

Table 3. Raduction by low frequency pulsations.

Reduction degree %				
	1	2	Mean	
0 c/min	69.8	69.8	69.8	
4	69.8	64.6	67.2	
16	64.6	64.6	64.6	

Analysis of variance				
Factor	S	ϕ	V	F_0
Frequency	2,704	2	1,352	3.00
Error	1,352	3	451	
Total	4,056	5		

いろいろな種類の鉱石に対して、脈動による還元促進は認められなかつた。これは高周波脈動および低周波脈動いずれの場合も効果がなく、この領域での還元速度は、内部の反応で律速されるためと考えられる。

3) 高炉のシャフト部での流速は、本試験での反応管内流速の5~10倍に相当し、ガス境膜拡散律速の領域をはるかに越えており、従つて脈動によつて境膜を破壊して還元を促進するという効果は期待できない。

4) しかし今回実施した脈動よりもずっと高い周波数や振巾が得られた場合には、その大きなエネルギーによつて酸化鉄の組織が破壊されて還元が促進することもあるかも知れないが、今回は脈動の発生装置の都合で実験を行なわなかつた。

5. 結 言

鉄鉱石の還元の際し、還元ガスに脈動を与えても高炉炉内におけるごと高流速の場合には、効果が現われないが、ガス境膜拡散が律速となつていような低流速の場合には、還元が促進することがわかつた。

文 献

- 1) H. SCHENCK and J. CLOTH: Stahl u. Eisen, 80 (1960), p. 1453
- 2) 児玉, 重見, 東: 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 379

(52) 下降層における鉄鉱石の向流還元について

茨城大学, 工学部 工博○相馬胤和
The Countercurrent Reduction of Iron in a Descending Bed.

Dr. Tanekazu SōMA.

1. 緒 言

鉄鉱石の還元試験は今まで主に固定層について行なわれてきた。しかし高炉シャフトは下降しつつある鉱石を上昇する還元ガスで還元を行なう向流還元層として考えなければ炉内反応を適確にとらえることはできない。

この下降層の還元については児玉氏ら¹⁾²⁾が行なつた

研究があるが、データはまだ十分とはいえない。筆者は5年来主として固定層の還元をガス利用率の点より考察してきた^{3)~7)}。ひきつづき下降層の簡単な装置を組立て、実験を行なつた結果、ガス利用率は(ガス流量/鉱石降下速度)の比とガスの接触時間で決定されることを確認し、あわせて小範囲のデータを得た。これにより高炉シャフトにおける還元速度を考察し、炉内での鉱石降下速度やガス流速のアンバランスのときのガス利用率の低下や、高圧操業時における生産速度なども試算することができるし、高炉での間接還元率やガス利用率に対する新しい考え方も導入できるのでここに報告する。

2. 装置および方法

装置は文献¹⁾⁸⁾を参考にできるだけ簡単にすることを考え、全体図を Fig. 1 に示す。炉は内径 48 mm ϕ × 600 mm の炉心管に上より 100 mm に 300 W, つぎの 100 mm に 300 W, 下部 300 mm に 1 kW のニクロム線を均等に巻き外板との間に保温材をつめた。上部 100 mm の中心を 450°C, 中部 100 mm の中心を 750°C に手で制御し、下部 300 mm の上端を 900°C に自動調節することによりほぼ 300~900°C の直線的温度勾配 (200 mm) を持つ炉を作ることができ。

反応管は内径 27 mm ϕ × 1,300 mm 肉厚 3 mm の 18-8 ステンレス鋼管を使用し上記の炉に入れる。300°C 面(炉上面)に鉱石受台を置き反応管下端のゴム栓を貫通したステンレス棒にて支え、この棒を引上げるにより鉱石を降下させる。反応管上部は 140°C 以上に加熱し水蒸気の凝結をふせぎ、上端のシリコン栓を通して外部で冷却させる。また上端には上を封じたガラス管中にステンレス棒を上下に自由に動き得るようにして鉱石の落

