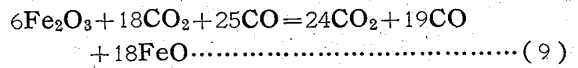
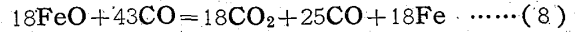


- (U.K.), 199 (1961) Part 3, p. 253~257
- 6) 辻畑敬治, 他: 鉄と鋼, 47 (1961) 10, p. 1255~1256
- 7) P. B. STUBBS, et ali.: Blast Furn. & Steel Plant, 41 (1953), p. 772~775
- 8) E. W. NIXON, et ali.: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 174 (1953), p. 331~335
- 9) 和田亀吉: 実際製鉄法, p. 145

によつて還元されるのが理想的であり, その場合が最も燃料消費量が少ないと説明した。

III. パプロフの説

パプロフは平衡論的にグリュエナーの説の誤りを指摘した。平衡状態図から見て, 685°C で FeO を還元するには還元ガス中の CO₂:CO の比が 0.72 以下でなければならない。従つて還元反応式は次式で表はさなければならない。



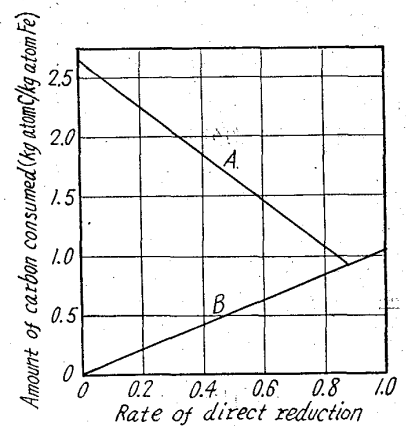
これが酸化鉄を 100% 間接還元するための限界である。今銑鉄成分を 93% Fe, 4% C とし, コークス中の固定炭素を 85% とし, 且つ石灰石の使用量を 0.5 t/t 銑鉄としてコークス比を求めると 0.702 となる。しかるに実際の高炉操業では, これより小さいコークス比のものが多い。従つてグリュエナーの説には誤りがある。

一方直接還元では



この場合の銑鉄 t 当りコークス消費量は, 0.214 あるいは 0.321 である。ライボヴィチおよびラムはこのことから直接還元率の割合と炭素消費量の関係を求めた。(Fig. 1)。

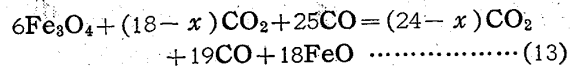
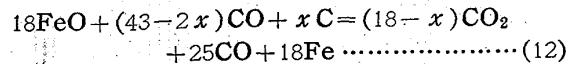
また現代の大型高炉の熱消費量は 3000~3200 kcal/kg である故, 今送風温度を 800~900°C とすれば最良の間接還元率は 70~76% である。従つて現在の高炉の操業成績を向上させるためには, 間接還元率を増すように努力せねばならない。



A: Amount of carbon consumed by indirect reduction.
B: Amount of carbon consumed by direct reduction.
Fig. 1. Relation between rate of direct reduction and calculated amount of carbon consumed.

IV. 考察

まずパプロフの説明の誤りを指摘しよう。実際の高炉の下方では, 酸化鉄の直接還元とともにカーボンのソリューション, ロス反応が進行している。従つて還元反応式は次のように表わさなければならない。今 x 量のカーボンがソリューション・ロスで消費されたとすれば, 次式で示されるよりも, さらにコークス消費量は少なくて良い。



今仮に x=10 としパプロフと同様にして計算するとコ

669, 162, 283, 169, 162, 263, 232, 169, 749, 2, 012, 23

(7) 鉄鉱石の間接還元とコークス比の理論的検討

(高炉内における鉄鉱石の還元とコークス比-I)

八幡製鉄所技術研究所

工博 児玉 惟孝・○重見 彰利

Theoretical Consideration for Indirect Reduction of Iron Ore and Coke Rate.

(Iron ore reduction in blast furnace and coke rate-I)

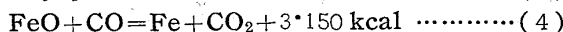
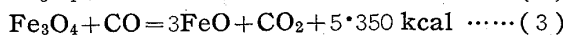
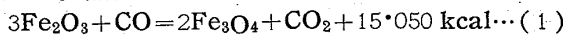
Dr. Koretaka KODAMA and Akitoshi SHIGEMI.

