

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 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ の反応は間接還元では 800°C で終始し、直接還元では 1000°C で起る、 $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{wüstite}_{\text{max}}$ は間接、直接還元とも 1000°C 、 wüstite 相内の還元は間接、直接とも 1100°C 、 $\text{wüstite}_{\text{min}} \rightarrow \text{Fe}$ は同じく 1400°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°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 比は約 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)

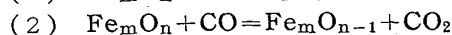
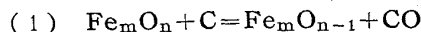
Dr. Yoshio SHIMOKAWA, Dr. Fumitada NAKATANI and Tetsuya MUKAI.

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°C でコークス (あるいは炭素) と共存しない還元ガス ($70\%\text{N}_2 + 30\%\text{CO}$) 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°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 $\pm 5^\circ\text{C}$ 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 $1.2502 \times 16/28 \times 10 = 7.144 \text{ mg}$ 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。

実験(i) 固体炭素と鉄石の反応: 非還元性のN₂ガスを流しルッポ, ガス送入管, 格子の黒鉛炭素で還元する.

実験(ii) 炭素共存下のCOガス還元: COガスを流しこれと(i)と同様黒鉛炭素によつて還元する. 供試試料は Table 1. (i)(ii) のものを用いた. 純酸化ペレットは化学用純硫酸アンモンを空气中で焙焼して得た.

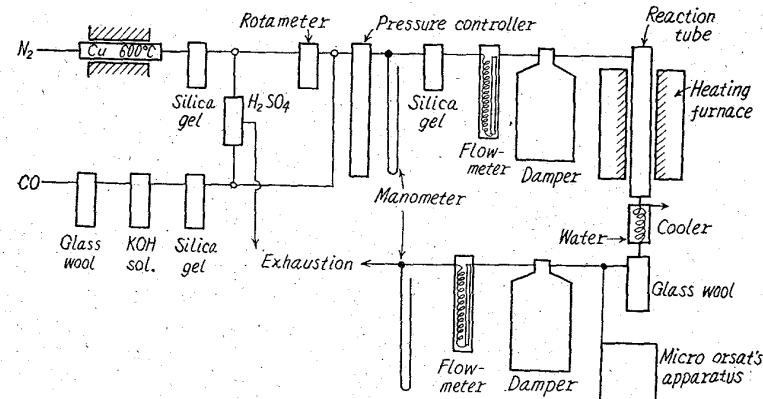


Fig. 1. Experimental apparatus.

III. 実験結果

(i) 固体炭素と鉄鉄石の反応

上掲(i)の試料について N₂ ガス約 1000cc/mn を流し一定の昇温速度で所定最高温度1400°C, 1300°C, 1200°C へ加熱し以後該温度に保持し還元反応が終了して流入出ガス量差がなくなるまで実験を継続した. 測定は 1mn 毎, 分析は 5mn 毎に行い還元率表示は(奪われた酸素量/原鉄中の酸素量)×100% で示す. 還元反応は文字通りの固体炭素の直接還元と発生 CO による間接還元で生じた CO₂ のソリューション