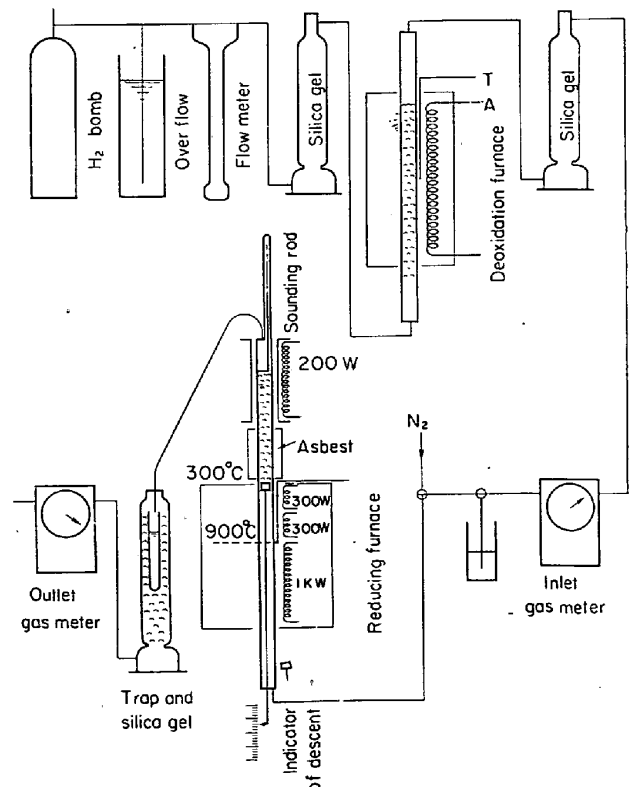


Fig. 1. Experimental apparatus.

下の指示をさせた(検尺棒)。H₂ガスは炉の下端より導入し、上端より出した。

実験方法はまず鉱石受台上に自溶性焼結鉱(別報⁹⁾のBと同じ)4~5mm 450gをのせるとその層厚は約370mmとなる。N₂を通しつつ昇温し規定の温度勾配に調節する。反応管にH₂を規定流量(0.5, 1, 2NI/min)通すとともに2.5minごとに25mmの割で20min間に200mm降下させると、受台は900°C基準面まで到達する。それより規定降下量(5, 10, 20mm)ずつ5minごとに降下させ、その間5minごとに炉前後のH₂流量をガスマーターにより測定をした。

還元により生成したH₂Oはトラップおよびシリカゲルにて吸湿するので、炉前後のH₂の流量の減少が発生したH₂O量と同じになるので⁹⁾、それより5min間における酸素除去量を計算できる。

3. 実験結果および考察

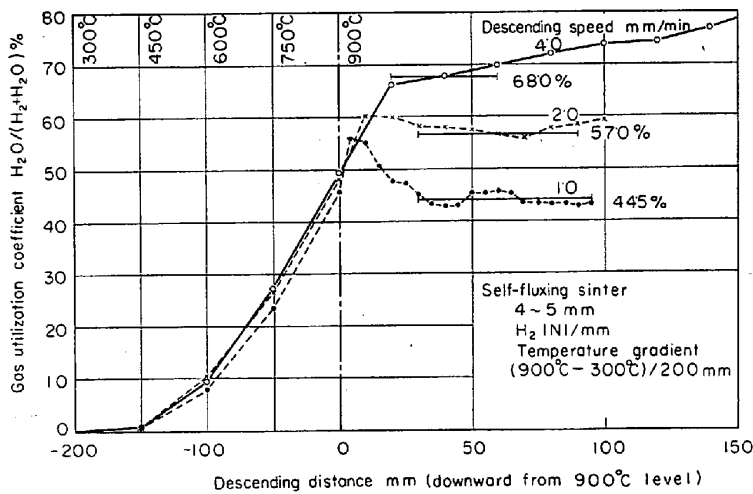


Fig. 2. Influence of descending speed on the gas utilization coefficient.

3.1 定常状態

自溶性焼結鉱 4~5 mm を使用し、降下速度を 5 min ごとに 5, 10, 20 mm ずつ降下させ(1, 2, 4 mm/min), H₂ 流量 1 NI/min にて還元したときの鉱石受台の位置に対するガス利用率の変化を Fig. 2 に示す。

図より降下速度 1, 2 mm/min では降下位置が 900°C 基準面の約 50 mm 以下ではほぼ定常状態が得られる。しかし 4 mm/min では 50 mm 以下となつても定常状態は得られず、漸次上昇の傾向がある。これは 900°C 基準面以下においても未還元部分の還元が進むため、900°C 面における定常還元率の低い場合その影響が大となるためと考えられる。そこで 1, 2 mm/min の定常利用率に対する値として、900°C 基準面の下 20~60 mm における平均の値をもつて代用させた。

300~900°C 向流還元層における定常利用率が決まると次式により定常還元率が計算できる。

$$l \times (450/L) \times 0.2338 \times R = Q \times (16/22.4) \times \eta \dots (1)$$

ここで、*l*: 降下速度 mm/min, *L*: 鉱石 450 g の層厚 mm, *R*: 定常還元率(小数表示), *Q*: H₂ 流量 NI/min, η : 定常ガス利用率(小数表示)で 0.2338 はこの焼結鉱中の還元すべき酸素量の小数表示である。

Fig. 2 の降下速度 1, 2, 4 mm/min における定常利用率 44.5, 57.0, 68.0% より計算すると、定常還元率は 113, 71.2, 42.7% となる。

