

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

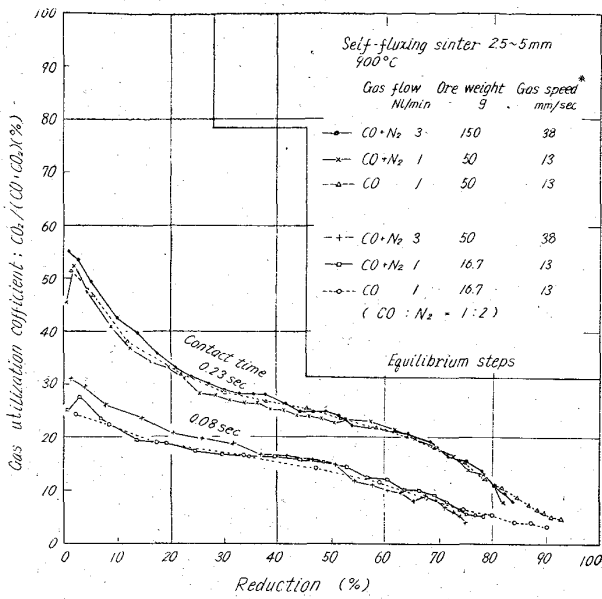
(Reduction test of ore bed—Ⅲ)

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



* Calculated by empty cross section in normal state.
Fig. 1. Comparison between CO and CO+N₂ mixed gas reduction (effect of contact time and gas flow: self-fluxing sinter).

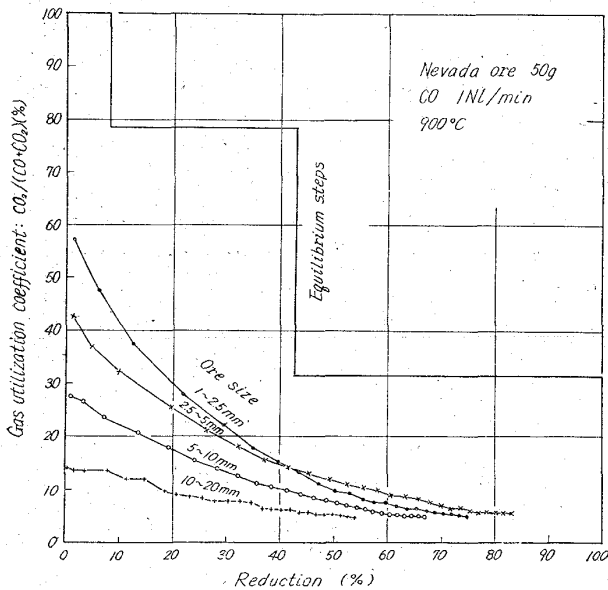


Fig. 2. Effect of ore size on the gas utilization curves (Nevada magnetite).

に示すごとく 6 つの組合せの実験を行なった。Fig. 1 の上下の各三本はそれぞれ同一接触時間であるが、CO+N₂ 3 NL/min の二本はガス流速が他の 3 倍となり、したがって同一接触時間の他の二本よりやや高い傾向を示す (CO のみの流量は 1 NL/min)。すなわち CO 濃度の異なるガスによる還元においては接触時間とガス流速を同一にすれば、同一のガス利用率曲線を示すことがわかる。

2) Magnetite の粒度の影響

前報において Magnetite として韓国鉱を使用したが、鉱石組成にパラツキが多いため、ネバダ鉱を使用し、

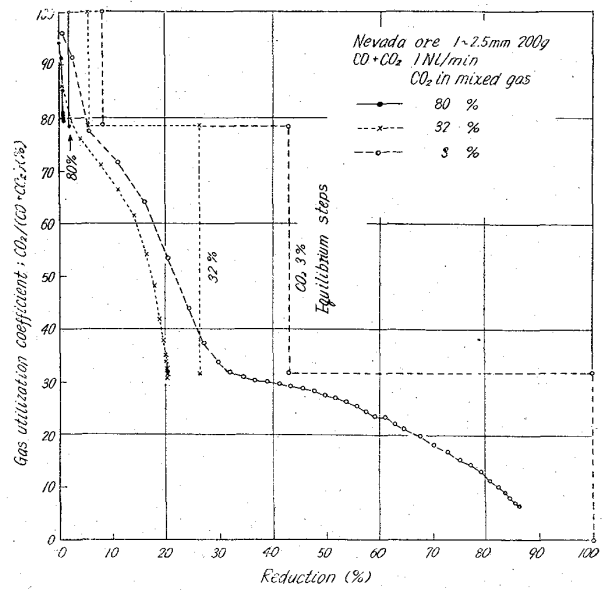


Fig. 3. Relation between the equilibrium steps and experimental gas utilization curves in slow reduction (Nevada magnetite).

