

燃焼量を増加し traveling time を早める方法を採るのが最良だと考えられる。

なお、当所の重油吹込量は 50 kg / p.t 前後と比較的少いが現在まで吹込設備および高炉付帯設備におけるトラブルは発生していない。しかし 60 kg / p.t 以上の多量吹込を実施する場合には、重油の完全燃焼などが問題になると思われるので、多量吹込時の操業諸元と共に、更に検討を加える考えである。

IV. 結 言

当所 No.2 B.F. における重油吹込操業実績を検討した結果次のことが言えると思う。

- 1. 重油吹込量の増加に従って出銹量、コークス比共に低下する傾向にある。
- 2. 重油吹込操業時において、出銹量の増加を目的とする場合には、送風圧力の許す範囲内で増風または、酸素富化を行う方法が良さそうである。
- 3. 重油吹込による付帯設備のトラブルは現在の所、発生していない。
- 4. 今後は重油多量吹込方法の検討と、その場合の操業諸元とについて、更に詳細な検討をする考えである。

669.162.26 = 662.749.2.012.23

(18) 溶鉄炉操業におけるコークス比についての理論的考察

(溶鉄炉操業の改良に関する研究 - I)

住友金属工業、中央技術研究所 630/8
工博 下川義雄・工博○中谷文忠・向井哲也

Theoretical Consideration on Coke Ratio of the Blast Furnace Operation.

(Studies for the improvement in blast furnace practice - I)

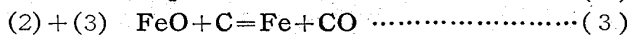
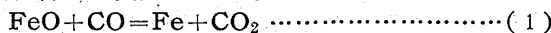
Dr. Yoshio SHIMOKAWA, 316~319
Dr. Fumitada NAKATANI and Tetsuya MUKAI.

I. 緒 言

特に我が国においては溶鉄炉操業におけるコークス比低減について非常な努力を傾注し、現時の近代的溶鉄炉においては 500~550 kg / t pig で安定操業を行い得るようになった。このコークス比に対する理論的取扱いについては従来数個の論文が発表されているが何れも完全とはいえず従って著者などは以下述べるごとく平衡論的考察および熱 balance の面より溶鉄炉が理想的に操業せられたときの極限のコークス比についての理論的解析を行い以て溶鉄炉操業改良の一助としたい。

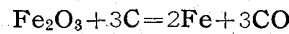
II. 直接還元と間接還元

酸化鉄を金属鉄まで還元させる場合 CO ガスにより酸化鉄中の酸素を奪う還元反応を間接還元と称し、固体炭素によつての還元反応を直接還元と称する。なおこの他に直接還元には、間接還元といわれる carbon solution 反応を組合せた次式によるものがある。例えば

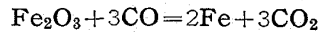


すなわち (3) 式は文字通りの直接還元と全く同じものであり、従って溶鉄炉内で起つた直接還元を文字通りの

直接還元と carbon solution による直接還元とに区別して示すことは現在の所できないようである。また間接還元には関分気相には容量変化はないが、直接還元の場合には反応の前後に容量の変化があり、また thermo chemical data より見ると間接還元は発熱、直接還元は吸熱である。



ΔH₂₉₈ = 116,000 cal (4)

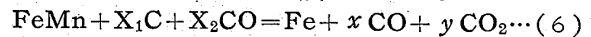


ΔH₂₉₈ = -7750 cal (5)