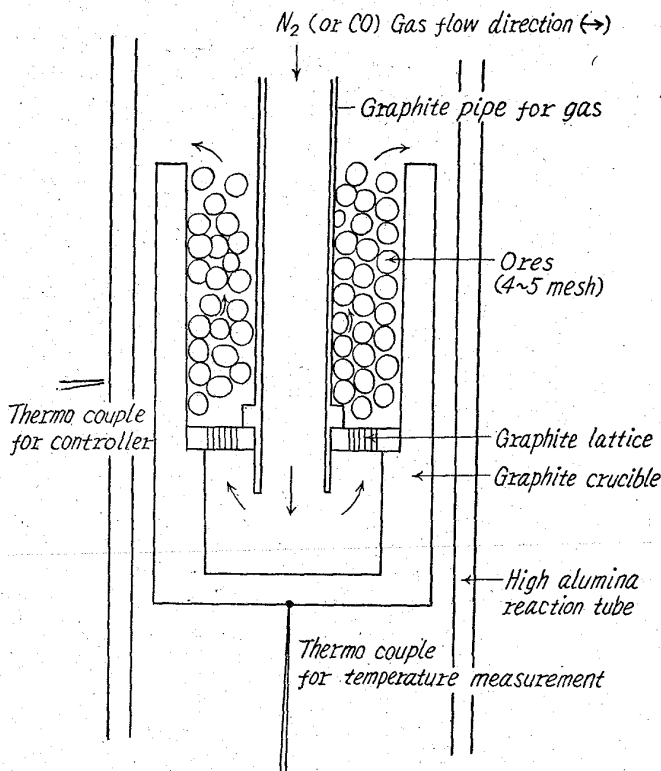


Fig. 2. Schematic figure of the crucible in reaction-tube.

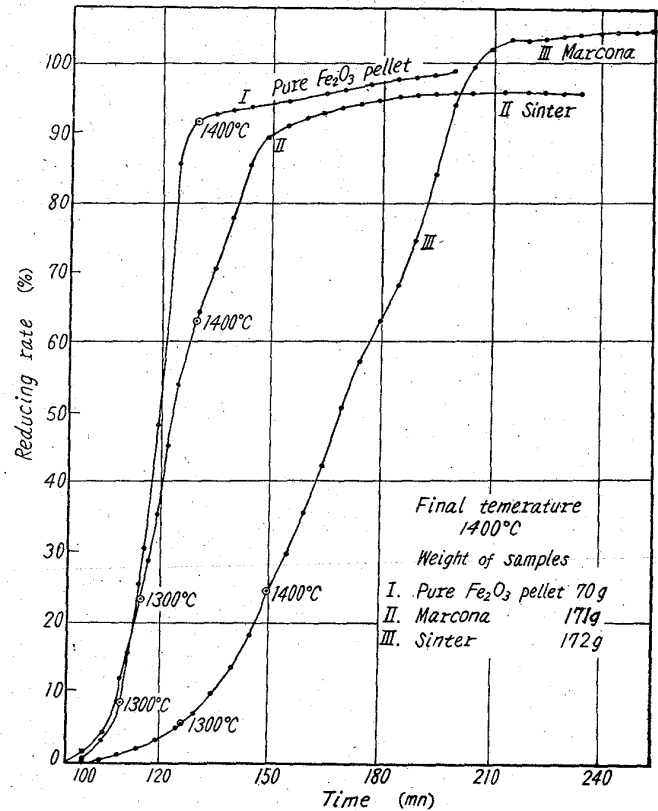


Fig. 3. Reducibilities on direct reduction in experiment (i)

Table 1. Chemical analysis of sample in the experiment (i) & (ii)

Experiment	Contents										
	Ores	T. Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mn	P	S	Cu
Experiment (i)	Marcona	59.83	6.98	77.78	6.49	0.89	1.42	0.16	0.052	0.202	0.06
	Sinter	59.59	11.38	68.26	6.25	2.41	8.06	0.35	0.047	0.034	0.05
	Pure Fe ₂ O ₃ pellet	69.94	—	99.98	—	—	—	—	—	—	—
Exp. (ii)	Sinter	56.59	11.38	68.26	6.25	2.41	8.06	0.35	0.047	0.034	0.05
	Marcona	59.83	6.98	77.78	6.49	0.89	1.42	0.16	0.052	0.202	0.06
	Acari	59.25	17.38	65.40	7.22	0.90	3.07	0.08	0.178	0.025	0.01
	Cominex	64.45	8.63	82.54	4.02	0.68	0.91	0.11	0.215	0.051	0.04

