

第71回(春季)講演大会講演論文集(I)*

第1会場(ペレット:原料・焼結・その他)

669,181,422; 622,341,12

(1) バッチ式回転炉による鉄鉱石の還元について

金属材料技術研究所

工博○田中 稔・尾沢正也・下崎雅彦

On the Reduction of Iron Ore by a Batch Type Rotary Kiln.

Dr. Minoru TANAKA, Masaya OZAWA and Masahiko SIMOZAKI.

1. 緒 言

製鉄、製鋼用原料としての海綿鉄を製造する直接還元法において回転炉による還元法はR-N¹⁾法、S-L²⁾法、Electrokemisk³⁾法、ACAR⁴⁾法、など多くの方法が報告されている。回転炉還元において鉄鉱石、ペレットの還元速度におよぼす主要因子としてはつぎのものが考えられる。鉱石、還元剤の銘柄および粒度、鉱石と還元剤の混合比、装入物温度、炉内滞留時間、装入物の深さ、回転数、炉内雰囲気、装入物の偏析、混合度、還元過程における安息角、粉化率の変化などである。しかるにこれらの諸要因の還元速度におよぼす影響について明確でない点が多い。ここにおいてわれわれはこれらの諸点を明らかにし、連続式回転炉における適正な操業条件をうることを目的として、バッチ式回転炉を使用して工業炉にできるだけ近似した条件において実験することとした。

バッチ式回転炉は連続式回転炉に比して装入原料の横方向の移動がない点が相違するが、その他の点においては連続炉に近似させることができ、非常に操業しやすい利点を有している。ここにおいてわれわれは回転炉還元において重要である装入原料のベッド深さをなるべく大きくとりうるごとく考慮して1200mmφ(内径)×600mm(巾)の炉を使用した。以上のごとく本実験の目的は回転炉還元における還元速度におよぼす要因の検討にあつたのでまず比較的問題点の少ない印度産赤鉄鉱とコークスを使用した。したがって海綿鉄の使用目的を製鋼原料として海綿鉄の磁選実験を行なつた。また海綿鉄の再酸化についても検討したのでここに報告する。

2. 実験試料

鉄鉱石は印度産赤鉄鉱を5~15mmに整粒して使用した。また還元剤としては同じく5~15mmに整粒したコークスを使用した。鉄鉱石の化学分析、コークスの工業分析結果をTable 1に示す。

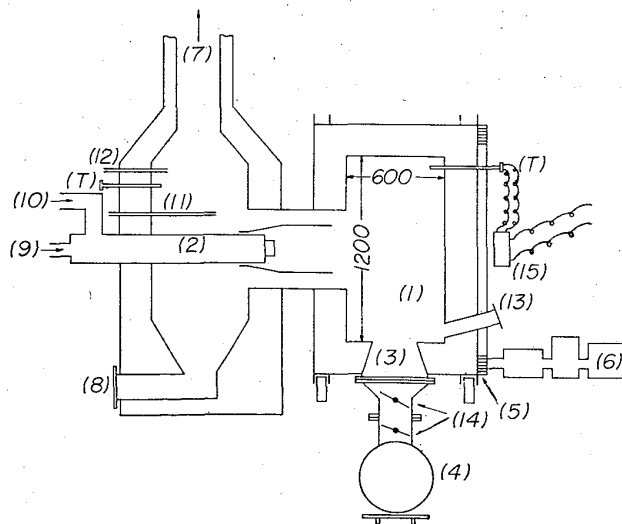
3. 実験装置

バッチ式回転炉の概要をFig. 1に示す。炉は内径1200mm、長さ600mmでシリコ煉瓦でライニングをした。この炉は原料の装入、排出口、サンプル採取口、温度測定口、排ガス出口を有する。炉体は4コのローラで支え、鉄皮の片側にギヤをつけて5馬力のモータで回転

する。回転数は無段変速機により0.75~3.0r.p.m.の範囲で可変である。排ガス出口側にはダストの捕収室を設け純プロパンバーナを取りつけた。またここに温度測定口、排ガスサンプル採取口、炉内圧測定口を設けた。バーナはノズルミックス式でガス使用量は0~9m³/hr、空気は0~300m³/hrである。空気過剰率は0.7~1.5まで可変できる。炉内圧力は排風機により制御し、炉内温度は一定のプログラムにより自動制御する。回転炉の下方に400mmφ×2000mmのステンレス製の冷却炉を設け、回転炉内の海綿鉄、コークスを酸化させることなく冷却炉で水冷できるようにした。回転炉内温度は回転しながら測定するため、バーナの火焰の影響をうけて装入原料より高くなるので、ときどき回転をとめて装入物の温度を測定した。

Table 1. Chemical analysis of India iron ore and proximate analysis of coke.

