO_2



Note: A thick line in diagram shows that the area on which ordinary blast furnace operation is performed.

Fig. 1. Diagram of carbon ratio curved surface (n value: 1.50 Fe in pig iron: 93.6%).

$\rightarrow Si$ および $P_2O_5 \rightarrow P$ の反応は全部直接還元によると仮定されているが、例えば $MnO \rightarrow Mn$ の反応は金属鉄が共存する範囲ではかなり低い温度 (1100~1200°C) でも還元可能で、したがって Mn, Si および P が全部直接還元により還元されるとするのは問題がある。ここにおいて n 値として Mn, Si および P などの酸化物を含めた値を採用しているゆえ、装入された全有効炭素量より溶銑中およびダスト中の炭素量を差し引いたものから、羽口前で平衡風中の O_2 および H_2O で気化する炭素量を引いたものを以つて、Mn, Si および P などの直接還元も含めての直接還元で消費された炭素量とした。

以上で所要各月間のカーボン比を計算する全ての変動を求め得たので、(2) 式に随つて計算した値と実際のコークス比より求めたカーボン比が良好な一致を示せば前報「溶銑炉操業のコークス比に対する理論」の正当性が実証されることになる。

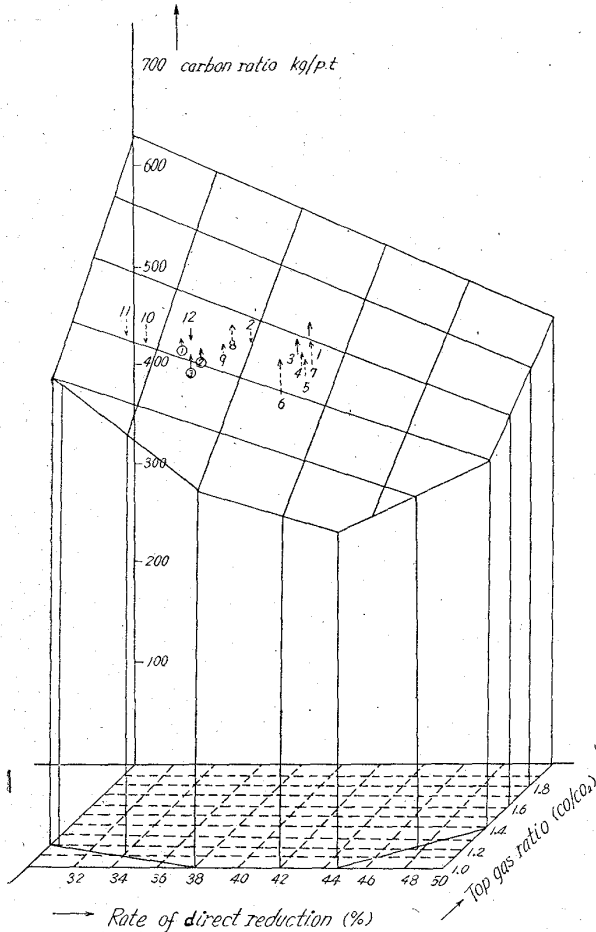
VI. 重油の置換率について

通常溶銑炉操業の場合コークス比は重油を考慮せずに示されるので、理論値と実測によるカーボン比を比較検討する場合には、重油によるカーボンの置換率を考慮すべきである。重油の置換率については別報するゆえ割愛

する。

**VII. 小倉製鉄所 No. 1, No. 2 溶鋳炉操業実績
に対する検討**

操業実績カーボン比の検討に要する以上のデータを用いて理論値との比較検討を試みることにする。



The cardinal point of an arrow head shows theoretical value.
 The top of an arrow head shows actual value.
 The length of an arrow head shows the difference of theoretical value between actual value.
 An affix figure shows operating month.
 A round mark shows the 38th year of Shōwa.

Fig. 2. An examination of actual values on carbon ratio curved surface (No. 1 B·F).

Fig. 2 はカーボン比の実績値と炉頂ガス比(湿分補正)直接還元率および n の値より求めたカーボン比の理論値との比較を示したもので、すなわちカーボン比の実績値を理論カーボン比曲面 (Fig. 1) 上にプロットしたもので小倉 No.1 B·F の値を例示した (Fig. 2)。

矢印基点は理論値、すなわちカーボン比曲面上に位置する点であり、矢印先端は実績値を示す。矢印の長さで示されるものは理論値と実績値との差、すなわち理論炭素比曲面よりのズレを示している。