3.2 定常ガス利用率

定常ガス利用率が(ガス流量/降下速度)により変化することは、物質収支より当然考えられる¹⁾。そこで H₂ 流量 0.5, 1, 2 NI/min, 降下速度 1, 2, 4 mm/min を組合せた 8 通りのデータより、ガス利用率と(ガス流量/降下速度)の関係を Fig. 3 に示す。

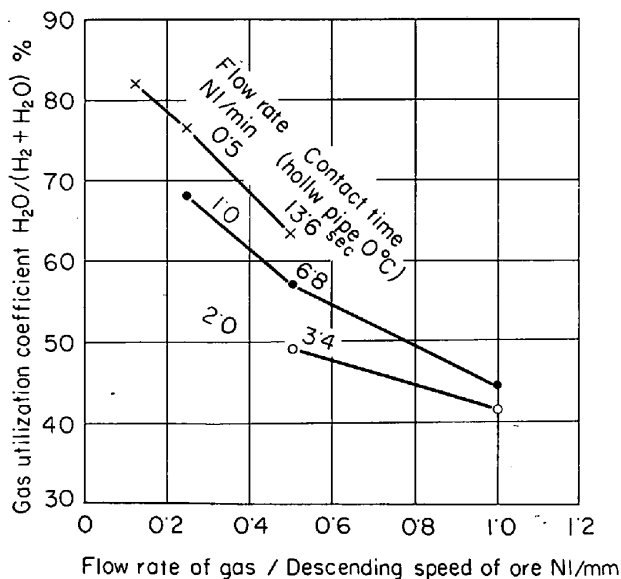


Fig. 3. Influence of contact time on the gas utilization coefficient.

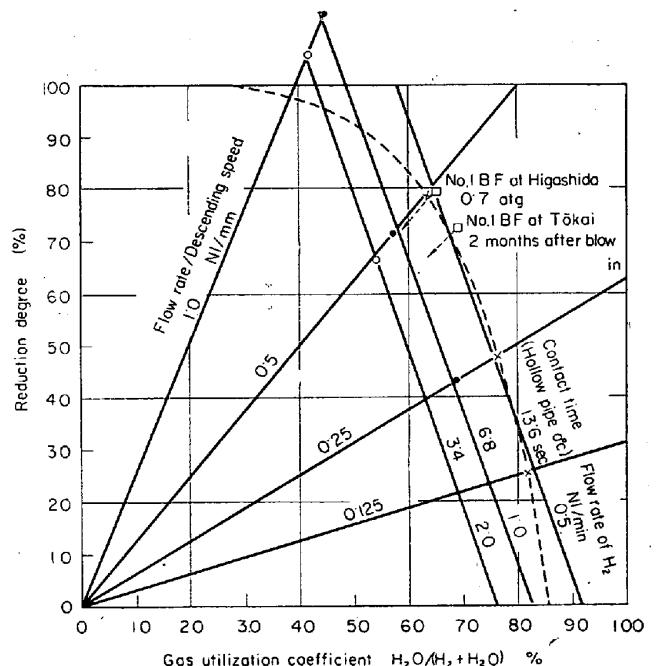


Fig. 4. Reduction degree v.s. gas utilization coefficient diagram.

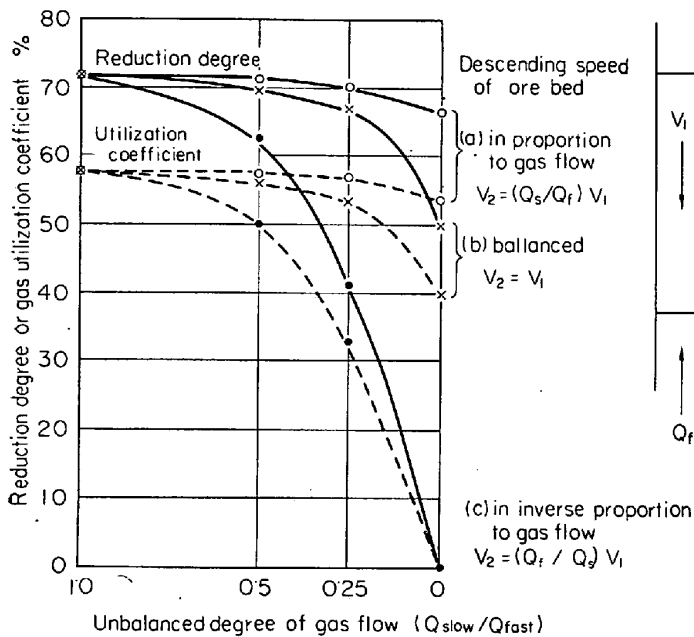


Fig. 5. Influence of unbalanced gas flow on the reduction degree and the gas utilization coefficient.