I. 緒言

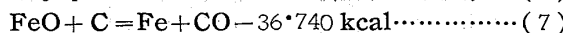
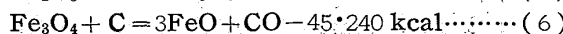
高炉の間接還元とコークス比の関係については, 19世紀の終りにフランスの冶金学者グリュエナーがまずその原理を発表し, 100% 間接還元を行なうのが理想的溶銑炉であるとする氏の考えが永い間信頼されて来た。その後パプロフが, ガス平衡論からグリュエナーの理論の誤りを指摘した。このことからライボヴィチおよびラムは, 送風温度 800°C~900°C の場合の最良の間接還元率は 70~76% であり, 高炉技術者は間接還元率をこの値まで上げるべきであるとした。しかしながら筆者は次のように考える。直接還元率あるいは間接還元率とコークス比は一律に決るものではなく, 間接還元率をしてコークス比を下げるための目安とすべきでない。コークス比を下げるためには羽口先で生成する銑 t 当りの CO 量を直接下げるように努力すべきである。単位還元ガス当りの間接還元量は出来るだけ増すべきであるが, 間接還元率を高めることがむしろコークス比の上昇をもたらすこともある。次に以上のことをまず理論的に検討する。

II. グリュエナーの説

酸化鉄の CO による間接還元は, 次式で示されるように大きな発熱反応である。

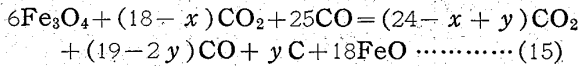
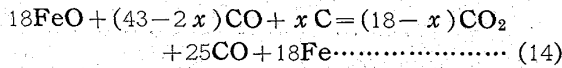


これに対して固体炭素による酸化鉄の直接還元は, 次式に示すように大きな吸熱反応である。



以上のことからグリュエナーは鉄鉱石は間接還元だけ

ークス比は約 0.46 となる。すなわち酸化鉄は実際に、すべて間接還元されているにも拘らずークス比は小さくなる。従つてパブロフの説に誤りがある。ここで当然異存があるであらう。“パブロフのいう間接および直接還元は外観上のそれを指す”と、しかし、この異存を認めても次のような誤りがある。すなわち見掛け上の間接還元および直接還元を問題にするのであれば、ソリューション・ロス反応(x)と同時にカーボン・デポジション反応(y)も無視出来ない。従つて還元反応式は次式で示されるよりもークス消費量は少なくても良い。



この場合 (24 - x + y)/(19 - 2y) は相当大きな値迄許容出来る。今若し x = y とすれば、外観上完全な間接還元であるにも拘らず、ークス比はさらに小さくなつてゐる。

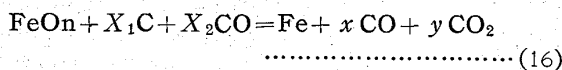
以上のことからパブロフの説に誤りのあること、高炉内における鉄鉱石の還元とークス比の関係は、間接還元、直接還元、ソリューション・ロス反応、カーボン、デポジション反応を同時に考えねばならないことが明らかとなつた。

勿論、グリューナーの説も誤つてゐる。すなわち間接還元、直接還元の意味があいまいであり、且つまた、若し実際の間接還元を考えるならば、完全な間接還元を行なはしめることは、最低ークス比とならぬことが、平衡論的に前述のごとく明らかであり、また、外観的な間接還元を考えるならば、(14)~(15)式において x, y の値によつて同一間接還元率でもークス比が異なり、完全な間接還元を行なはしめたときが、理理想的な高炉作業でークス比が最も少いという考えは誤りであること、また、間接還元率とークス比が一律に決まらないことが明らかである。

以上の結論にもとづいて次にこの問題を検討して見る。今 FeOn で表はされる酸化鉄の還元を考えると次式が成立する。

Table 1. Rate of apparent direct reduction.

| a CO ₂ /CO | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.2 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.266 | 0.300 | 0.333 | 0.400 | 0.469 | 0.533 | 0.600 |
| 0.8 | 0.320 | 0.355 | 0.375 | 0.447 | 0.507 | 0.570 | 0.631 |
| 0.6 | 0.400 | 0.426 | 0.455 | 0.520 | 0.562 | 0.620 | 0.673 |
| 0.4 | 0.520 | 0.540 | 0.555 | 0.600 | 0.644 | 0.687 | 0.732 |



