

4) 還元利用率は  $H_2$  を 5% 以上添加しても増加せず  $900^\circ C$  で約 12% であつた。

5) 水性ガス反応は本実験条件下では平衡に達しておらず、この反応については今後なお検討して報告したい。

### 文 献

- 1) A. GÖCKEN: J. Metals, (1956) Nov., p. 1558
- 2) 石光, 重見, 東: 鉄と鋼, 46 (1959) 10, p. 1138
- 3) K. K. SHKODIN: Stal, (1963) Feb., p. 85
- 4) EDSTRÖM: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), (1953) Nov., p. 289

## (50) 鉄鉱石の還元における脈動の効果

日本鋼管, 技術研究所

○山田 幸夫・津田 正

Effect of Pulsating Gas on the Reduction of Iron Ore.

Yukio YAMADA and Tadashi TSUDA.

### 1. 結 言

固体と流体間あるいは流体と流体間の広義での反応において、流体が定常流の場合よりも脈動している場合のほうが、反応が促進するという事は当然考えられ、また化学工業方面では実験でその事実を確かめている報告がある。この脈動による反応促進の事実を酸化鉄の還元に応用することを考え、いろいろな周波数で鉄鉱石の還元試験を行ない、脈動により還元が促進したという報告もある<sup>1)2)</sup>。この効果が事実とすれば、実際の高炉に適用したとき、鉄鉱石の還元が促進され、製鉄作業成績向上に大いに役立つことになるので、当所においては、脈動の効果を確認するため鉄鉱石の還元試験を行なつた。脈動の効果確認の方法として、高炉内の状況を比較的よ

く再現するといわれる学振制定の標準還元試験法に準じた方法を採用し、脈動の有無による還元率を比較した。試験は、脈動の発生装置の関係上、50 c/sec 付近の高周波および 1 c/sec 以下の低周波の領域とにわけて実施した。

### 2. 高周波脈動還元試験

#### 2.1 実験装置, 方法

試作した脈動発生装置は 2 サイクル 2 気筒エンジンをモーター駆動に改造したもので、装置全体の系統は Fig. 1 のごとくである。系内を  $1 \text{ kg/cm}^2$  の圧力とし、脈動を与えたときに反応管内の試料のところで、圧力振巾は 50 c/sec で  $0.1 \sim 0.2 \text{ kg/cm}^2$  出ることが測定された。反応管は内径 53 mm のステンレス製で、高圧に耐えられる構造とし、試料上端に熱電対先端を位置させ、還元温度を制御した。試験に使用した試料は、天然の鉄石の他、試料間のバラツキを減らし、実験の精度を上げるために、団鉄を製造した。すなわちロメラル磁鉄鉱を微粉碎し、圧縮成形後、 $1150^\circ C$  で 3 hr 加熱したもので、形状は円柱形 ( $30 \times 40 \text{ mm}$ ) で、見掛気孔率は 16~17% であつた。

#### 2.2 流速と還元率との関係

脈動を与える還元を行なう前に、同一条件で、流速と還元率との関係を求めるために、上記団鉄を試料として還元試験を行なつた。そのときの還元条件は、

還元温度:  $900^\circ C$       還元時間: 90 min

ク ガス組成:  $CO$  30%,  $N_2$  70%

ク ガス圧力:  $1 \text{ kg/cm}^2$

その結果は、Fig. 2 に示すごとく、ガス流量が増加するに従つて還元率が漸次向上しており、 $10 \sim 15 \text{ l/min}$  以上では横ばいとなつている。これは、この流量以上では、還元速度に対してガス境界の影響を無視できるということになる。