900°C、鉱石重量 50 g、CO 1 NL/min にて鉱石粒度を変えて実験を行なった結果を Fig. 2 に示す。

この CO 利用率曲線は韓国鉱同様に還元率の上昇とともに急激に低下し、ほとんど二次曲線を示している。また平均直径と同一還元率における CO₂/(CO+CO₂) との間には

$$CO/(CO+CO_2) = A1 - kD$$

A, k: constant, D: 平均直径 mm

の関係が低還元率において明瞭に見られ、その傾斜は平均直径の 7mm 増加に対し CO₂/(CO+CO₂) が半減の関係にあり、hematite の 10mm より大であり、magnetite 中の拡散速度が少ないことを示している。

3) 平衡との関係 (各還元段階における還元)

前報において平衡段階の計算を試みたが、magnetite の還元のごとく、hematite、焼結鉱とガス利用曲線の形が非常に異なるものについても成立するか否かを確かめるために、ネバダ鉱、イポー鉱、自溶性焼結鉱につき、それぞれ CO₂ を 80、32、3% を含む CO ガスで接触時間を大にして (0.92 秒) にして還元し、それぞれ Fe₃O₄、FeO、Fe まで還元を行なった。3% としたのは炭素析出を押えるためである。

CO ガス中の CO₂ が増加すると平衡段階の最高還元率も変ってくるので、それを計算し、実験結果とともに各鉱石につき Fig. 3, 4, 5 に示す。還元条件は 900°C、鉱石粒度 1~2.5mm、200 g、CO+CO₂ 1 NL/min で行なった。

これら還元後の試料は X 線回折により、3%CO₂ のものは Fe、32% は FeO、80% は Fe₃O₄ の線のみしか現われず、ほぼその段階の還元を終了しているものと考えられる。

Fig. 3~5 より、各ガス利用率曲線の各還元段階の終了点は計算した最大還元率よりも、イポーの 100% の点を除いてはいずれも少なくなっているが、特にネバダ鉱

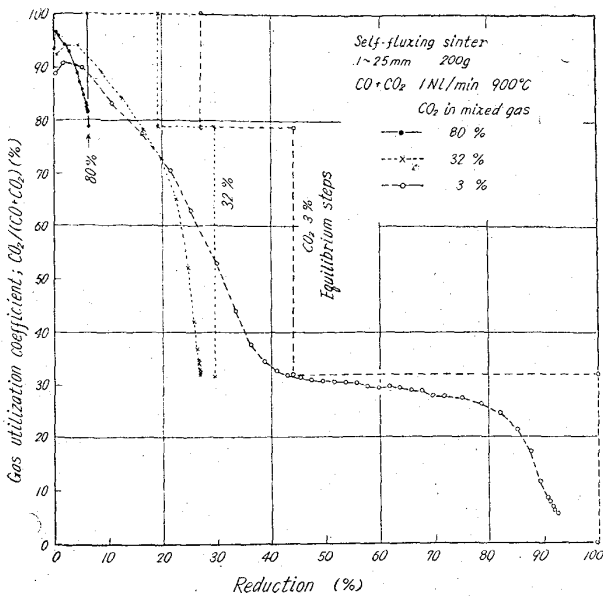


Fig. 4. Relation between the equilibrium steps and experimental gas utilization curves in slow reduction (self-fluxing sinter).

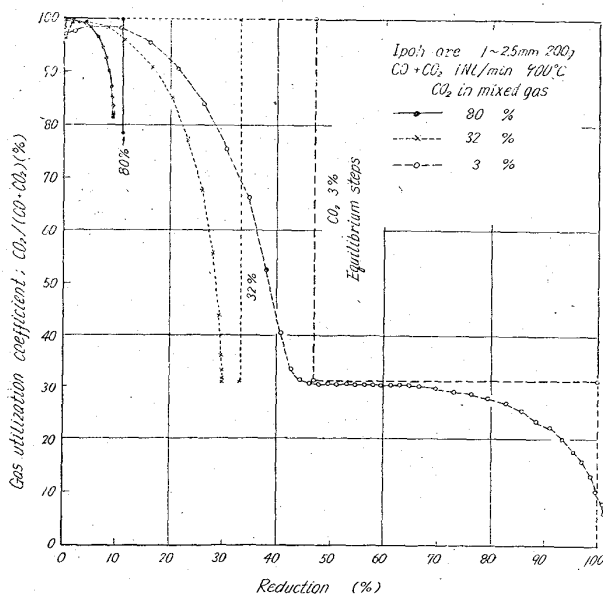
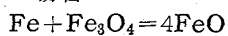


Fig. 5. Relation between the equilibrium steps and experimental gas utilization curves in slow reduction (Ipoh hematite).