直接還元の際は (3) 式より、C 1 gram atom について鉄石中の O₂ を 1 gram atom 奪うことができるが、間接還元の際には気相の平衡組成のために CO 1 mol (CO 1 mol は C 1 gram atom の燃焼にて生ず) について鉄石中の O₂ を 1 gram atom 奪い得ずこれよりも小である。ゆえに carbon balance のみより見れば直接還元の方がコークス比が少くて良いことになる。しかしながら (4) 式に示すように直接還元は非常な吸熱反応であり、従って直接還元割合が増加してくればこの吸熱反応に見合う熱量および溶融鉄、溶融滓までに要する顕熱の和に相等する寸コークスを羽口前で燃焼させねばならない。従つてもし直接還元割合を増加させればこの羽口前の燃焼に要する carbon 量が増大しコークス比としては上昇する可能性があり、他方間接還元率を増加させれば平衡論的に見た carbon balance に要する C 量が順次増大し結果としては、コークス比が上昇する可能性がある。従つてもし操業条件が一定ならば当然所要コークス量を最低ならしめる最適の直接還元率、間接還元率の割合が決定せられるはずである。

III. Carbon balance より見た Carbon ratio (Coke ratio)

溶鉄炉内においては次式が成立している。



児玉惟孝らによれば直接還元率 D.R. 所要 carbon 量は (7) (8) 式および (9) 式で示される。

D.R. = X₁ / n(y + x - X₂) / n
= (y + x - X₂) / (2y + x - X₂) (7)

ここで

y / x = CO₂ / CO = b, X₂ = an とおけば (7) 式は

D.R. = (b + 1 - ab) / (2b + 1) (8)

また所要 carbon 量 gram atom / gram atom

Fe = X₁ + X₂ = n(D.R. + a) (9)

(6)~(9) 式は児玉の提出せられた式であるがこれらを少し変形し炉頂 gas 比 CO / CO₂ = γ とすれば b = 1 / γ となり

D.R. = (1 + γ - a) / 2γ (10)

a = (1 - D.R.) γ + (1 - 2 · D.R.) (11)

X₁ + X₂ = n{(1 - D.R.) γ + (1 - D.R.)} (12)

= n(1 + γ)(1 - D.R.) (13)

ここで鉄石を純 Fe₂O₃ とし、すなわち n = 1.5 として (12) 式に従つて所要 C 量を計算し、この値を C kg / t pig に換算し、この値を縦軸にとり横軸に炉頂 gas 比 γ をとつて図示したものが Fig. 1 の方射状の直線群であり、また (13) 式に従つて γ = 一定のときの所要 C 量と直接還元率との関係を図示したものが Fig. 2 の直線群