	T. Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	P	S
Iron ore (%)	65.36	2.26	2.04	0.12	0.032	0.01
	Ash	V. M.	S	F. C.		
Coke (%)	10.5	1.6	0.5	87.9		



- (1) Rotary kiln
- (2) Burner
- (3) Charge or discharge hole of ore and coke
- (4) Cooler
- (5) Gear for revolution
- (6) Motor (5 HP)
- (7) Waste gas outlet
- (8) Dust discharge hole
- (9) Pure propane inlet
- (10) Air inlet
- (11) Gas sampling pipe
- (12) Pressure measurement hole
- (13) Ore sampling hole
- (14) Damper
- (15) Slip ring
- (T) Thermo-couple

Fig. 1. Batch type rotary kiln.

* 講演論文原稿受付日: 昭和40年11月15日

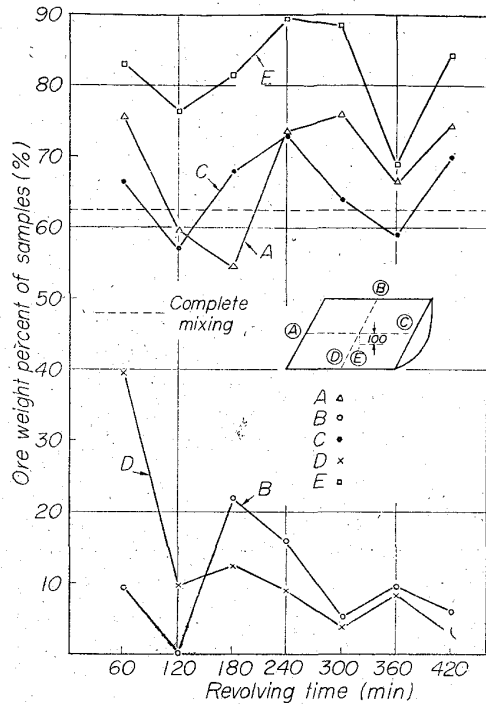


Fig. 2. Relation between ore weight percent of samples and revolving time at 1 r.p.m..

4. 実験方法および結果

4.1 鉄石とコークスとの混合度と時間の関係

回転炉還元において還元剤と鉄石の混合の良否が重要であるので回転炉の各部分における鉄石の割合と時間との関係をみた。5~15 mm の鉄石とコークスを coke/ore=0.6 の割合でよく混合した後、回転炉に入れ 60 min 毎に炉内5カ所からサンプルをとり、鉄石の濃度変化をしらべた。サンプル採取位置および回転数 1 r.p.m. における実験結果を Fig. 2 に示した。この図からわかることは炉の回転軸に近い点、すなわち A, C, E 点は完全混合鉄石濃度 62.5% に近い値、あるいはこれより高い値を示めすが、B, D 点のごとき回転軸から離れた点においてはコークスの割合が大きくなる。この傾向は回転時間 60min において顕著に表われ以後時間の経過とともに変化は少ない。炉内の混合度を標準偏差 σ で示すと 30~40% であつて、混合機としてはよくないが時間と共に悪化することはしない。また回転数を 3 r.p.m. にして実験したが 1 r.p.m. のときと相違は認められなかつた。これらの偏析は鉄石とコークスの安息角の差によるものと思われた。

4.2 還元実験

鉄石とコークスはよく混合して coke/

ore を 0.4, 0.6, 0.8 について、また装入物深さは 150 mm, 250 mm, 350 mm, 回転数は 0.75~3 r.p.m. について実験した。温度プログラムは R-N 法, S-L 法のごとき型の回転炉を考慮して決定した。最高温度はリングの心配のない 1100°C とし、還元率は 90% 以上を目標とした。従つて 1100°C までの昇温時間 210 min, 1100°C に保持時間 210 min と一定にした。炉内雰囲気は空気過剰率を 0.75~1.2 に変化させて実験を行なつた。鉄石の還元率は酸化法によつて求めた。

4.2.1 還元速度におよぼす装入原料深さの影響

回転炉における固体還元剤による還元は堆積層中において全層にわたり行なわれるから、還元速度は装入鉄石

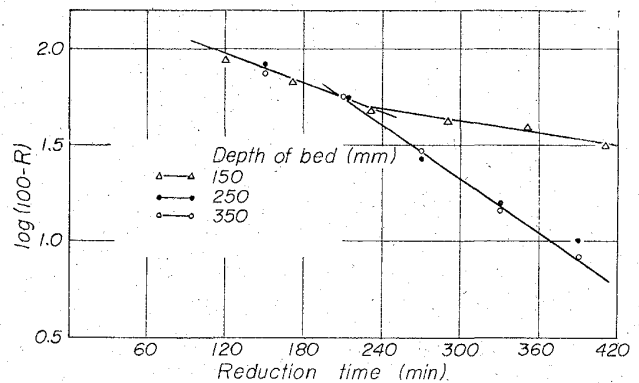


Fig. 3. Relation between $\log(100-R)$ and reduction time in coke/ore ratio of 0.8.