#### 2.3 いろいろな流速における脈動還元の効果

次いで脈動還元の本試験に入り、ガス流速の影響のな

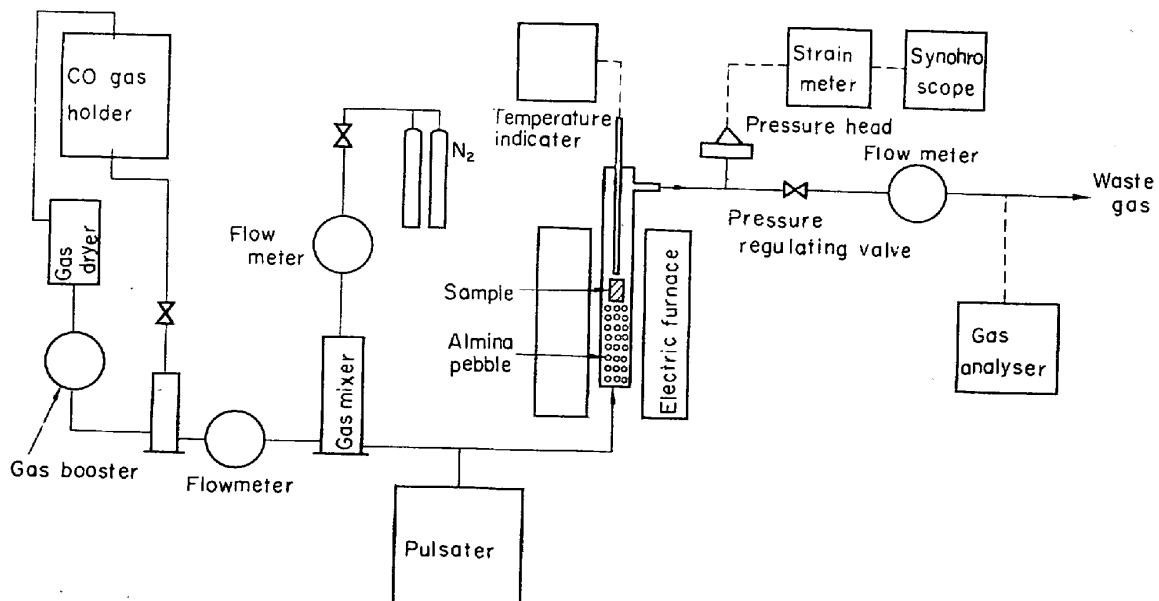


Fig. 1. Flow Diagram of apparatus for reduction test.

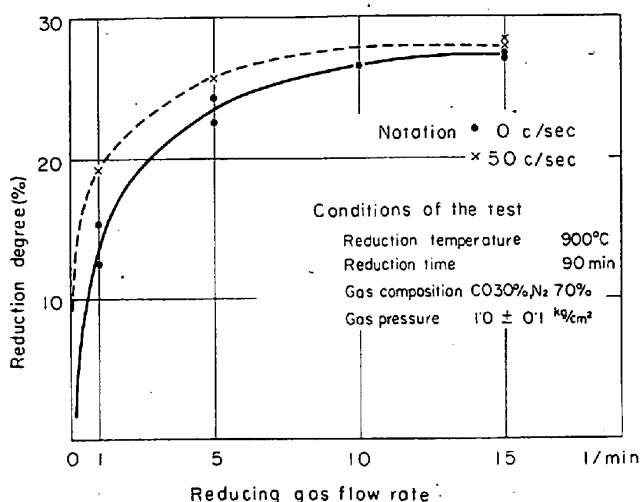


Fig. 2. Relation between gas flow rate and reducibility.

Table 1. Reduction at a lower flow rate.  
Reduction degree %

	1	2	3	Mean
0c/sec	27.6	28.4	28.4	28.1
50c/sec	30.6	32.0	30.4	30.8

Analysis of variance

Factor	S	$\phi$	V	$F_0$
Frequency	1067	1	1067	16.1*
Error	267	4	66.7	
Total	1334	5		

Table 2. Reduction at a higher flow rate on various kinds of ores.

Reduction degree %

	Sinter	Goa	Eagle
0 c/sec	66.7 63.3	82.0 87.5	50.5 49.1
50 c/sec	63.8 68.8	84.5 87.5	52.3 55.8

Analysis of variance

Factor	S	$\phi$	V	$F_0$	$F'_0$
Kinds of Ores	226, 181	2	113, 091	150.8**	177.0**
Frequency	1, 542	1	1, 542	2.06	2.4
Kinds × Frequency	589	2	295		$V'_e$ 638
Error	4, 501	6	750		$\phi_e$ 8
Total	232, 813	11			

い 15 l/min, 流速の影響の著しい領域の 1 l/min およびその中間にあたる 5 l/min の流量において, 50 c/sec の周波数で脈動還元を実施し, 定常流の場合と還元率を比較した. その結果は Fig. 2 のごとくで, 1 l/min という低流速では脈動により還元率が高くなっているが, 先に確認したガス境膜の影響がない 15 l/min という高流速では, 脈動の効果なくなっている.

2.4 低流速での脈動還元の効果

前項で発見した低流速での脈動の効果をもさらに高い信頼度をもつて確認するために, 還元ガスの組成を CO 100% にするなどして, 実験の精度を上げて, 流量 1 l/min において繰返し 3 回の実験を行なった.