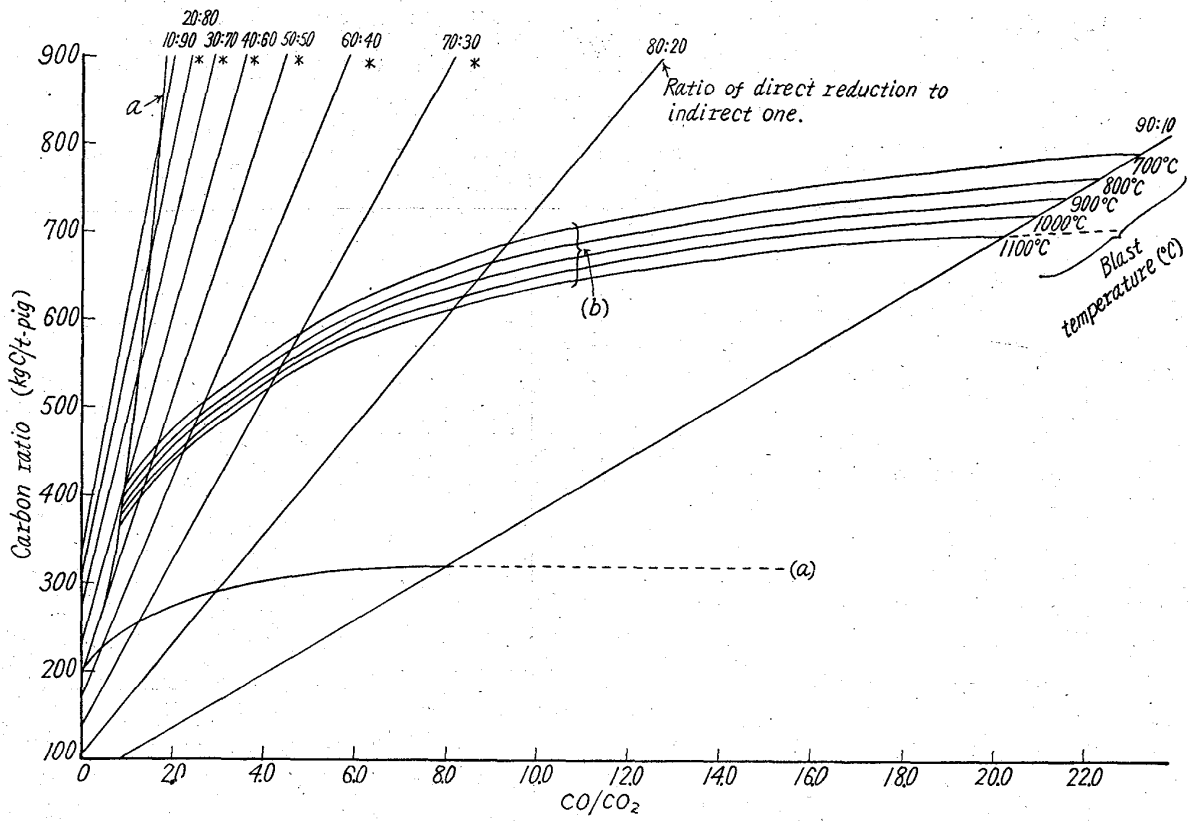


Fig. 1. Relation between top gas composition (CO/CO₂) and carbon ratio in the constant direct reduction.