の CO_2 3% の利用率が 31.5% になる値は計算値より大きくはなれている。J. O. EDSTRON²⁾ は Fe_3O_4 の還元は FeO 層中の Fe イオンの拡散によるとしているが、この場合



となり、 CO_2 31.5% 以下で還元された Fe により、 $Fe_3O_4 \rightarrow FeO$ の還元が行なわれ、計算の仮定と反するため、最大還元率はその分だけ多く計算していることになる。したがって還元中に FeO 層中に割れの発生が少ない Magnetite では特にこの差が大きくなるものと考え

られる。

IV. 考 察

W. M. MCKEWAN³⁾ によれば、単一の球、立方体などの形状の鉄石の還元速度は $Fe-FeO$ 界面の面積に比例する

$$dW/dt = KA \dots\dots\dots (1)$$

これより

$$r_0 d_0 [1 - (1-R)^{1/3}] = Kt \dots\dots\dots (2)$$

が導かれる。この式は $Fe-FeO$ 界面の進行速度が時間的に一定であることを示している。

この式が鉄鉄石層の還元速度計算に利用できるか否かについて、児玉氏他⁴⁾ は学振の塊鉄鉄石還元実験 (標準接触時間約 0.15 sec) によりほぼ成立すると述べている。

(2) 式と本実験の関係を明確にするため、(2) 式を R について解き、微分して t を消去すると

$$dR/dt = C(1-R)^{3/2} \dots\dots\dots (3) \quad C: \text{const.}$$

を得る。 CO_2 を含まぬ CO による還元で、流量一定の場合は dR/dt は $CO_2/(CO+CO_2)$ に比例するので $CO_2/(CO+CO_2) \propto (1-R)^{3/2}$

となり、すなわちガス利用率曲線は $3/2$ 乗曲線となる。

前報¹⁾ の多くのガス利用率曲線のうち、焼結鉄では $3/2$ 乗曲線を示すのは接触時間で 0.2 秒以下で還元率 0 における $CO_2/(CO+CO_2)$ が $FeO-Fe$ の平衡値 31.5% 以下のもので、それ以上になるとかなり曲線の形が異なってくる。赤鉄鉄⁵⁾ についてもほぼ同様だが還元率の低い点でのズレは焼結鉄より大となる。Magnetite では $3/2$ 乗曲線のように上に convex でなく concave な形を示し近似な曲線は示さない。

接触時間が増大し、1 sec 近くになると Fig. 3~5 のごとく完全にくずれてしまう。これは鉄鉄石層の還元では、ガス利用率が高くなるため、律速条件が鉄石内のガス拡散からガスの平衡条件に移行するためと考えられる。

また別の表示式

$$R = 1 - l^{-kt}$$

からは

$$dR/dt = K(1-R)$$

が得られガス利用率曲線は $R=1$ (還元率 100%) の点を通る直線となり、さらに実験曲線よりズレてくる。

V. 結 言

1) N_2+CO 混合ガスによる還元では接触時間とガス流速を一定に保てば、 CO 濃度に変化しても同一のガス利用率曲線を示す。

2) Magnetite においても $CO_2/(CO+CO_2) = Al^{-kD}$ の関係は満足され、粒径による影響は Hematite より大きい。

3) Magnetite においては Fe_3O_4 の還元が Fe の拡散により助長されるためか、平衡階段よりのズレがみられる。

4) $r_0 d_0 [1 - (1-R)^{1/3}] = kt$ の式を広く鉄鉄石層還元に適用することはできず、ガス平衡値を考慮に入れる必要がある。

文 献

- 1) 相馬胤和: 鉄と鋼, 49 (1963) 11, p. 1645

- 2) J. O. EDSTROM & G. BITSIANES: Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 203 (1955), p. 760
- 3) W. M. MCKEWAN: Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 212 (1958), p. 791
- 4) 児玉惟孝他: 鉄と鋼, 47 (1961) 3, p. 270
- 5) 相馬胤和: 鉄と鋼, 48 (1962) 3, p. 377

(35) キャスタブル耐火物吹付による高炉改修について

三栄鉄工

安武正幸・佐藤勝美・小方利栄・○森田治男

The Repair of Blast Furnace with Castable Gunning.

Masayuki YASUTAKE, Katsumi SATO, Toshie OGATA and Haruo MORITA.