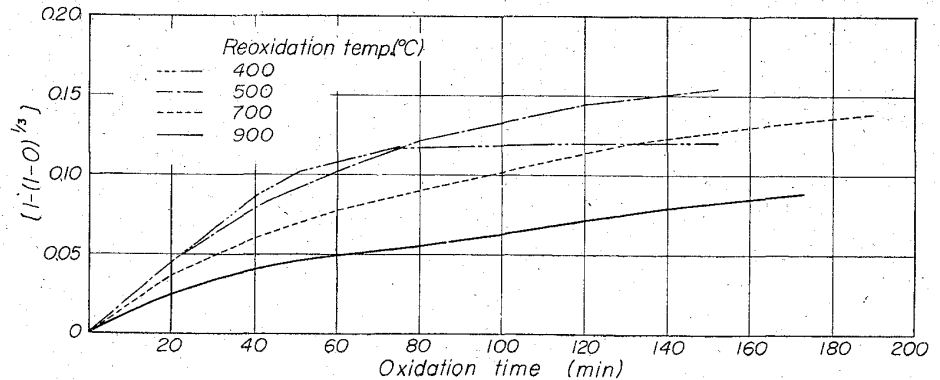


Fig. 4. Relation between $[1-(1-O)^{1/3}]$ and t .

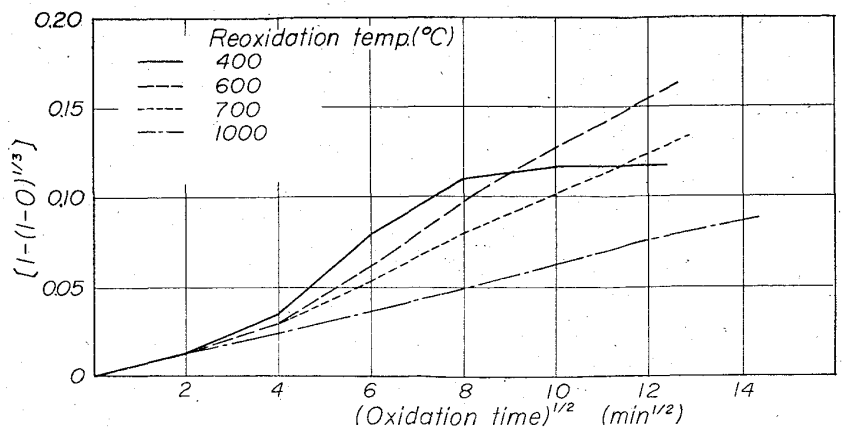


Fig. 5. Relation between $[1-(1-O)^{1/3}]$ and $t^{1/2}$.

の含有酸素について近似的に一次反応で行なわれると考
え、還元率 R とし $\log(100-R)$ と還元時間 t の関係をプ
ロットすると Fig. 3 に示すごとくなる。この図から還
元は 1100°C までの昇温期間と 1100°C 保持期間の 2 段
階に分けられるが、一次反応としての直線関係を満足す
る。この図から $\text{coke/ore}=0.8$ のとき還元率 45% 程
度まではベッドの深さに関係なく還元速度は同じである
が、還元率が高くなるとベッド深さ 150 mm のとき反
応速度は低下する。これらの直線の傾斜から見掛けの反
応速度定数を求めると、昇温期間では $K=2.44 \times 10^{-3}$
 min^{-1} 、定温還元期間においてはベッド深さ 150 mm で
は $3.57 \times 10^{-3} \text{min}^{-1}$ 、250, 350 mm では 10.5×10^{-3}
 min^{-1} であつた。この結果回転炉還元においては本実験
条件の場合 250 mm 以上のベッド深さが必要であること
がわかつた。

4.2.2 還元速度におよぼす coke/ore の影響

前の実験においてベッド深さ 250 mm が必要であるこ
とがわかつたので、これを 250 mm 一定とし、 coke/ore
を $0.4 \sim 0.8$ に変化させて実験した。この場合も一次反
応の条件を満足したので見掛けの反応速度定数を求め
た。この対数と coke/ore の対数の間には直線関係があ
ることから $K \propto (\text{coke/ore})^{1.2}$ なる関係がえられた。

4.2.3 還元速度におよぼす回転数の影響

以上の実験はすべて 1 r.p.m. で行なつたが回転数を
 $0.75 \sim 3.0$ r.p.m. に変化させ実験した。ベッド深さは
250 mm, $\text{coke/ore}=0.6$ のとき回転数により K の値は
 $7.0 \sim 8.0 \times 10^{-3} \text{min}^{-1}$ の間で変化し影響は小さかつた。
このことから回転数のこの範囲の増大は堆積層中の CO
の生成を促進し、反応速度を大にするよりは、鉱石、コ
ークスの粉化を増大させることが考えられる。