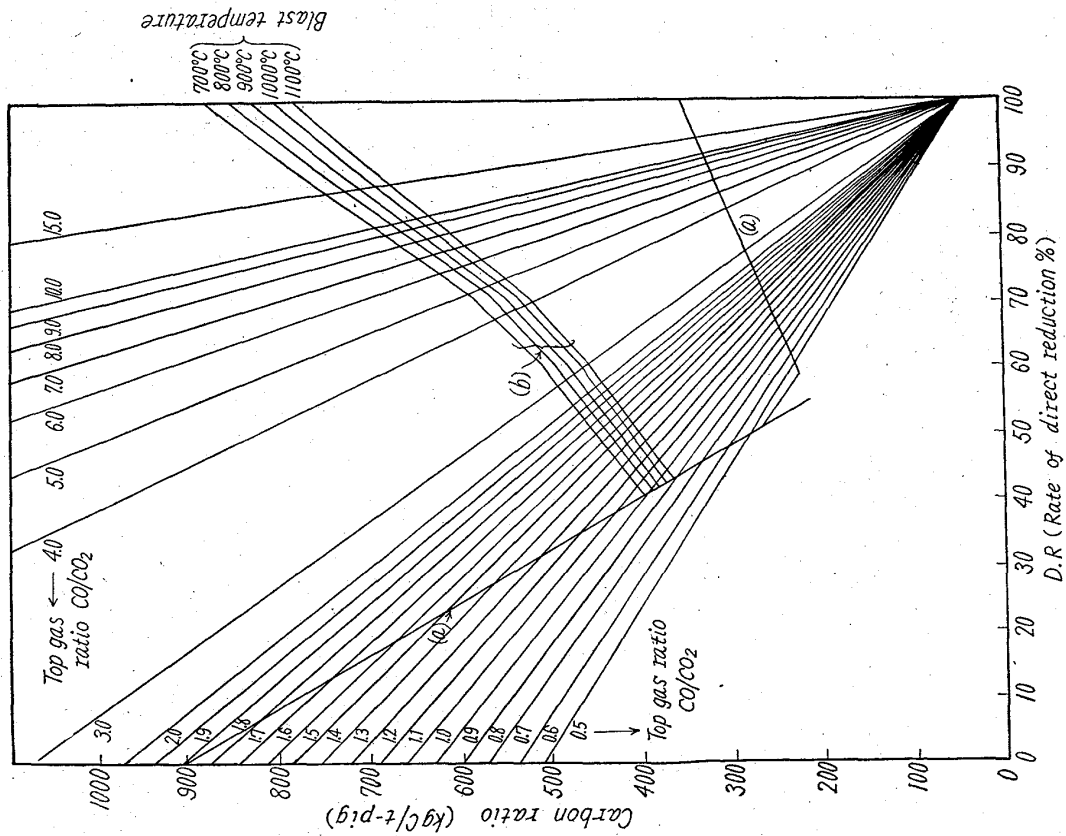


Fig. 2. Relation between direct reduction and consumed carbon (carbon ratio) in the constant top gas composition.

Table 1. Relation between direct reduction rate and consumed carbon and top gas ratio (CO/CO₂) at the case that indirect reduction takes place in equilibrium.

Direct reduction rate	Reaction	Consumed carbon (g/g pig)	CO volume by direct reduction (l)	CO ₂ volume	CO volume required for indirect reduction	Top gas rate (CO/CO ₂)
100%D.R.	Direct reduction	b [0.3080]	0.5746	0		
	Indirect reduction { — } Sum.	0.3530	0.5746		0	
90%D.R.	Direct reduction	b [0.2772]	0.5172			
	Indirect reduction { Fe ₂ O ₃ →Fe ₂ O _{3x} } Sum.	0.3222	0.5172	0.0575	0	7.997
80%D.R.	Direct reduction	b [0.2464]	0.4597			
	Indirect reduction { Fe ₃ O ₄ →Fe ₃ O _{4x} } reduction { Fe ₂ O ₃ →Fe ₃ O ₄ } Sum.	0.2914	0.4597	0.0511 0.0639 0.1150	0	2.998
70%D.R.	Direct reduction	b [0.2157]	0.4023			
	Indirect reduction { W _{max} →W _x } reduction { Fe ₃ O ₄ →W _{max} } reduction { Fe ₂ O ₃ →Fe ₃ O ₄ } Sum.	0.2607	0.4023	0.0345 0.0741 0.0639 0.1725	0	1.332
60%D.R.	Direct reduction	b [0.1848]	0.3448			
	Indirect reduction { W _{min} →FeO _x } reduction { W _{max} →W _{min} } reduction { Fe ₂ O ₃ →W _{max} } Sum.	0.2298	0.3448	0.0494 0.0448 0.1380 0.2322	0	0.486
50%D.R.	Direct reduction	0.1540	0.2873			
	Indirect reduction { W _{min} →FeO _x } reduction { Fe ₂ O ₃ →W _{min} } Sum.	0.0743 b [0.2283] 0.2733	0.4258	0.1047 0.1827 0.2874	(0.0743) 0.1385	0.481
40%D.R.	Direct reduction	0.1232	0.2299			
	Indirect reduction { W _{min} →FeO _x } reduction { Fe ₂ O ₃ →W _{min} } Sum.	0.2305 b [0.3537] 0.3987	0.6599	0.1622 0.1827 0.3449	(0.2305) 0.4300	0.963
30%D.R.	Direct reduction	0.0924	0.1724			
	Indirect reduction { W _{min} →FeO _x } reduction { Fe ₂ O ₃ →W _{min} } Sum.	0.3864 b [0.4788] 0.5238	0.8932	0.2197 0.1827 0.4024	(0.3864) 0.7208	1.219
20%D.R.	Direct reduction	0.0616	0.1149			
	Indirect reduction { W _{min} →FeO _x } reduction { Fe ₂ O ₃ →W _{min} } Sum.	0.5425 b [0.0641] 0.6491	1.1269	0.2772 0.1827 0.4599	(0.5425) 1.0120	1.450
10%D.R.	Direct reduction	0.0308	0.0575			
	Indirect reduction { W _{min} →FeO _x } reduction { Fe ₂ O ₃ →W _{min} } Sum.	0.6986 b [0.7294] 0.7744	13.607	0.3347 0.1827 0.5174	(0.6986) (1.3032)	1.630
0%D.R.	Direct reduction	0	0			
	Indirect reduction { W _{min} →Fe } reduction { Fe ₂ O ₃ →W _{min} } Sum.	b [0.8543] 0.8993	1.5943	0.3922 0.1827 0.5746	(0.8543) 1.5943	1.773

