

(22) 還元進行過程の調査

(小型高炉による製鉄過程に関する
基礎研究—I)

東京大学工学部

○大蔵 明光・F. P. カルデロン

工博 松下 幸雄

Investigations of Ore Reduction Processes.

(Basic study on iron making by a miniature blast furnace—I)

Akimitsu ŌKURA, F. P. CALDERON
and Dr. Yukio MATSUSHITA.

1. 緒 言

高炉による鉄鉱石の還元が現在においてもなおその経済的有利性のために他の製鉄法の追従を許さないのが現状である。しかし高炉内の反応状況は長い歴史を経過した現在でも完全な把握が行なわれず、平衡論、熱力学的データによる推察が多い。そこで近年は机上による還元反応結果をもとに高炉内反応を把握することに努力がはられ、また、小型(約 1 t~3 t)高炉から直接に試料を採取し高炉内反応の解明に努力がはられている。

著者らは水素ガス、一酸化炭素などをもちいて流動層還元、また、熱天秤装置による鉱石、人工ペレットなどの机上還元実験、およびそれらの速度論的解析、また還元反応にともなう物理的、化学的因子の追究に関する研究をおこなってきた。そこで小型シャフト炉を製作し炉内での鉱石がどのような還元反応過程を経て鉄鉄となるかを調べる 目的で 実験をおこなったのでここに報告する。

2. 実験装置および試料

著者らは、大型高炉と比較した場合の問題点を明確にするために、一般にもちいられる処の相似律を考慮し、最も重要と考えられる炉内反応に重点をおき、化学的

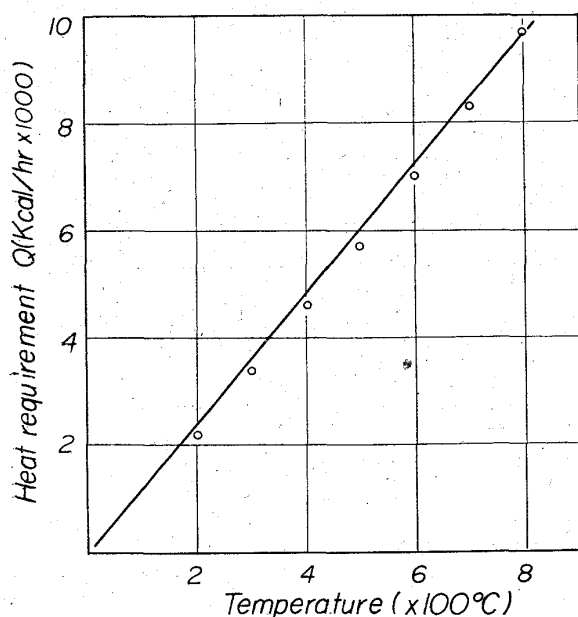


Fig. 1. Heat required for preheating blast.
($V=0.6 \text{ Nm}^3/\text{min}$)

似律¹⁾を考え比較してみると次のごとくなる。

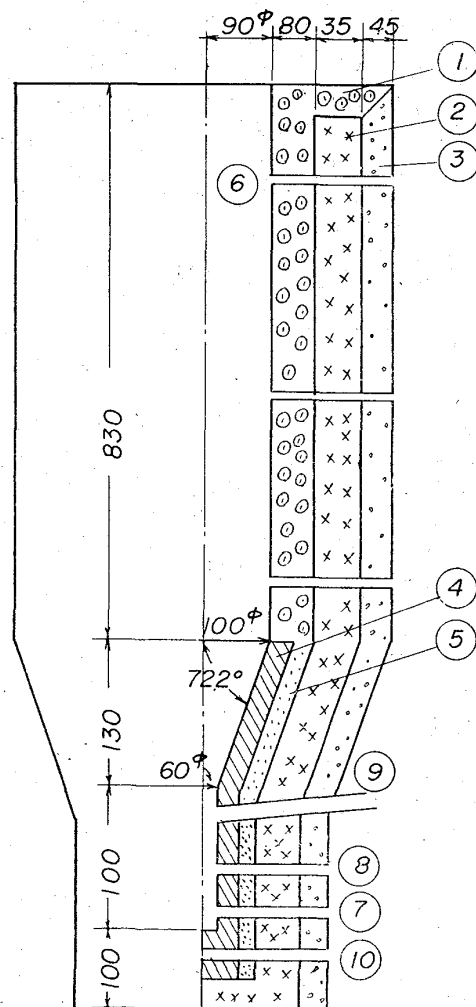
	大型炉	相似値	小型炉
内容積 (V) m^3	775	0.025	0.025
線次元 ($L=\sqrt[3]{V}$)	31.5	1	1
L^2	1.000	1	1
L^3	31.500	1	1
送風量 (q_v) Nm^3/min	1.200	0.038	0.6
コークス量 kg/hr	30.000	0.95	15