その結果は Table 1 のごとく, 50 c/sec のほうが還元率が高いという結果が得られた.

2.5 いろいろな銘柄に対する脈動還元

以上のごとく, 団鉱を試料とした還元試験では, 高流速においては, 脈動の効果が認められなかつたが, 実際高炉で使用している鉱石類についてはどうなるかを確認するために実験を行なった. 試験条件はこれまでと同一であり, 流量は 15 l/min とした. その結果は Table 2 のごとくであり, 高炉で使用される代表銘柄である焼結鉱やゴア(赤鉄鉱), イーグル(磁鉄鉱) 鉱石に対しても, 団鉱と同様, 脈動の効果が認められなかつた.

3. 低周波脈動還元試験

3.1 実験装置, 方法

低周波の脈動還元は, 高周波の場合とほぼ同じ実験装置を用いて試験を行なった. 脈動の発生は反応管入口にコントロール・バルブを設置し, このバルブに周波数応答試験機から空気圧の信号を送つて操作することにより行なった. 還元条件は, 学振制定の標準還元試験法に近づけたものとした.

3.2 実験結果

高周波の場合と同じく, 還元ガスの流速と還元率との関係を調べるために, 5~30 l/min の範囲に流量を変えて還元試験を行ない, その結果, 焼結鉱を試料とした場合, 流量 25~30 l/min で還元率は横ばいとなることがわかつた. 次いで, ガス流量を 30 l/min とし, 4 c/min と 16 c/min の周波数で脈動還元を行ない, 脈動しない場合と比較した. 試験条件は,

還元温度: 900°C 還元時間: 90 min

〃 ガス組成: CO 30%, N<sub>2</sub> 70%

〃 ガス圧力: 0.8~1.0 kg/cm<sup>2</sup>

試料: 焼結鉱 500 g, 粒度 10~15 mm

その結果を Table 3 に示すが, 高流速においては, 高周波の場合と同じく, 脈動による還元促進の効果は認められなかつた.

4. 考 察

1) 周波数 50 c/sec, 振幅 0.1~0.2 kg/cm<sup>2</sup> という高周波脈動を還元ガスに与えて, 鉄鉱石類を還元したところ, 低流速においては, 脈動により還元が促進することが認められた. これは脈動により, 試料のまわりのガス境膜が薄くなつたり, 剝離したりして, 境膜拡散抵抗が減つて, 還元が促進するものと思われる.

2) 次に流速によつて還元率が変わらないような高流速の領域で, 還元試験を行なったが, 団鉱を始めとして,

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	$\phi$	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<sup>1)2)</sup>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<sup>3)~7)</sup>。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<sup>1)8)</sup>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  $\phi$  × 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  $\phi$  × 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

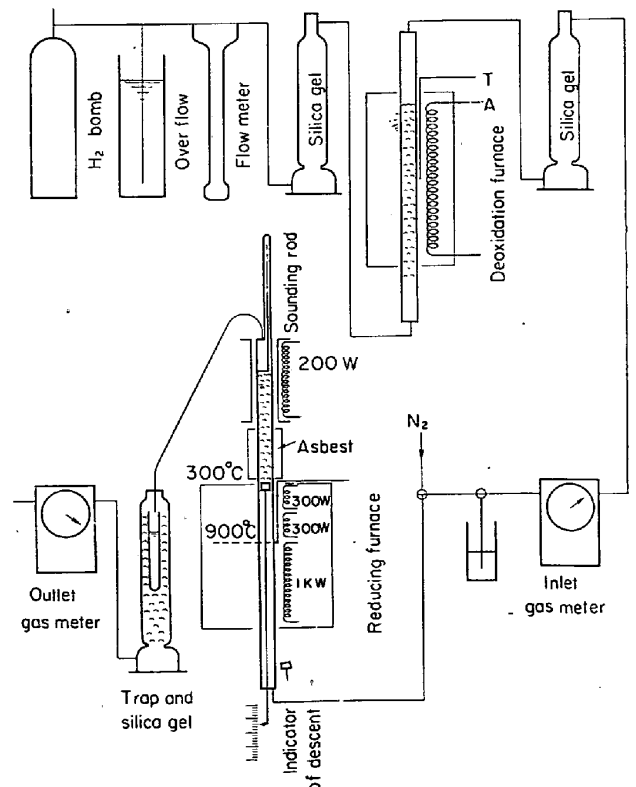


Fig. 1. Experimental apparatus.