Note; The values in b[] show the carbon quantity consumed in mass balanced in the equilibrium. In the first column, summation (sum.) represent the total carbon quantity acted for reducing reagent and absorbed into pig iron, in the second one, the total CO quantity generated from the carbon in b[], and in the fourth one, the CO gas to be supplied to the indirect reduction (I. R.), which is the difference of CO for I. R. and that generated from direct reduction (D. R.). The values in () are the carbon amount in CO to be supplied for I. R. The term of subscript *x* represents the medium composition in phase diagram of Fe-O system, i. e., Fe₂O_{3x} in Fe₂O₃-Fe₃O₄, W_x (wüstite) in wüstite phase, W_{max} (wüstite with maximum O), W_{min} (wüstite with minimum O) and FeO_x in W_{min} (or stoichiometric FeO)-Fe.

である。これらの直線上の各点は単に carbon balance の点のみより導いたものであるから、この直線上の何れの点においても操業が可能でなく、当然間接還元における気相の平衡値および熱的要求の両者より制約をうけることになる。

IV. 間接還元を平衡論的に取り扱った時の Carbon ratio (coke ratio)

鉄酸化物の各相間における平衡 gas 組成は温度によって異り高温と低温では所要 CO gas 量に差があるが本論文においてはつぎのごとき温度でそれぞれの還元反応が行われるものと仮定した。すなわち $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$ の反応は間接還元では $800^\circ C$ で終始し、直接還元では $1000^\circ C$ で起る、 $Fe_3O_4 \rightarrow wüstite_{max}$ は間接、直接還元とも $1000^\circ C$ 、 $wüstite$ 相内の還元は間接、直接とも $1100^\circ C$ 、 $wüstite_{min} \rightarrow Fe$ は同じく $1400^\circ C$ で行われるものとして計算した。これらの計算結果を Table 1 に示す。この結果を縦軸に C 量、横軸に炉頂 gas 比 γ をとり図示したものが Fig. 1 の a で示される曲線であり、同じく縦軸に C 量をとって横軸に直接還元率をとって図示したものが Fig. 2 の a で示される折直線である。

V. 熱 Balance 的見地よりの考察

前節で計算した間接還元に必要な CO 量より直接還元で発生した CO 量を減じたものは羽口前で carbon の燃焼で生じたものでこの際の発熱量が鉄石→溶鉄までの全必要熱量を満足させねばならない。従つてもしこの熱量に不足があれば更に羽口前で C を燃焼させることが必要となる。簡単のため、溶鉄炉の熱損失を無視し、純 Fe_2O_3 のみよりなる理想的な操業を仮定し、直接還元率を 100%…0% まで 10% 刻みで、反応熱、加熱に要する熱量溶解に要する熱量の合計を計算し（紙面の都合上その方法は略す）図示したものが Fig. 1 および 2 の b の線群に示したものである。

従つて溶鉄炉において理論的に操業が可能なのは Fig. 1 および 2 に示した直線あるいは曲線 a および b の何れよりも上方の部分で示される領域となり、もつとも理想の場合として a, b の曲線あるいは直線の交点で示される直接還元率、炉頂 gas 比でもつて図に示すごときコークス比となることを示している。