著者らの炉においては送風量が非常に大きくなっているがこれは外界あるいは他の方法によつて強力な熱補償の期待できない炉においては、必然的に多量のコークスを燃焼させる結果となり、必要風量も増大せざるを得ない。中村信夫博士は、化学相似律について相似のためのスケール方程式を提出している

$$\tilde{V} = \tilde{L} \dots \dots \dots (1)$$

$$\tilde{H} = \tilde{L} \dots \dots \dots (2)$$

$$\tilde{q}_v = \tilde{L}^3 (\because q_v/L^3 = V) \dots \dots \dots (3)$$



- ① Kōkan cast
- ② Kōkan light cast 13
- ③ Kōkan light cast 10
- ④ Kōkan plaster 37
- ⑤ Kōkan cast 15
- ⑥ Temperature measurement
- ⑦ Tap hole
- ⑧ Natch hole
- ⑨ Tryeres
- ⑩ Silicon carbide rod hole

Fig. 2. Profile of the miniature blast furnace.

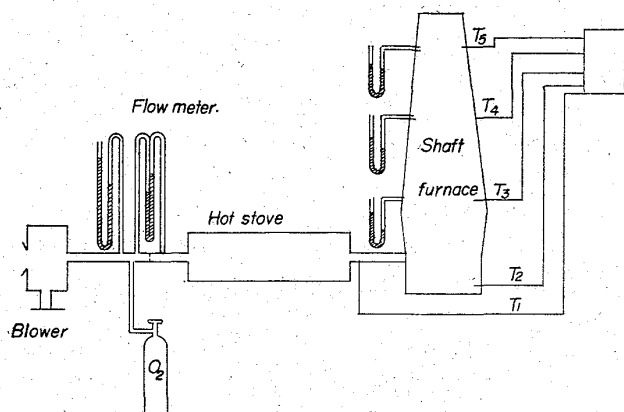


Fig. 3. Flow sheet of the miniature blast furnace.

Table 1. Blast velocity at tuyers.(m/min)

$V \text{ m}^3/\text{min}$	$t \text{ } ^\circ\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700
0.4		29	37	45	52	60	68	96
0.6		43	55	67	78	90	102	113
0.8		57	73	89	105	120	136	151
1.0		72	92	111	131	150	170	189

Table 2. Chemical composition of used ores.

T-Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	S
56.69	8.84	5.42	2.06	9.67	1.02	0.26	0.026

$$\tilde{j} = \tilde{L}^3 = \tilde{V} (\because j = H_w L^2) \dots \dots \dots (4)$$

V = 速度 H = 熱移動速度 L = 線次元

q_v = 送風量 j = 単位時間当りの全壁損(熱量)

V = 反応炉内容積

H_w = 単位時間, 単位面積あたりの壁損(熱量)

これらのスケール式で著者らの如く小型炉の場合は, すなわち, 過剰送風による過剰コークスの燃焼熱で壁損熱量を補う場合には, $\tilde{q}_v = \tilde{L}^2$ まで送風増加が可能であるとしている. さらに炉頂ガス中の CO/CO_2 が大型炉のそれに近い値となるためには,

$$\tilde{q}_v = \tilde{L}^{2+x} \quad x = 0.5 \sim 0.8 \dots \dots \dots (5)$$

となるとしているが, 著者らの場合は $\tilde{q}_v = \tilde{L}^{2.2}$ となり許容範囲におさまっていると考えられる.

以上の点を考慮しいくつかの因子を仮定し炉の設計についての熱精算をおこない築炉をおこなった.

2.1 送風機

型式 T-B-TI-2-fh

風 圧 800mmHg ($\approx 800 \text{ kg/m}^2$)

風 量 $5 \text{ m}^3/\text{min}$

回転数 3000 R. P. M.

軸馬力 3.7 kW (5 HP)

2.2 熱風炉

熱風炉の外側は鉄板を使用し内張りレンガは, $\lambda = 0.31$ [kcal/m·hr·deg] 最高使用温度 1500°C で熱源としては, シリコニット発熱体を持ちいた. 28本のシリコニットより加熱をおこなう. この熱風炉は $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ の空

気を加熱するのに必要な供給電力を提供しなければならない. そこで Fig. 1 に示すような熱量カーブを計算した.