重油吹込み開始期は No.1 B·F で昭和 37 年 6 月、No.2 B·F で昭和 37 年 2 月からである。

ここでカーボン比の実績値と理論値との差の平均値を求めてみると、No.1 B·F で +12.8kg, No.2 B·F で -1.7kg となる。さらに炉況の悪化した No.1 B·F の 6, 7 月と No.2 B·F の 7, 8 月の実績値を除外した平均値は各々 +7.6kg, -8.0kg となり、比較的良好に理論値と一致することを実証するものである。

**VIII. コークス比 (カーボン比) と炉頂ガス比、
あるいはコークス比 (カーボン比) と直接
還元率との関係について**

すでに溶鋳炉操業におけるカーボン比は n, γ および $D \cdot R$ の三変数関数で示されることを詳述し、コークス比は炉頂ガス比に直接還元率とを同時に考え考慮すべきことを力説して来た。単にカーボン比と炉頂ガス比の関係を二元的に示す場合には、直接還元率のほぼ一定範囲のものにつき示さなければ、これらの表示は全く無意味化する。

カーボン比と直接還元率の関係も全く同様で、炉頂ガスのほぼ一定範囲のものにつき比較しなければならない。例えば、No.1 B·F のほぼ直接還元率一定の範囲に分類すると S 37 年 1, 2, 3, 4, 5 各月の直接還元率は 40.33~40.98% の範囲内であり、ほぼ一定と見做し得るので、カーボン比—炉頂ガス比の関係をプロットしたものが Fig. 3 の左上に示した図である。

図において実線はこの直接還元率を一定にとつた範囲、すなわち $D \cdot R = 40.33 \sim 40.98\%$ にとつた場合の理論値の上限および下限をとつたものであり、実績値はほぼこれに平行な点線で示される傾向を明示するものである。Fig. 3, Fig.4 の他の図も直接還元率の範囲が異なるグループについて示したものであるが全く同様な傾向を示す。なお、理論値と実績値とのズレは測定因子の

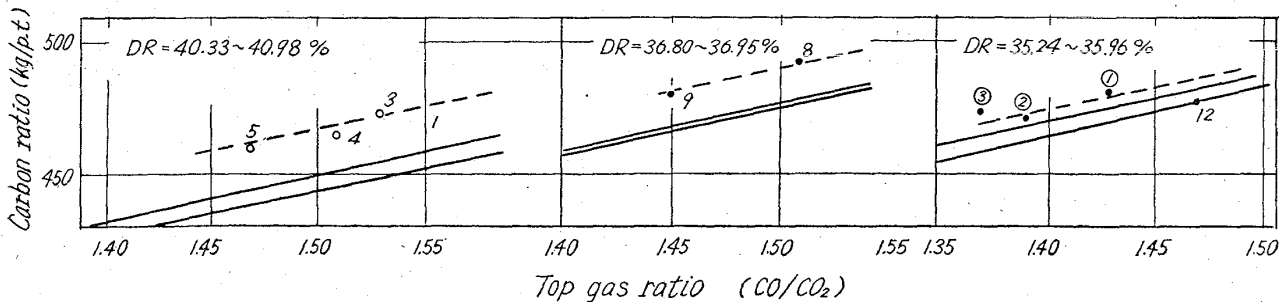


Fig. 3. Relation between actual carbon ratio and top gas ratio in consideration of rate of direct reduction (No. 1 B·F).
 (Continuous line shows upper limit and lower limit in case of constant rate of direct reduction)

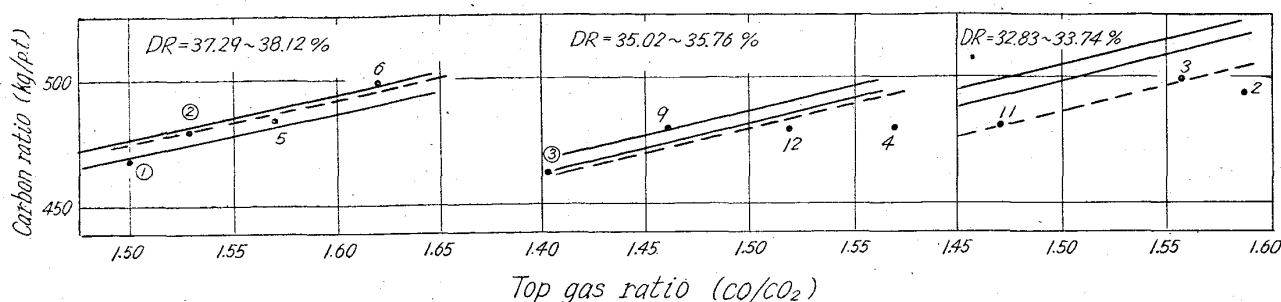


Fig. 4. Relation between carbon ratio and top gas ratio in consideration of rate of direct reduction (No.2 B·F).