I. 緒 言

三栄鉄工第4次高炉は鑄物用銑専用高炉として順調な操業を続けてきたが、昭和37年11月下旬、シャフト部煉瓦の脱落事故が起り、これがさらに発達する状況にあつたため急拠改修を行なうこととした。直ちに修理を開始し、しかも極めて短期間に改修を行なう必要があるためボッシュ以上の全ライニングにわが国では最初のキャストブル吹付を行なうこととした。12月11日吹卸、12月25日火入を行ない、方針決定より吹卸まで6日間、改修期間14日間の短期間で工事を完了した。

II. 改 修 工 程

工期は極めて短期間のため、各作業は原則として1日24時間作業を行なつた。極めて困難な工程ではあつたが改修期間中大した災害もなく、予定通り12月25日火入を行なつた。工程表をTable 1に示す。

III. キャスタブル耐火物の品質

キャストブル耐火物の製造および吹付工事は米国GR

Table 1. Time schedule of castable gunning.

Item	Date	Dec. 19	20	21	22	23	24	25
Gunning preparation		■						
Gunning for bosh & belly		■	■	■				
Gunning for shaft				■	■	■	■	
Water curing		■	■	■	■	■	■	
Scaffolding removal							■	
Carry-out of rebound-loss					■	■	■	
Drying							■	
Filling-up of timber							■	
Filling-up of ore							■	

社と技術提携を行なつた白川白煉瓦(株)が担当し、ボッシュおよびベリー部にブリックキャスト3000、シャフト部にハイストレングスブリックキャストを使用した。このキャストブル耐火物の諸性質をTable 2に示す。

IV. 吹 卸 作 業

今回の吹卸は羽口線以下の煉瓦を全面的に再使用する方針のため、吹止後の注水冷却および内容物掻出作業に特別の注意を払つた。先づ最終出銑は炉底煉瓦の損傷を防ぎ、かつ冷却水による炉底煉瓦の被水を防ぐため、少しの残銑を残す目的で、当初の出銑口より400mm下つた位置で行なつた。炉内容物の冷却用水には水道水を用い、羽口前コークスの状況を観察し、過剰の水を用いないよう注意した。炉内容物掻出はボッシュ部鉄皮を切開き行なつた。吹卸後の炉体ライニングは、ボッシュ部は侵食により約50mmとなり、ベリーおよびシャフト部は脱落により極く一部の煉瓦を残すのみであつた。湯溜部煉瓦は冷却水により相当被水したが、炉底部は残銑により完全に高温に保たれていた。キャストブル吹付に際し、シャフト部およびボッシュ部煉瓦は全く信頼できない物であつたので、羽口煉瓦以上の全ライニングを全部取除いた。

V. キャスタブル吹付作業

- (1) 準備作業 キャスタブル耐火物に接する面と

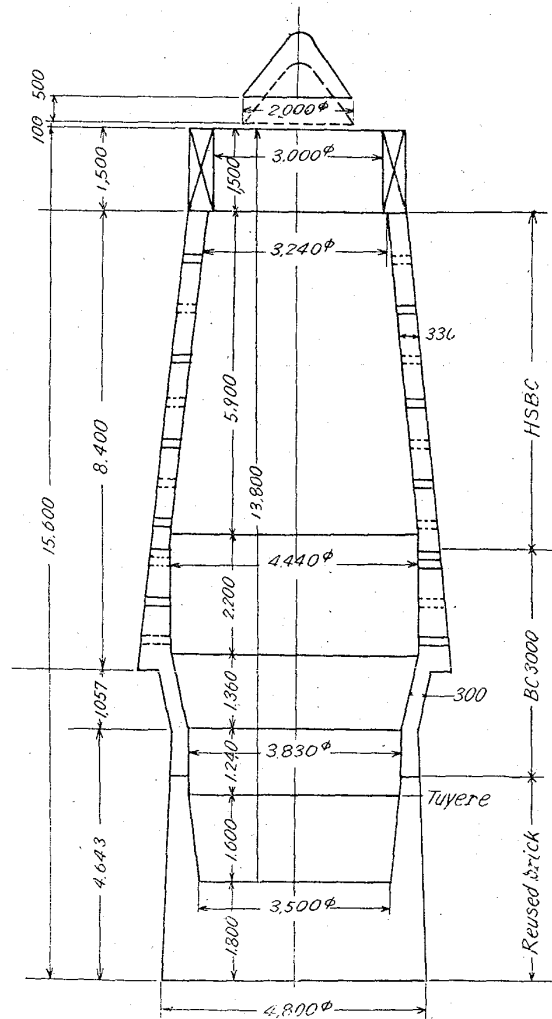


Fig. 1. Profile of the 5th blast furnace.