2.3 シヤス炉

試験炉は, 内部の試料採取を容易ならしめることと, 試験後の解体修理を容易ならしめるためにシャフト部分を開閉できるように製作した. 炉内容積は, 0.025 m^3 で Fig. 2 に示すごとき構造をもっている. 炉材としては ①コーカンキャスター 14 (シャモット質) ②コーカンライトキャスター 13 (シャモット質) ③コーカンライトキャスター 10 (パーミキュライト質) ④コーカンプラス 37 (高アルミナ質) ⑤コーカンキャスター 15 (シャモット質) なお構造として ⑥炉内壁の温度および炉内圧力を測定する穴(6個) ⑦出鉄口 ⑧出滓口 ⑨羽口(4個) ⑩炉底加熱用シリコニット以上のような炉である. Fig. 3 に系統図を示す. 圧力測定系統として, P_1, P_2, P_3, P_4 を設定し炉内での棚吊り位置の検出, ストックラインのレベルを知るを目的とした. 温度測定系統としては, T_1 熱風炉出口の温度測定用, T_2 湯溜りの温度測定, T_3, T_4, T_5 は炉内の状況を知るためのものである. なお送風温度と羽口での風速を Table 1 に示す.

2.4 試 料

実験に使用した鉱石, コークス石灰石の組成は Table 2 のごとくである.

コークスは, F. C. 88.1%, S 0.54%, 石灰石は SiO_2 3.98%, Al_2O_3 0.45, CaO 48.10, MgO 2.62 のものである.

3. 実験結果と考察

小型炉を操業し, 一応定常状態(熱的に安定した状態)になった後送風を停止し, そのままの状態で冷却し炉内の還元状況を調べた. しかし冷却時に N_2, Ar などの不活性ガスを使用せず炉冷をおこなったので, 送風停止時の状態がそのまま保持されたかどうかの点については疑問が残るが, 若干還元が進行した状態であると仮定をしシャフトにそつての還元率, 金属鉄の生成状況, 特にボッシュ以上, すなわち燃焼帯までに鉄鉱石から金属鉄

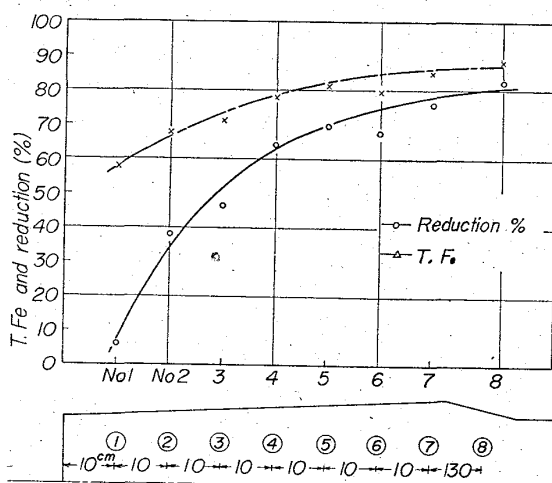


Fig. 4. Total Fe and reduction degree of samples taken from various furnace levels.

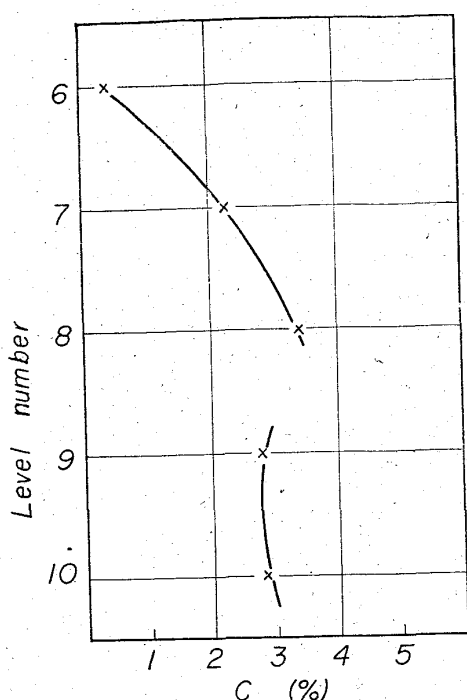


Fig. 5. Carbon content of samples.