従つて

D.R.(外観上直接還元)

$$\frac{y + x - X_2}{2y + x - X_2} = \frac{y + x - X_2}{n} = \frac{X_1}{n} \dots \dots \dots (17)$$

今 y/x = b とし X₂ = an とすれば

$$\text{D.R.} = \frac{b + 1 - ab}{2b + 1} \dots \dots \dots (18)$$

但しここで b は CO₂/CO であり、a は衝風によつてカーボンが燃焼して出来た CO の n に対する割合である。b の値はカーボン・デポジションを考えた場合相当に大きくなり得る。次に a, b の値が与えられたときの外観的直接還元率を (18) 式より求めると Table 1 のようになる。

次にークス使用量を求める。Fe₂O₃ 50%, Fe₃O₄ 50% の酸化鉄を還元するときの 1 Fe 分子量当りの消費カーボン分子量 (X₁+X₂) を求めると

$$X_1 + X_2 = n(\text{D.R.} + a) \dots \dots \dots (19)$$

であり且つ n = 1.42 である。

今銑鉄成分を 93% Fe, 4% C とし、ークス中の固定炭素を 85% とし、かつ銑鉄 t 当りの石灰石使用量を 200 kg としてークス比を求めると Table 2 の結果となる。

現在の実際の高炉では a = 1.1~1.4, b = 0.5~0.8, ークス比 = 550~700 である。Table 2 の結果は、実際のデータと良く一致している。

以上のことから両者の関係は一律に決まらないこと、また高炉内の還元反応式は (16) 式、あるいは (14), (15) 式を考えなければならぬことが明らかである。次に送風量を一定に保つてゐる溶銑炉を考えよう。今何等かの処置によつて間接還元率を 60% から 80% に高め得たとすれば、鉱石の下降速度を速くして、換言すれば銑石/ークスを高くして間接還元率を 60% 附近迄下げても高炉は順調に操業出来ることになる。このことは銑 t 当りの羽口先生成 CO 量を減少させてークス比を下げたことに他ならない。

V. 結 言

1. 高炉内における鉄鉱石の還元状態とークス比の関係を論ずるには、直接還元、間接還元と同事にカーボン・デポジションおよびソリューション・ロス反応を考えに入れなければならない。
2. 間接還元率とークス比の関係は一律に定まらない。
3. ークス比を下げるためには間接還元率をまずよりも羽口先でカーボンが燃焼して生成する CO 量を直接

Table 2. Relationship between coke combustion at tuyeres (a), CO₂/CO in top gas (b) and the coke consumption (kg/t pig).

| a CO ₂ /CO | CO ₂ /CO | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 |
| 1.2 | 561 | 576 | 600 | 607 | 626 | 658 | 699 |
| 1.1 | 543 | 551 | 577 | 589 | 611 | 638 | 657 |
| 1.0 | 508 | 522 | 539 | 556 | 579 | 605 | 640 |

減少させなければならない。

このように考えた時、鉱石の整粒、高温送風、自溶性焼結などのコークス比におよぼす影響を的確に把握出来る。

669,162,267.4:662,753.3
 (8) 高炉の重油吹込み操業に関する
 2, 3 の考察

日本鋼管技術研究所

飯島保雄・工博 宮津 隆・○森 高
 〃 川崎製鉄所

小林 正・松井正治

Observations on the Oil Injection
 into a Blast Furnace.

Yasuo IJHIMA, Dr. Takashi MIYAZU,
 Takashi MORI, Tadashi KOBAYASHI
 and Seiji MATUI

I. 緒 言

当社では昨年4月から高炉のコークス比低減および生産性の向上のために重油の吹込み操業を行なっているが問題点の一つは重油の不完全燃焼によつて生成したフリーカーボンが高炉ガスに混入して炉頂から逸出することとこれに伴う重油の有効利用率の判定方法に関するものであった。筆者等はこの問題について2, 3の検討を行なつた。

検討事項は大別するとつぎのようになる。

- 1) ボツシュガスの組成調査

- 2) 高炉ガス中のフリーカーボン混入量を色調(明度)から判定する方法。
- 3) X線回折法による高炉ガス中のフリーカーボンの平均結晶粒子の大きさの測定

II. 実 験

- 1) ボツシュガスの組成調査

本格操業前の予備試験として重油吹込み時におけるボツシュガスの組成ならびに吹込み位置と H₂, CO の水平方向分布の関係を調査するために次の実験を行なつた。

i) 実験条件 実験のわりつけを Table 1 に、サンプリング位置を Fig. 1 に示す。

ii) ガス分析 測定装置としてはコタキ Super Fractioner GD-3 型ガスクロマトグラフを使用した。

測定条件は次の通りである。

カラムの種類: CO₂……シリカゲル×2m

H₂, N₂, CO, CH₄……モレキュラシーブ 13X×2.5m

カラムの温度: 50°C (注入口常温)