図よりガス利用率と(ガス流量/降下速度)の関係は明らかに認められるが、それとともにガス流量の差により3本の線は実験誤差以上の差がはつきりである。

ここで(ガス流量/降下速度)は300~900°C帯に入る鉱石とガスの速度の比すなわち物質収支を示すが、300~900°C帯の長さ(本実験では200mm)には関係がない。この長さは還元に影響を持つものと思われ(たとえば0mmのときは利用率0となろう)、これを表わすのもう一つの因子を導入する必要がある。前報³⁾において、一定温度の固定層においてはガス利用率は接触時間により決定されるので、それを300°Cより900°Cまで積分した結果も当然接触時間に影響される。この場合、温度勾配もあり実際の接触時間の計算はめんどろなので、鉱石の占める空塔を0°Cのガスが通過する時間である空塔基準の接触時間を使用する。Fig. 3にて流量一定の場合は同一接触時間であるので、(ガス流量/降下速度)と接触時間の2つの因子を同一にすれば、同一のガス利用率が得られると考えるのが至当である。

前報³⁾の結果より、この2因子の計算には鉱石降下速度および温度勾配(300~900°C帯)の長さは全充填層の中の鉱石の占める嵩容積のみで計算する必要がある(コークス、石灰石などの占める嵩容積を除外)。ところがガス流量は(ガス流量/降下速度)の計算では還元ガス(CO, H₂のみ, N₂など除外)のみで計算するのに対し、接触時間は全ガス量(CO, H₂, N₂などを含む)にて計算する必要がある。

つぎにFig. 4のように、還元率と利用率を両軸にとると、同一接触時間ではほぼ一直線に並び、接触時間が変わるとほぼ平行に移動する。(ガス流量/降下速度)は原点を通る直線となる。これは同一鉱石の場合、還元率と利用率が比例することは(1)式よりも明らかである。

(ガス流量/降下速度)が大きい場合、還元率が100%を越えているが、これは降下速度がおそく定常状態にな

っていないための誤差と考えられる。そこで実際には点線に示すような曲線になると思われるが、データはかなり良い直線性を示すので、この範囲において直線と見なしても大きな誤差はないであろう。

ここに高炉の普通操業、高圧操業の一例を試算し、概略の位置を示す。すなわち還元率70~80%、利用率60~70%のところにある。しかし本実験では焼結鉱サイズ4~5mm, H₂ガスを使用したので、実際の高炉操業ではこれより悪く、少し原点に寄った還元率60~70%、利用率50~60%にあると思われる。するとこの還元率はほぼ間接還元率を示し、利用率が高炉での利用率を示す。900°C以上ではCO₂+C=2COのガス反応が急速に進むので、高炉でのガス利用率、還元率によりほぼ代用できる。

高圧操業、ポツシュガス中での還元ガス成分の増加(重油吹込、酸素富加操業など)において、ガス圧力(ata)または還元ガス%に比例して鉱石降下量を増大させても同一のガス利用率が得られると予測される。

つぎにFig. 4より、下降層においてガス流量にアンバランスが起つたときの計算をしてみる。下降層を縦に2等分し、その片方(遅い方)の他方(速い方)に対する比を1より0まで変化させ、全体の還元率、利用率をガス流量、降下速度の平均値がこの値になるようにして計算しFig. 5に示す(基準状態をガス流量1NL/min, 降下速度2mm/minにとる)。

まず(ガス流量/降下速度)を一定のまま流量と降下速度が比例しながらアンバランスすると、利用率、還元率の低下はわずかである(a)。つぎに降下速度一定でガス流量のみがアンバランスすると、(ガス流量/降下速度)の比も変化するが、利用率、還元率の低下は少し大きくなる(b)。最後に降下速度とガス流量が逆比例してアンバランスが起ると、たとえば吹抜けなど降下量が低下し、ガス流量の増大する場所のできるときにあてはまるが、このときの利用率、還元率は決定的に悪化する(c)。

5. 結 言

向流還元炉を製作し、向流還元において、ガス利用率は(ガス流量/鉱石降下速度)とガスの接触時間により決定されることを確認した。

これらのデータを使用し、高炉シャフトにおける諸現象を定量的に解明できる。

文 献

- 1) 児玉, 重見, 堀尾: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1299
- 2) 小管, 児玉, 堀尾, 稲垣: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 310
- 3) 相馬: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1645
- 4) 相馬: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 151
- 5) 相馬: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 379
- 6) 相馬: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1753
- 7) 相馬: 茨城大学工学部紀要, No. 6 (1966), p. 1
- 8) S. P. PRIVALOV, V. M. TIMOFEEV and B. A. BOKOVIKOV: Stal, (1960), p. 4