がどの程度生成し、また FeO 、 Fe_3O_4 がどの程度残るかに注目し、X線解析、化学分析をおこない検討を加えた。また顕微鏡による組織解析も併せておこなった。炉内の試料採取位置と還元率との関係を Fig. 4 にしめしたが、X線解析からは、No. 1 の試料では Fe_3O_4 が極めて強く、No. 2 の試料において Fe_3O_4 、 FeO の両者が強く、若干 $\text{M}\cdot\text{Fe}$ の存在するのが解析された。漸次還元が進行し、ボッシュ上部約 10cm の箇所での No. 7 試料では Fe_3O_4 の存在は認められず、 FeO の若干と $\text{M}\cdot\text{Fe}$ のみとなることがわかった。化学分析による、 $\text{T}\cdot\text{Fe}$ の変化、 $\text{M}\cdot\text{Fe}\cdot\text{Fe}^{2+}$ の変化からみて、ボッシュ上部に鉱石が到達するまでに、 Fe^{2+} が若干残るのみではほとんどが還元される傾向がうかがえる。採取試料の外観は、No. 1～No. 4 試料までは、ほとんど外形に変化がないが、No. 5 から鉱石と鉱石とが互いに融着し、No. 7 にみられる現象は、雀部高雄教授が指摘しているごとく、融着した粒子自身が鈴状の金属鉄を形成し、その内部に形成された金属鉄が滴下する過程がよく観察された。No. 8 の試料では、粒鉄ができ、鈴状の殻のみがコークス、 CaO と存在した。なおシャフトにそつての試料について浸炭状況、また粒鉄内の Si の成分変化もあわせて検討した、 C については、Fig. 5 にしめすごとくボッシュレベルで 3% 前後の値をしめしそれ以後は湯溜りでの吸炭と考えられる。これらからみて還元鉄の浸炭は No. 6 にみられるごとく 1400°C 近傍の温度では極めてかんまんであり固体での浸炭は約 0.5% 位であることがわかった。炉内温度が 0.5% 炭素での融点、すなわち、1500°C 前後に到った領域から粒状の溶鉄ができ、その溶鉄球がコークスの間を滴下しつつ急激に吸炭がおこなわれる。著者らの炉では、出滓、出鉄に酸素を使用するので No. 8 以下の炭素が減少している。 Si の変化については、No. 7 以下では漸次増加し、銑鉄中には約

0.45% 含有されていた。

4. 考 察

炉が非常に小型であり操作が困難であつたが、一応初期の炉内での還元状況を把握することができたので操作結果をまとめると、

- 1) シャフト部分での鉱石の還元過程においては Fe_3O_4 、 FeO 、 Fe の各成分が長い範囲にわたつて共存する。
- 2) 粒鉄が生成する過程では、鉱石は空洞の外皮と粒状の鉄とに分離する。
- 3) 銑鉄の浸炭は固体のままではわずかであり、粒状の溶鉄になってから急激に進行する。
- 4) シリコンは、溶鉄ができてから鉄中に入ると考えられる。

以上、炉内における結果をまとめたものであるが、今後は、鉱石の降下速度と反応速度とを考慮した実験を行なう予定である。

文 献

- 1) 中村信夫：日立評論，40 (1958) 12, p. 1508

(23) 炭素析出におよぼす添加酸化物の影響

名古屋工業大学

○平 尾 次 郎

Effect of Various Oxide in Iron Oxide on the Carbon Deposition.

Jirō HIRAO.

1. 緒 言

鉄鉱石を CO を主成分とするガスで低温還元を行なう場合にみられる炭素析出現象については、すでに数多くの文献がある。著者は先に^{1)~4)} CO-H_2 混合ガスによる試薬三酸化鉄の還元およびそれに伴う炭素析出についての研究を、ガス分析法、熱天秤法、X線解析法などの実験手段によつて行なつてきた。従来、金属鉄、鉄の氧化物、諸金属、金属炭化物などの析出作用についての触媒的効果の研究報告はみられるが、酸化鉄中に含有される酸化物の個々の析出におよぼす影響についての報告は少ないように思われるので、基礎的な実験資料を得る目的で、前研究に引き続いて、純粋な酸化鉄に Al_2O_3 、 CaO 、 TiO_2 、 SnO_2 、 PbO などの酸化物を添加して作製した焼成酸化鉄を試料として、混合ガスによる還元と析出の実験を試みたので、その結果について報告する。

2. 試 料

試薬特級 Fe_2O_3 の 100~200 メッシュの粉末に、試薬特級ないし一級の純度の酸化物の同じく 100~200 メッシュの粉末を添加した。酸化物は Al_2O_3 、 CaO 、 Cr_2O_3 、 CuO 、 MgO 、 MnO_2 、 TiO_2 、 ZnO_2 、 SnO_2 、 PbO を使用した。添加量を 5% (重量) とし、よく混合しさらに約 10% の純水を加えて再び混合して、約 5 g を 2 t/cm² の圧力の下に円筒型に成型し 24hr 放置して後に、各塊が十分に空気に触れ得るようにして 1100°C に 30min 間加熱して焼成物を得た。焼結塊は砕いてその 10~20 メッシュの大きさの粒子を試料とした。このような試料