キャリアーガス: アルゴン 40ml/mn, (CO₂ の時のみ 60ml/mn)

チャート速度: 10mm/mn

レコーダー感度: 2~32mV

iii) 実験結果 生データを Table 1 に、解析結果を Fig. 1 に示す。

- iv) 考察

a) 羽口上 8.5m のサンプリング位置では、重油の熱分解による CH₄ および CmHn の存在は認められないから、H₂, CO, フリーカーボンにまで分解しているものと推定される。

Table 1. Gas composition during oil injection.

| Sampling hole | Testing date | Forenoon | | | | | Afternoon | | | | | |
|---------------|--------------|----------------|----------------|------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-----------------|-----------------|---|
| | | H ₂ | N ₂ | CO | CO ₂ | CH ₄ | H ₂ | N ₂ | CO | CO ₂ | CH ₄ | |
| Top | 1 st | 5.1 | 62.0 | 26.5 | 5.5 | 0 | 4.9 | 57.8 | 24.9 | 12.2 | 0 | |
| | 2 nd | 4.7 | 53.9 | 24.4 | 16.4 | 0 | 4.5 | 57.2 | 24.9 | 13.2 | 0 | |
| | 3 rd | 4.6 | 56.4 | 25.2 | 13.5 | 0 | 4.9 | 55.3 | 23.9 | 14.7 | 0 | |
| | 4 th | 4.9 | 58.3 | 25.4 | 11.0 | 0 | 5.1 | 55.2 | 25.6 | 14.0 | 0 | |
| Bosh | East | 1 st | 4.7 | 56.0 | 38.7 | 0 | 0 | 6.7 | 55.4 | 37.1 | 0 | 0 |
| | | 2 nd | 7.0 | 57.0 | 35.1 | 0 | 0 | 4.8 | 58.0 | 36.7 | 0 | 0 |
| | | 3 rd | 4.0 | 56.8 | 38.9 | 0 | 0 | 4.4 | 58.4 | 34.2 | 0 | 0 |
| | | 4 th | 2.8 | 63.6 | 20.1 | 0.5 | 0 | 4.9 | 56.7 | 37.9 | 0 | 0 |
| | West | 1 st | 6.5 | 51.5 | 36.1 | 0 | 0 | 5.1 | 56.0 | 37.0 | 0 | 0 |
| | | 2 nd | 7.0 | 57.6 | 34.6 | 0 | 0 | 7.5 | 58.3 | 33.7 | 0 | 0 |
| | | 3 rd | 12.0 | 51.3 | 36.4 | 0 | 0 | 7.1 | 56.6 | 33.9 | 0 | 0 |
| | | 4 th | 9.4 | 48.6 | 41.8 | 0 | 0 | 4.9 | 58.6 | 36.0 | 0 | 0 |
| | South | 1 st | 4.0 | 59.0 | 36.3 | 0 | 0 | 3.7 | 58.5 | 37.2 | 0 | 0 |
| | | 2 nd | 3.9 | 58.6 | 36.6 | 0 | 0 | 4.5 | 58.4 | 36.5 | 0 | 0 |
| | | 3 rd | 2.4 | 58.1 | 39.3 | 0 | 0 | 5.5 | 57.3 | 35.9 | 0 | 0 |
| | | 4 th | 4.7 | 57.8 | 37.0 | 0 | 0 | 3.9 | 56.9 | 39.0 | 0 | 0 |
| North | 1 st | 5.0 | 59.0 | 36.6 | 0 | 0 | 7.8 | 55.3 | 36.2 | 0 | 0 | |
| | 2 nd | 6.8 | 53.6 | 39.1 | 0 | 0 | 7.3 | 57.6 | 34.5 | 0 | 0 | |
| | 3 rd | 7.4 | 58.4 | 34.0 | 0 | 0 | 6.1 | 57.2 | 35.8 | 0 | 0 | |
| | 4 th | 11.9 | 52.9 | 34.8 | 0 | 0 | 7.8 | 55.6 | 34.3 | 0 | 0 | |

Oil-feed: 8 kg/mn/tuyere×4.