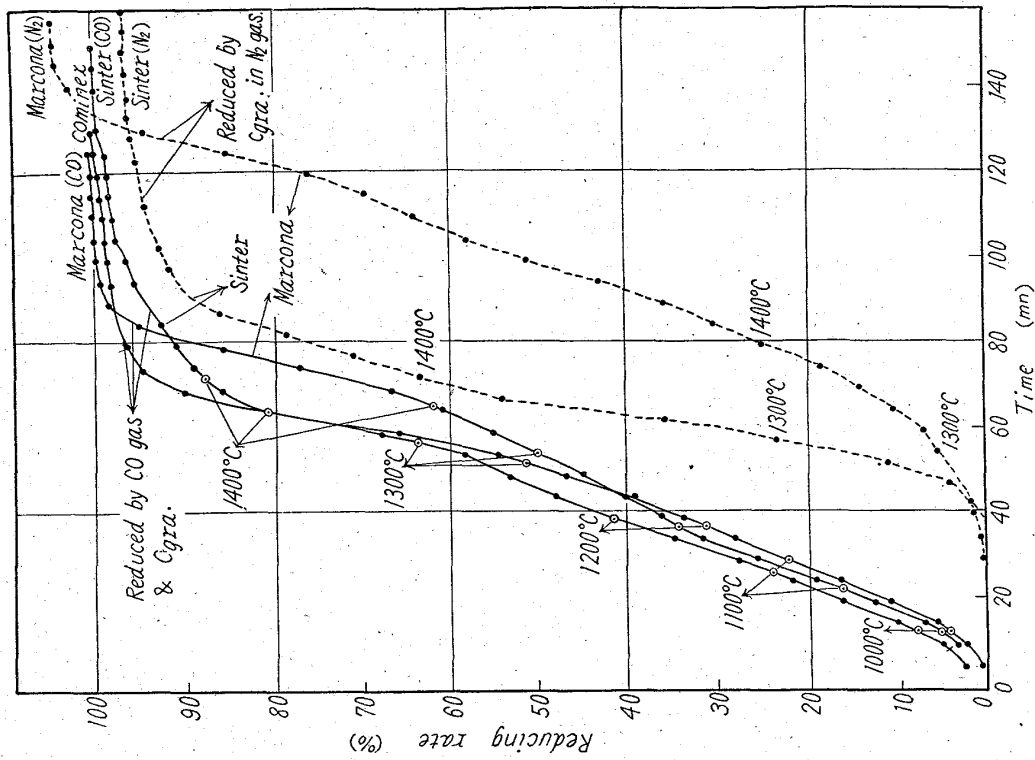


Fig. 4. Reducibilities of each ore at high temperature range.
Total reducing rate of sinter, Marcona & Cominex of weight of sample in 160g.