4.3 海綿鉄の再酸化

海綿鉄はその使用目的および取り扱い上、再酸化につ
いて知っておくことが必要であるので再酸化実験を行な
つた。実験試料は回転炉でつくつた還元率 90% 程度
の 10~15 mm の大きさの海綿鉄を使用した。装置は学振法
の塊状鉱石還元装置を用い乾燥空気による再酸化を行な
つた。試料は 1 回に 200 g を使用し、完全酸化における
重量増に対する比を酸化率とした。空気流量は酸化速度
に影響のない流量として 2l/min で行なつた。従つて充
填層中の個々の粒子はすべて一応乾燥空気によつて同格
に反応すると考えた。

実験の結果、再酸化速度は温度の上昇とともに低下す
るのが認められた。この再酸化の機構をしるために、
fractional thickness すなわち $[1-(1-O)^{1/3}]$ (O : 酸化
率) と t , $[1-(1-O)^{1/3}]$ と \sqrt{t} の関係を Fig. 4, 5
に示した。この 2 つの図から $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ の再酸化にお
いては酸化開始 50 min 程度までは $[1-(1-O)^{1/3}] - t$ が
直線関係を満足するので界面化学反応が律速であり、 900
 $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ においては Fig. 5 のごとく $[1-(1-O)^{1/3}]$
 $-\sqrt{t}$ が直線関係を満足するので固相内の酸素の拡散が
律速であることを示す。このために低温における酸化速
度が大であつたと考えられる。

5. 結 言

(1) 回転炉における鉱石、コークスの混合度をしら
べ回転軸の近くに鉱石が多くなり、時間の経過と共に著

しい変化はなかつた。

(2) 還元において、ベッド深さは 250 mm 以下にな
ると還元速度が低下する。また coke/ore と K との間
に $K \propto (\text{coke/ore})^{1.2}$ なる関係があること、回転数は
 $0.75 \sim 3.0$ r.p.m. において K に影響のないことが分つ
た。

(3) 再酸化において低温の酸化速度が酸化の初期に
おいて高温のときより大であるのは、低温では界面反応
が律速であり高温では拡散が律速であるためと思われ
た。

文 献

- 1) Alex STEWART, et ali.: J. Metals, 10 (1958) 7, p. 460
- 2) J. G. SIBAKIN: Blast Furn. & Steel Plant, 11 (1962) 10, p. 977
- 3) F. C. COLLIN & O. A. GRYLTING: J. Metals, 8 (1956) 10, p. 1464
- 4) T. G. KIRKLAND: Blast Furnace, Coke Oven and Raw Materials Proceedings, 20 (1961), p. 250

669,181,423.: 669,096.5 (2) 流動還元における攪拌による焼 結防止について

金属材料技術研究所

工博○田 中 稔

On the Sintering Prevention by Agitation on
the Fluidized Bed Reduction.

Dr. Minoru TANAKA.

1. 緒 言

流動還元法は粉鉱石の還元に適したすぐれた方法であ
るが、また欠点もある。その 1 つは流動還元中におきる
焼結現象である。この現象がおきると粉鉱は互に凝集し
て還元ガスによつて、これを分散することができなくなり、
ガスは焼結したベッドに生じた割れ目、あるいは空
孔を通過するのみとなり還元速度は低下するのみならず
給鉱、排鉱が不可能となる。B. G. LANGSTON¹⁾ はこの
凝集力は粒子の粘着力と表面積に比例し、運動量に反比
例すると述べて Self-Agglomerating 法が焼結防止に有
効であると報告している。また Otto-STELLING²⁾ は流動
層に振動をあたえる方法、またライムとか石炭のような
物質を添加する方法、 Fe_3C が焼結しにくいことを利用
して焼結を防ぐ方法を報告している。また還元温度が高
いと焼結しやすいので A. M. SQUIRES³⁾ は低温における
加圧水素還元を行なつた。筆者は焼結しやすい粉鉱に砂
鉄を混合することによつて焼結を防ぐとともに、 CH_4 の
クラッキングを促進させる方法について報告⁴⁾ したが、
本報告においては流動層中に簡単な攪拌機を使用するこ
とによつて、非常に焼結しやすい硫酸滓の 20~250 メッ
シの広範囲の粒度分布を有するものを還元率 95% 以上
まで安全に還元することができたのでここに報告する。

2. 実験試料

実験に使用した硫酸滓はヘレシヨフ炉によつて焙焼さ
れたもので粒度分布、化学組成、Fe, S の粒度別分析値