精度に帰因すべきものである。

実績カーボン比と直接還元率との関係を炉頂ガス比のほぼ一定な範囲のグループに分類して示すと、前報の理論から予期されごとく明らかに直接還元率の増加につれて実績カーボン比は減少して行くものである。

IX. 結 言

以上詳述したところを要約すると次のごとくなる。

i) 小倉製鉄所 No.1 B·F, No.2 B·F の昭和 37 年 1 月から昭和 38 年 3 月に至る月間操業実績についてコークス比に関する検討を行なった。

ii) 前報「溶鉱炉操業のコークス比に対する理論」においてコークス比 (カーボン比) は $n(1+\gamma)(1-D\cdot R)$ で以つて理論的に示し得ることを明白にしたが、実績値の n, γ および $D\cdot R$ の値が正しく評価されていれば理論カーボン比と実績カーボン比は一致する。

iii) 操業実績の解析により、実績カーボン比は前報の理論カーボン比曲面上にかなり良好に一致した。これは n, γ および $D\cdot R$ の精度より考えては満足すべきものと考えられる。

iv) 従来カーボン比は炉頂ガス比と二元的関係で示されていたが、直接還元率の持つ意義について実績値より明らかにした。

うとともに、ガス利用率曲線の性質を究明し、従来の還元速度表示式との比較を試みた。

II. 実験装置および方法

実験装置は前報りとほぼ同じだが、多少改善し、還元炉の前後にガス流量計を二個設け、還元前後のガス容積減を測定し、炭素析出量をガス流量減より測定するように試みたが、設備の都合上、前に乾式ガス流量計、後に湿式ガス流量計と異なるメーターをつけたため、水蒸気張力の補正などの問題があり、またガス中に含まれる H_2 その他の微量ガスの反応などのため、炭素析出による容量減より大きな容量減少が起り、正確に炭素析出量を決定することはできなかった。

CO 発生炉は流量を 4 l/min まで増加できるように内径 60mm, 長さ 1.5 m のステンレス管を使用し、木炭 1~2.5mm 約 400 g が入るようにした。そのため CO_2 は前回より多く平均 0.5% 位であった。 H_2 はやや少なく 0.8~1.5% 位であった。

炉内の圧力変動による流量の変動を少なくするため、元圧はオーバーフローにより一定に保つとともに、差圧式流量計の差圧を使用時 100 $mmAq$ 位に多くし、また流路の摩擦損失を多くし、炉内圧力損失の多少の変動に対し、流量の変動を少なくするように努力した。

還元炉は始め磁製燃焼管を使用した。結晶水が上部に凝縮したのが降下して赤熱部に落ち割れるので、18-8 ステンレス管の内径 42mm, 長さ 1 m のものに変えた。

実験方法は前回と同様だが、流量計は前後を同時に読み、還元率の計算には還元後の流量を使用した。

使用鉄石の分析値を Table 1 に示す。

III. 実験結果

1) CO 濃度の影響

前報りにおいて、CO での還元と、 $CO:N_2=1:2$ の混合ガスでの還元の場合の比較を行なったが、同一接触時間で同一ガス流速のデータがなかったのでやり直した。

両ガスの CO% が約 96% と 32% となり、ほぼ 1/3 を示している。接触時間、ガス流速を考慮して Fig. 1

Table 1. Chemical analysis of ore used (%).

	T. Fe	FeO	T. O_2	SiO_2	CaO	C.W.
Self-fluxing sinter	56.2	11.7	22.83	5.95	8.03	—
Ipoh ore	64.96	0.43	27.90	1.66	0.11	1.35
Nevada ore	58.01	21.34	22.68	6.42	1.64	2.57

(34) 鉄鉱石還元におけるガス利用率曲線に関する 2, 3 の考察

(鉄石層の還元実験—Ⅲ)

九州工業大学 ○相馬 胤和

A Study on the Gas Utilization Curve of Ore Reduction

(Reduction test of ore bed—Ⅲ)

Tanekazu Sōma.

I. 結 言

前報りにおいて、鉄鉱石層の還元をガス利用率 $CO_2/(CO+CO_2)$ の観点より見て、各還元率における $CO_2/(CO+CO_2)$ の示すガス利用率曲線が、鉄石粒度、接触時間その他の因子によりいかに変化するかを報告し、あわせて平衡に近づけた場合にガス利用率曲線が示すであろう平衡階段の計算を試みた。

今回はさらに実験を行ない、マグネタイトの粒度の影響、CO 分圧の影響などの前回不十分だったところを補