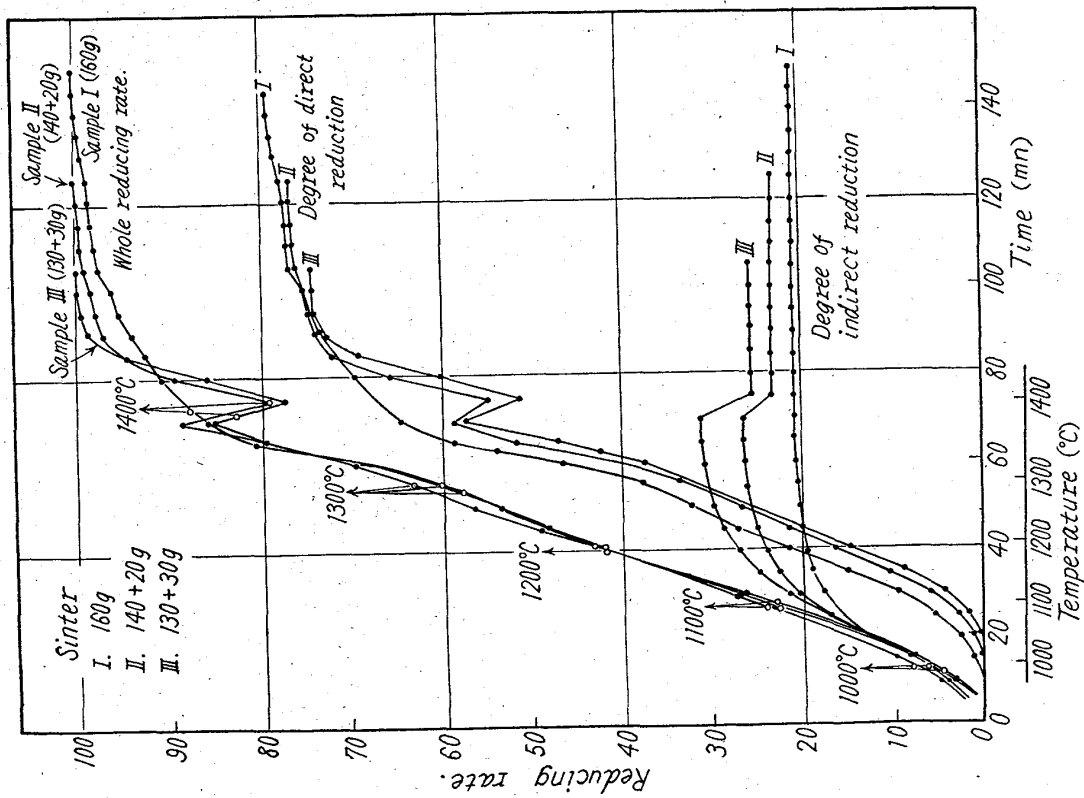


Fig. 5. Relation between degree of direct and indirect reductions to the whole reduction rate on sinter.

Table 2. Amount of carbon consumed in direct reduction of 100g Fe.

	Observed quantities in exp. (i)	Calculated quantities
Pure Fe ₂ O ₃ pellet	35.1 (g C/100g Fe)	32.17
Sinter	31.5 (g C/100g Fe)	30.46
Marcona	28.1 (g C/100g Fe)	31.17

ン反応による直接還元のみである。Fig. 3は結果の一例である。Fig. 3に明かなごとく純酸化鉄ペレット、焼結鉱、マルコナの順に被還元性が低下し 1400°C 一定に保持すればいずれも最終的 100% に還元を達成する。所要炭素量は被還元性の遅速に関係なく単位酸素減量につき一定の炭素量を消費した。

また Fig. 3 で還元は 900°C, 1000°C で実際的に殆んど観察されず、1200°C に開始点がある。この温度は軟化試験の開始点マルコナ(1150°C), 焼結鉱(1100°C) より可成高い所である。

ii) 炭素共存下の CO ガス還元

実験(i)と同じ装置で 900°C まで N₂ ガスを流し 900°C で CO ガスに切換え 1400°C に到つて一定に保持する。結果の一例を Fig. 4 に示す。還元速度の優位性は実験(i)と同様であるが差は明白でない。また還元率は低温で(i)と(ii)の相違大である。次に試料鉱石を(I) 160g, (II) 140g + 20g, (III) 130g + 30g に分割し (I)(II)の 20g, 30g は 1400°C に到達して格子の下へ投入できるような実験を行い Fig. 5 はこれを示す。これは Table 2 の結果から、還元性の遅速にかかわらず消費炭素に関し直接還元が極めて有利であり、高温部への鉱石投入が直接還元率と消費炭素量におよぼす効果を調査する必要から行われた実験である。以上の実験は高温域の直接還元は消費炭素の低減に極めて重大な役割を果すことを示すものである。

IV. 結 言

従来の被還元性試験法は高炉の実情に沿うとはいいい難く直接還元の挙動は重要な因子である。直接還元増大の一方として高炉羽口あるいは補助羽口よりの鉱石投入は熱補償によりコークス比低下を採すと考えられる。固体炭素による直接還元は 1200°C 以上で行われ、ほぼ理論計算値の炭素を消費する。本実験のごとき条件では 65~80% が直接還元、20~35% が間接還元されるにもかかわらず消費炭素は間接還元の方が大である。また 1400°C の高温域で投入された鉱石は直接還元の増大および炭素消費を低減せしめる効果を有した。

622,341,11-492=669,162,26
(20) 小型溶鉱炉による砂鉄使用の研究

八幡製鉄所技術研究所

工博○児玉惟孝・重見彰利・緒方年満

Use of Iron Sand in a Small Blast Furnace.