VI. 結 言

鉄石は純 Fe_2O_3 より成るとし、酸化鉄の各相の還元温度を適当に仮定して、平衡論的および熱 balance の両面よりコークス比についての理論的解析を行つた結果つぎの結論を得た。

i) 溶鉄炉の操業条件が一定ならばコークス比を最小ならしめる直接還元率、間接還元率の割合が決定せられる。例えば上の仮定で送風温度を $1000^\circ C$ とすると直接還元率約 42% の所に carbon ratio 最小の点があり、その時の炉頂 gas は約 0.84 になる。

ii) 送風温度が上昇すると、このコークス比最小の点は直接還元率が多くなる方に移動する (Fig. 1 および 2 参照)

iii) 通常の溶鉄炉操業においては、もし炉頂 gas 比を一定に保ち得るならば操業が許す限り、直接還元を増加させる方がコークス比が減少し、逆にもし直接還元の割合が一定ならば炉頂 gas 比をできるだけ低くした方が

コークス比は低下する。

542.941.16 22,341.1=622,341.1
(19) 鉄鉱石・焼結鉄の高温還元に関する研究

(溶鉄炉操業の改良に関する研究—II)

住友金属工業、中央技術研究所

工博 下川義雄・工博○中谷文忠・向井哲也

Reduction of Iron Ores and Sinter in
High Temperature Range. 63019

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

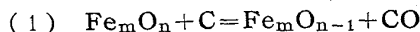
Dr. Yoshio SHIMOKAWA, Dr. Fumitada NAKATANI
and Tetsuya MUKAI.

I. 目的および緒言

従来、鉄鉱石、焼結鉄の被還元性測定法は学振54委制定の塊状および粒状鉄石の還元試験法、あるいはリンダーの回転試験法に準拠し、いずれも $900^\circ C$ でコークス（あるいは炭素）と共存しない還元ガス ($70\%N_2+30\%CO$) で行われている。しかし、高炉内の鉄石は常にコークスと共存しかつ炉腹下部、朝顔および炉床部はこの還元試験温度より遙かに高温に達しており、装入鉄石は $900^\circ C$ 付近では未だ 30% 程度の還元状況と推定されている。従つて上記試験法は必ずしも高炉操業の実状に適切といひ難い。われわれは高炉下部の高温帯におけるコークス共存の鉄石を想定し、鉄石の軟化点以上での固体炭素による直接還元の有様を調査しさらに還元性ガスにより直接還元および間接還元の行われる程度と炭素（コークス）消費量の関係を知ろうと志した。

II. 実験装置および操作

実験装置の系統図を Fig. 1 に示す。Fig. 2 に示す反応管は 10 kVA のエレマ堅型炉で加熱され内装される黒鉛ルッポ部が均一温度帯となるような高アルミナ製の管である。ルッポは黒鉛製の格子上に鉄石あるいは焼結鉄を装置し中央を貫通する黒鉛管に清浄純 N_2 または CO ガスを送入し該鉄石層を通つて上昇せしめるようになつている。還元測定は



の反応におけるガス相の容積変化に着目し、反応管前後の差圧流量計による流量測定とマイクロオルザット分析装置による CO ガス、 CO_2 ガス分析により行われた。なおソリューション反応は定義により直接還元であり、測定も固体炭素の直接還元とは分離されなかつた。直接還元、間接還元の評価は排出ガスの分析により行われた。実験の測定精度は均一温度帯 $\pm 5^\circ C$ 内、差圧流量計 1 目盛は流量約 3cc/mn に相当する故ガスの流入出差が例えば 10cc/mn 程度ですすでに確実に検知できる。これに相当する鉄石の酸素減量は $1.2502 \times 16/28 \times 10 = 7.144$ mg で学振塊状還元試験の最少酸素減量感度 500mg と較べ極めて高精度といえる。

実験経過は以上の装置により大別次の 2 種が行われた。