Dr. Koretaka KODAMA, Akitoshi SHIGEMI, and Toshimitsu OGATA.

I. 緒 言 322~324

著者らは前に砂鉄の使用法を 3t 試験高炉を使用して炉内現象を徹底的に測定して研究した。その結果砂鉄を多量に使用すると炉内で部分的に Ti 含有量の多い鉄を生ずる。この鉄は出鉄の際にも充分炉外に流出しないで炉内に残留し、そのため出滓前に炉内の溶鉄層が出滓口水準より高くなり出滓時に溶鉄が流出して順調な操業が困難になることを確認した。そして Ti 含有量の多い鉄が炉内に残留する原因を検討して溶鉄の粘性におよぼす Ti の影響を測定して Ti が増加するにつれて溶鉄の粘性が増加することを認めた。また鉄滓は Ti 2.5% までは TiO₂ として入るも影響はないことが分つた。その結果炉内に部分的に生じた Ti の多い鉄は粘性の増加によつて炉内に残留すると推定した。そして次のような故障排除法を見出した。溶鉄炉の出鉄前に炉内の溶鉄層に粉鉄鉱石を高圧空気で添加して Ti を酸化し滓化すれば高温塩基性の順調な操業を継続できる。そしてこの方法は特許登録された。昭和36年6月にこの研究結果を工業化する1段階として帝国製鉄安浦工場の溶鉄炉(内容積 50m³) を使用して 52 日間砂鉄の使用試験を実施した。

- ① Compressed air tank
- ② Compressed air valve
- ③ Connection pipe
- ④ Connection hose
- ⑤ Connection pipe
- ⑥ Inclined tuyere
- ⑦ Tank outlet valve
- ⑧ Hot blast valve
- ⑨ Tuyere valve
- ⑩ Thrust hammer

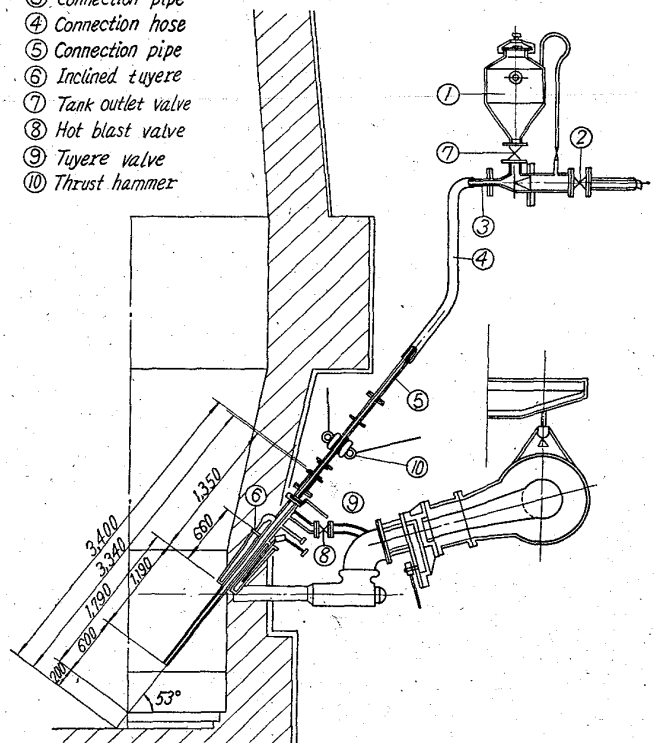


Fig. 1. Details of apparatus.